A COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E O MAPEAMENTO DO MEIO FÍSICO DO PARQUE ESTADUAL SERRA DA BOA ESPERANÇA-MG

Beatriz Liara da Cruz
Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL -MG
R. Gabriel Monteiro da Silva, 700- Centro, Alfenas, Mg, 37130-001
E-mail: beatriz_liara@hotmail.com

Resumo

O objeto deste trabalho foi o Parque Estadual Serra da Boa Esperança-MG (PESBE), criado em 2007, com a finalidade de preservar e conservar o patrimônio natural da serra de mesmo nome. Desde sua implantação como unidade de conservação de proteção integral, vem sofrendo grandes alterações antrópicas por meio do avanço e transformação da paisagem. Esta situação é causada, em partes, por atividades agropecuárias realizadas por produtores rurais, presentes nesta unidade de conservação de proteção integral, além das práticas de Off Road realizadas também no local[1]. Por isso, afim de contribuir com a elaboração do Plano de Manejo, o objetivo deste trabalho foi elaborar a compartimentação geomorfológica e o mapeamento temático do meio físico do PESBE. Onde, os resultados apontaram com preocupação um grau de instabilidade ambiental em diferentes unidades geomorfológicas, da Unidade de Conservação de Proteção Integral, como relevos de grandes amplitudes e planícies fluviais. Para isto, tornou-se essencial o levantamento e a revisão do material cartográfico e o uso do Sensoriamento Remoto, dados secundários para a construção dos mapas elaborados do meio físico.

Palavras-chave: Deve Unidade de Conservação; Plano de Manejo; Meio Físico; Geomorfologia.

Introdução

Os impactos ambientais em áreas protegidas de unidades de conservação são decorrentes de ações impróprias provocadas pelo homem, sobretudo pelo manejo incorreto das atividades praticadas no meio físico, tais como, extrativismo, desmatamento, incêndios, pastagem e a agricultura predatória, entre outras.

Deste modo, busca-se cada vez mais por novas formas de produzir e aumentar a localidade, utilizando-se de meios estratégicos para interferir e transformar o meio físico. Essas mudanças, por sua vez, alteram a dinâmica da relação entre a sociedade/natureza, em que a percepção ambiental sobre o meio natural se modificou por completo.

Considerando que no atual estágio tecnológico, econômico e principalmente científico a que o homem chegou, já desde o século passado, as relações afetivas com a natureza especializada em um determinado ambiente passou a ser conduzida por uma nova percepção, a do interesse, onde as condições dos recursos naturais do meio físico, tornar-se-iam um espaço de intensas modificações e alterações antrópicas (FIGUEIREDO, 2011).

Nessa lógica, o entendimento do ambiente natural especificamente do meio físico, lugar sob onde ocorrem as diversas interações entre a sociedade e natureza, torna-se primordial compreender por meio da ciência geomorfológica, a análise dos usos no espaço, quer pela compartimentação das unidades geomorfológicas, quer pelo mapeamento temático. No qual, ajudará na compreensão do meio físico e na caracterização ambiental dos recursos naturais presentes em áreas já transformadas pelo homem. Contribuindo assim, para uma maior eficácia no planejamento de gestão ambiental e territorial, em que os resultados do diagnóstico e prognóstico agregam na tomada de decisão junto ao instrumento de Plano de Manejo.

A falta de uma estrutura de gestão ambiental adequada e a ausência do plano de manejo do PESBE, para além de comprometer a manutenção dos recursos naturais presentes, pode promover a possibilidade em permitir a ocorrência da fragilidade dos ambientes naturais, face as interferências humanas. Ao mesmo tempo, esta carência de políticas de gestão (Estado e Poder Local), aliado ao plano de manejo direcionado para a conservação e preservação do meio físico natural do PESBE e, à ausência de um estudo cartográfico sobre o meio físico-geográfico, influenciam uma série de geração de atividades de impactos negativos as áreas do parque. As práticas não conservacionistas, realizadas pela população local, se constituem em agentes geomorfológicos que aceleram os processos morfogênicos do meio físico do parque, provocando a instabilidade ambiental nesta unidade de conservação.

Para além das relações internas de uma unidade de conservação, a complexa relação entre sociedade e natureza, tem mostrado que o uso inadequado dos recursos ambientais em unidades de conservação, tornou-se uma preocupação ambiental desde o século XX. As áreas naturais protegidas, se constituem em espaços, cada vez mais, de proveitos de recursos naturais relevantes, dado ao lugar de beleza cênica que apresenta. Desta forma, passa a ser inerente o interesse imediato por parte do domínio público, interesses privados e das populações locais de se beneficiar por esses ambientes naturais.

Sendo assim, para este contexto, a ciência geomorfológica, que busca compreender a dinâmica e as transformações das formas do relevo presente na paisagem, conduziu com um conhecimento que auxiliou na análise da paisagem do PESBE. Onde, por meio de suas técnicas metodológicas científicas, viabilizou o prognóstico e diagnóstico da interação física das formas do relevo, associadas as ações da sociedade e da natureza.

Atrelada com o mapeamento cartográfico do meio físico a compartimentação geomorfológica, elaborada a partir de algumas variáveis, sendo a principal delas o relevo, foi a base para o entendimento das informações. Estas, que são adquiridas por meio do levantamento de dados sobre, a dinâmica dos aspectos morfológicos, morfodinâmicos, morfogenéticos e morfométricos do relevo. Logo, o estudo realizado a partir da compilação dessas duas técnicas metodológicas, possibilitou que as informações obtidas da compartimentação geomorfológica do meio físico do PESBE, como um instrumento de representação utilizar-se das análises obtidas, para contribuir na produção de um documento que visa melhorar o planejamento e ordenamento físico-territorial, com o plano de manejo da unidade de conservação.

Portanto, durante o desenvolvimento deste trabalho, algumas questões foram levantadas com o objetivo de problematizar o tema que foi proposto para a área de estudo: Qual seria a contribuição para: a gestão administrativa da unidade de conservação e do futuro plano de manejo; o desenvolvimento da compartimentação geomorfológica atrelado com o mapeamento temático cartográfico do meio físico do PESBE. A ausência de uma gestão participativa (gestor/população local) do PESBE, influencia na degradação ambiental e nas ameaças de queimadas e de outras práticas predatórias, que o parque sofre em função da ausência de um Plano de Manejo? O Parque Estadual Serra da Boa Esperança se configura de fato como uma unidade de conservação de Proteção Integral?

O presente trabalho teve como objetivo produzir a compartimentação geomorfológica, e a elaboração de mapas temáticos que auxiliarão na análise do meio físico, contendo uma base cartográfica com os seguintes mapas: mapa de orientação de vertentes; mapa de declividades; mapa hipsométrico; mapa geológico compilado; mapa de uso e ocupação do solo e mapa do índice de vegetação. Além do mapeamento dos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) e movimentos de massa (tipos de escorregamentos), identificando, desta forma, as áreas com maior densidade espacial destes processos.

Notou-se em levantamentos de trabalhos acadêmicos realizados, uma escassez de estudos que apresentam investigações sobre o meio físico da área, sobretudo, de características geomorfológicas da região da Serra da Boa Esperança, mas especificamente, na Unidade de Conservação – Parque Estadual da Serra Boa Esperança.

Portanto, o trabalho justificou-se pela inexistência de estudos realizados sobre a unidade, considerando-se também, que o parque não possui ainda um plano de manejo. Pois, a produção da compartimentação geomorfológico e o mapeamento cartográfico do meio físico do Parque Estadual Serra da Boa Esperança, apresentou-se como uma tarefa urgente e necessária para a obtenção do Plano de Manejo da unidade de Proteção Integral. Oferecendo a comunidade gestora um documento com informações, que visasse auxiliar o uso e a ocupação do solo nas áreas situadas ao entorno e internamente do parque. Além, de identificar e espacializar as diferentes formas de relevo para indicar um melhor uso no manejo do solo, que esteja de acordo com a dinâmica ambiental do parque. Desta forma, reduzir os impactos diagnosticados sobre o relevo e outros fatores ambientais, tais como os processos atuantes erosivos, podendo solucionar esses desequilíbrios como a recuperação ambiental localizadas nos compartimentos de relevo.

2. Área de Estudo

A área de estudo desta pesquisa corresponde à Serra de Boa Esperança, situada no sul de Minas Gerais (Figura 1), na microrregião do Baixo Sapucaí, no sudoeste mineiro, próximo ao Lago de Furnas. O Parque situa-se em torno de doze quilômetros do centro do município de Boa Esperança, abrangendo uma área de 5.873 hectares, com perímetro de 87.010,51 metros. O município de Boa Esperança apresenta uma população estimada (2019), aproximadamente em 40.127 habitantes (IEF, 2019).

O Parque caracteriza-se por ser uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, localizando-se nas coordenadas geográficas de latitude 21°5'39' e 45°34'29'' longitude (CIDADE BRASIL, 2017). A área de estudo está inserida em um complexo de serras, como as Serras Azul, do Inferno, Buracão, Volta Grande e Chapadão, que se estendem entre os municípios de Carmo do Rio Claro, Ilicínea, Boa Esperança e Guapé (IEF, 2007).

Com relação aos aspectos morfológicos, a Serra da Boa Esperança apresenta um relevo serrano, composto por serras alongadas e escarpas íngremes. Predominam compartimentos geomorfológicos de Morros com Encostas Suaves e Escarpas dissecadas, em que nelas há o surgimento de pequenos cursos d'agua de 1° e 2º ordem. Na unidade de conservação as menores altitudes acham-se em Morros com Encostas Suaves de 1.027 a 1.176 metros, enquanto que as altitudes maiores correspondem as Serras escarpadas, que atingem 1.416 metros, de acordo com este trabalho realizado.

A área de estudo abriga diversas nascentes e cursos d'água tributários da Represa de Furnas (Rio Grande), e que são responsáveis pelo abastecimento de comunidades de propriedades localizadas no sopé da base da Serra de Boa Esperança (IEF, 2019).

Pela ausência de trabalhos científicos publicados sobre a unidade de conservação do PESBE, sobretudo, em relação aos aspectos das características climáticas da região, não há dados e informações primárias sobre as temperaturas média e anual de precipitações ou sobre o clima característico da região.

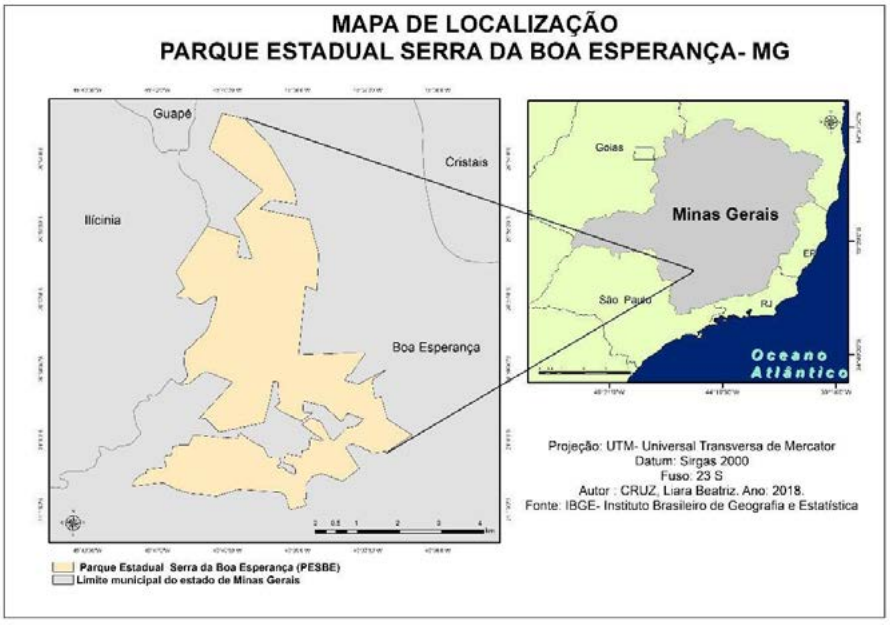


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

No entanto, conforme a divisão proposta pelo Aziz AB'Sáber (2003), na divisão do território brasileiro nos domínios morfoclimáticos do brasil, a localização da área de estudo, situa-se no domínio morfoclimático do Cerrado, dado pelas características que apresentam como, o tipo de vegetação e o clima da região. O qual tem como predominante, o clima tropical sazonal, que apresenta duas estações marcantes, a de seca entre os meses de abril a setembro e, o período chuvoso entre novembro e março.

Grande parte da unidade de conservação, a vegetação, são compostas pela transição da Mata Atlântica para o Cerrado. Há um domínio vegetacional do tipo fitofisionômico campo rupestre, de porte pequeno e médio, predominantemente herbáceo-arbustivo. Esta vegetação, é característica de áreas de transição entre esses domínios vegetacionais, conforme Vasconcelos (2011).

Com este trabalho, observou-se que esta vegetação natural e arbustiva em conjunto com a mata ciliar, em alguns pontos da unidade de conservação, elas acompanham os maiores trechos das principais drenagens presentes no parque.

Do ponto de vista geológico, o trabalho realizado, evidencia que na unidade de conservação há existência de pelo menos cinco domínios litológicos que compõem a Serra da Boa Esperança, são elas: as rochas Granito e Ortognaisses miloníticos, os Metapelito, a Formação Samburá, a Formação Serra da Boa Esperança subdividida em quartzítica e unidade metapelítica, e as rochas Xisto Costas. Sendo a sua maior porção constituída pela presença da formação Serra Boa Esperança 2 com composições da unidade quartzítica.

Cumpre destacar que, a região onde o Parque Estadual Serra Boa Esperança está inserido, apresentam significativas propriedades localizadas dentro já regularizadas, ao redor e no sentido Sul da unidade de conservação que afetam consideravelmente a zona de amortecimento da área, onde o limite da unidade de conservação é extremamente recortado. Das propriedades internas localizadas no parque, de acordo com a gerencia atual da unidade de conservação, são cerca de 11,08% de áreas regularizadas fundiariamente. Destas, foram desapropriadas por meio de atuação da compensação ambiental, respaldada pela Lei 9.985/200, Art. 36°.

3. Metodologia

Neste sentido, com o intuito de obter o êxito conforme os objetivos dispostos neste trabalho, foram essenciais o levantamento e a revisão do material bibliográfico e cartográfico da área de estudo (Quadro 1). Para a construção dos mapas foi utilizado o software ArcGIS 10.2.1.

QUADRO 1

Material cartográfico básico e produtos de sensoriamento remoto utilizados no trabalho.

Material Cartográfico	Folha	Escala	Órgão Executor
Carta Topográfica de Cristais	SF-23-C-III-4	1:50.000	IBGE
Carta Topográfica de Boa Esperança	SF-23-I-I-2	1:50.000	IBGE
Carta Geológica de Boa Esperança	SF-23-V-D-II	1:100.000	CRPM
Carta Geológica de Guapé	SF-23-V-B-V	1:100.000	CRPM
Material de Sensoriamento Remoto			
Imagem de Satélite- LandSat OLI			USGS
Modelo Digital de Elevação ASTER GDEM 2			USGS

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

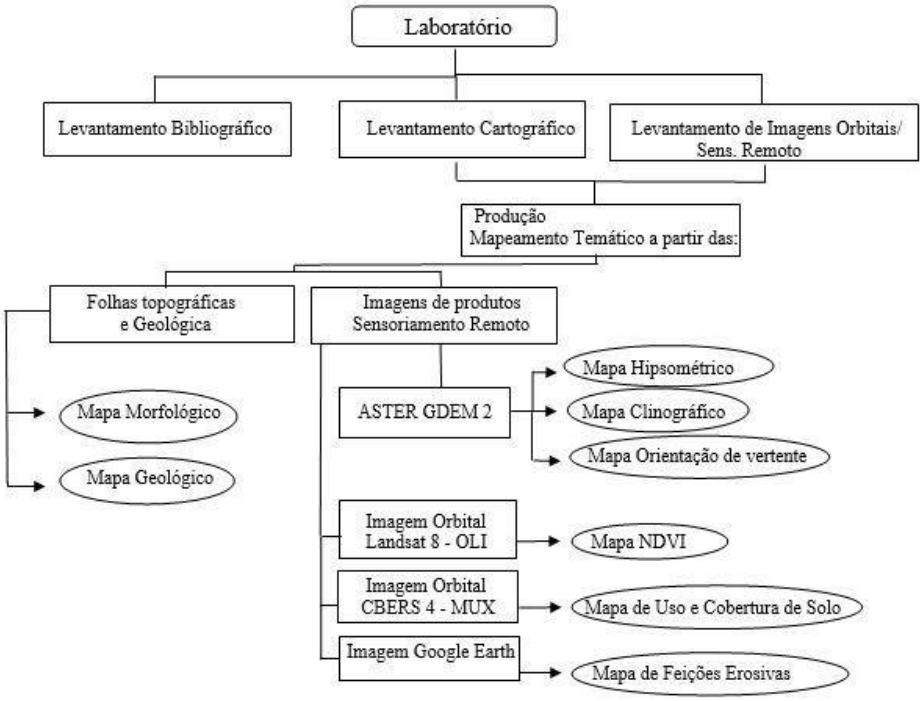
Foi realizada uma consulta bibliográfica em artigos, periódicos de revistas, livros e levantamento do material cartográfico da área. Os procedimentos metodológicos adotados para a elaboração do mapeamento cartográfico do meio físico, envolveram a utilização de imagens orbitais por meio do Sensoriamento Remoto e as rotinas em SIG e para o mapeamento das unidades geomorfológicas do PESBE. Portanto o trabalho desenvolveu-se a partir de cinco etapas, como: a pesquisa teórica, a produção de mapas temáticos, o trabalho de campo, análise dos dados e a produção de resultados a partir das informações obtidas.

A consolidação das etapas, resultou na compilação de dados secundários, sobre as características físicas da unidade de conservação. Os dados correspondem tanto do tipo de arquivos vetoriais, que se apresentam como polígonos, linhas e pontos, como do tipo de arquivos raster que se apresentam como arquivos matriciais no formato de imagens. A princípio da compilação dos dados, as duas cartas topográficas foram utilizadas para delimitar manualmente o limite na unidade de conservação do PESBE nas mesmas. Primeiramente foi traçado o limite da unidade de conservação, os cursos d'água, as planícies, a identificação dos alvéolos, os divisores topográficos e por fim, por meio das características morfométricos do relevo, a compartimentação geomorfológica. E as demais cartas para conferir as terminologias da geologia da região que engloba o parque.

Além disso, por meio dos recursos do Sensoriamento Remoto foram usadas imagens de satélite, dos sensores Landsat 8 Sensor OLI, órbita e ponto 219/074 e 219/075, utilizando-se as bandas B4 (Vermelho), B5 (Infravermelho próximo) e CBERS 4 - Sensor MUX, bandas 5, 6 e 7, adquiridas pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do link, (http://www.inpe.br/).

O uso do Modelo Digital de elevação ASTER GDEM 2, obtidas pelo USGS, por meio do link, (https://www.usgs.gov/science-support/osqi/yes/resources--teachers/earth-explorer), foi essencial para a caracterização do meio físico-geográfico da unidade de conservação. Vale ressaltar que os produtos cartográficos elaborados em gabinete são informações desenvolvidas para se obter uma pré análise a serem validadas e confirmadas em campo. Segue abaixo o fluxograma dos procedimentos metodológicos usados para a pesquisa (Figura 3).

As ferramentas de geoprocessamento são essenciais em trabalhos ambientais que visam a integração de dados de diversas fontes, como o do trabalho em questão. Neste sentido seguem abaixo, a descrição dos procedimentos metodológicos que foram adotados na produção dos mapas temáticos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 2 – Fluxograma da sequência metodológica abordada no trabalho.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

2.1 Mapa Morfológico: A elaboração do mapa morfológico foi realizada a partir da metodologia de Pires Neto (1991) no quadro 3, que define os tipos de relevo segundo a aplicação de parâmetros morfométricos e morfográficos, para a compartimentação geomorfológica do relevo. Apoiado na metodologia proposta por Ross (1992), sobre a taxonomia do relevo, este estudo realizou uma análise do 3º. Táxon, que correspondem as unidades dos padrões de formas semelhantes do relevo, identificadas em função do índice de dissecação do relevo, pelo formato dos topos, vertentes e vales. As unidades taxonômicas correspondem a uma associação de tipos de formas de relevo (Quadro 2), que leva em consideração os sistemas de interflúvios e vales, as condições litoestruturais, os condicionamentos morfoestruturais, os agentes morfogenéticos e a história evolutiva, bem como seus atributos morfométricos e morfográficos.

QUADRO 2
Características Morfométricas dos principais Tipos de Relevo.

Tipo de Relevo	Amplitude	Declividade	Padrões de Cores
Escarpa (E)	> 350m	> 20%	Marrom
Morros e Montanhas (MMh)	> 300m	> 15%	Roxo
Morros com encostas suaves (M)	100 a 300m	5 - 15%	Rosa
Morrotes (Mt)	< 100m	> 15%	Cinza
Colinas (C)	< 100m	0 a 15%	Verde claro
Planícies Fluviais (P)	-	-	Amarelo

Fonte: modificado de PIRES NETO, 1991.

Sendo assim, para a elaboração do mapa morfológico, foram realizadas duas etapas distintas. Na primeira etapa foram necessários o uso e a articulação de duas cartas topográficas, Folhas de Cristais e Boa Esperança. A junção das duas cartas, foi realizada manualmente, dispondo uma sobre a outra, para a delimitação do limite da unidade de conservação e depois traçado a drenagem principal além das demais drenagens de 1°, 2° e 3° ordem, inseridas no PESBE.

Em seguida, ainda na primeira etapa, para a classificação dos compartimentos, foi preciso realizar cálculos morfométricos a partir de alguns parâmetros como: a inclinação da vertente (declividade) e a diferença de cota máxima e mínima (amplitude altimétrica). Dessa forma, foi possível classificar os tipos de relevo como os de degradação ou denudação (montanhas, morros, morrotes, colinas) e os de agradação ou de acumulação (planícies fluviais). Conforme as características morfométricas, os compartimentos foram delimitados de acordo com as unidades geomorfológicas do relevo, como já mencionada anteriormente. Foram mapeados também os tipos de topos como os arredondados/convexos, estreitos/agudos e os tipos de vales (em V, assimétricos, de fundo chato). Para a edição final do mapa morfológico, utilizou-se do ArcGis 10.2.1, com a digitalização das folhas de Cristais (SF-23-C-III-4) e de Boa Esperança (SF-23-I-I-2), o georreferenciamento com sistema de coordenadas planas, sistema de projeção UTM (Universal Transversal Mercator), *Datum Horizontal Sirgas 2000* com o Fuso *23S.*

2.2 Geologia: foi realizada por meio da compilação de mapas geológicos Folhas Guapé e Alfenas. Foi produzido por meio dos *shapes* disponibilizados no site do CPRM (https://www.cprm.gov.br/) e elaborado na plataforma do software, onde foram alteradas as cores das classificações litológicas correspondentes com as cartas geológicas utilizadas.

2.3 Hipsometria: o mapa de hipsometria foi realizado utilizando-se do mesmo modelo digital de elevação. Aplicou-se um método de classificação com 5 classes pelo classificador *Quartis.*

2.3 Declividade: para a construção deste mapa em graus, utilizou-se a base do modelo digital de elevação ASTER GDEM 2. Classificado em porcentagem em 5 classes pelo classificador *Quartis.* A escolha das classes, baseou-se nos intervalos utilizados acerca da representação declivosa da área.

2.4 Orientação de Vertentes: para a construção deste mapa, utilizou-se o software ArcGis 10.2.1. Para a elaboração, foi utilizado o modelo digital de elevação ASTER GDEM 2, adquirido no site USGS e realizado o pré-tratamento na imagem. Como a aplicação de filtro, para remover as imperfeições na imagem. O mapa consiste em classificar as vertentes segundo a radiação solar potencial recebida, possibilitando avaliar o grau de umidade destas vertentes ao longo do ano. Este mapa pode contribuir para identificação das faces do relevo, que possivelmente podem ser mais secas, e portanto, mais suscetíveis a ocorrência de queimadas. Foram classificadas classes dos pontos cardeais, que de dez apenas duas foram consideradas como classes de interesse, a face Norte (vermelho) e Sul (azul). Pois, de acordo com os registros de focos de queimadas, estas que ocorrem em períodos sazonais, possuem como localização nas regiões críticas ao Norte e Sul do parque.

2.5 Índice de Vegetação: No mapa de índice de vegetação, foram coletadas as cenas das orbitas e ponto 219/074 e 219/075, das imagens orbitais do dia 14 de agosto de 2019, do satélite Landsat 8 Sensor OLI. Cumpriu-se o pré-tratamento das imagens, a reprojeção das bandas 5 e 4 em UTM Sirgas 2000, fuso 23S e a correção atmosférica para minimizar os efeitos de fatores da atmosfera. Posteriormente, o índice foi calculado por meio do algoritmo da diferença normalizada (NDVI), baseado na razão entre a diferença e a soma das refletâncias nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho (CRÓSTA, A.P., 1992).

Com este índice, a vegetação, reflete fortemente a radiação solar na faixa infravermelha do espectro eletromagnético (especialmente no infravermelho próximo).

Equação: NDVI = NIR – VIS

NIR + VIS

Sendo que NIR é a reflectância do infravermelho próximo e VIS a refletância da banda espectral do visível

2.6 Uso e Cobertura da Terra: Para a elaboração deste mapa, exclusivamente utilizou-se o software SPRING versão 5.5.6 (INPE), que por meio de técnicas automáticas de Sensoriamento Remoto, como o georreferenciamento com técnicas matemáticas e computacionais. Foram classificadas as imagens do satélite CBERS 4 Sensor MUX.

Primeiramente, foram selecionadas as cenas das imagens, adotando critérios que não houvessem presença de nuvens nas cenas e que pudessem englobar a região correspondentes a área de estudo. Depois foi utilizado apenas as cenas das Bandas originais, 7, 6, 5, (bandas do vermelho, verde e azul respectivamente), para em seguida ser aplicado o pré tratamento nas imagens como o contraste, no caso o contraste do tipo linear no programa Spring (CAMARA, 1996) onde são selecionados os melhores níveis de espalhamento do histograma dos tons de cinza da imagem para melhor acuidade visual. Em seguida foi realizado o recorte da cena para a área de estudo. Para a aplicação do método, a classificação Bhattacharya, iniciou-se o processo de segmentação de imagens, que envolve uma fase de aquisição e fragmentação de sub-imagens de uma região em várias unidades homogêneas. Considerando o processo de definição das bandas espectrais, com as composições de R7, G6, B5 e dos limiares de similaridade da área, visando assim um aperfeiçoar ao mapeamento final da classificação. Em seguida, na fase de classificação, foram selecionados os parâmetros de similaridade em área (pixels) de 40 e 60. Posteriormente foi escolhido o método de classificador supervisionado (por regiões), o *Battacharya*, para classificar as categorias de uso da terra.

A classificação das imagens foi definida de acordo com as categorias de uso escolhidas (classes temáticas), como: Campo Rupestre, Mata Nativa, Pastagem e Cultivo agrícola (Café). Usou-se o classificador *Battacharya*, que permitiu aplicar um padrão de porcentagem de limiar de aceitação escolhido de 99%, que resulta em uma imagem de classificação quase total dos pixels, que rejeita, portento, apenas 1% deles, por estarem no limite entre duas classes.

E por fim, foi classificado através dos algoritmos estatísticos, calculado a distribuição dos pixels de uma mesma refletância, unindo-os e classificando-os esses mesmos pixels de acordo com cada tipo de classe temática.

2.7 Mapa dos Processos Erosivos: a elaboração deste mapa foi realizado a partir da interpretação visual de imagens de alta resolução da plataforma Google Earth. Foram mapeadas feições erosivas lineares, sulcos erosivos, ravinas e voçorocas, além de diversas cicatrizes de rotas de caminhos, classificadas como erosão antrópica. Estas feições no Google Earth, foram transformadas em arquivo de KML para KMZ. Em seguida exportadas para o ArcGIS, onde foram sobrepostas ao mapa morfológico com a finalidade de avaliar a fragilidade das unidades morfológicas do PESBE.

4. Resultados e Discussões

A compartimentação geomorfológica e o mapeamento cartográfico do meio físico do parque foram realizadas a partir da construção do mapa morfológico, de orientação de vertente, clinográfico, hipsométrico, geológico, uso e cobertura da terra, índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e o morfodinâmico com as feições erosivas lineares. Estes mapas auxiliam no planejamento físico ambiental da unidade, nas práticas de atividades de geoturismo, e no uso do manejo adequado para uma melhor conservação e preservação na unidade.

A compartimentação do relevo, apresenta como características gerais uma paisagem que se configura por um relevo de vertentes escarpadas e de encostas suaves.

Os topos e linhas de cume do relevo serrano, aparecem nas cabeceiras dos expressivos anfiteatros, canais perenes de 1°, 2° e 3° ordem. Vale ressaltar que, os limites do PESBE estabelecidos pelo IEF são irregulares e fragmentados, não incorpora a completa rede hidrográfica estabelecida na região, permanecendo nas áreas mais íngremes das escarpas canais de 1ª e 2ª ordem que integram bacias que drenam para o reservatório de Furnas. Deste modo, o padrão de drenagem característicos das áreas escarpadas é o paralelo, especialmente no sentido N-NE e S-SE, como pode ser observado no mapa Geomorfológico (Figura 3). Por outro lado, em direção a oeste e no interior do PESBE, o tipo predominante é o padrão dendrítico.

Cabe aqui ressaltar, que a delimitação do limite da unidade de conservação, elaborado pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF), não corresponde com uma área limite de uma bacia hidrográfica. O que ocasiona a desconsideração de muitos elementos e áreas paisagísticas a serem conservados.

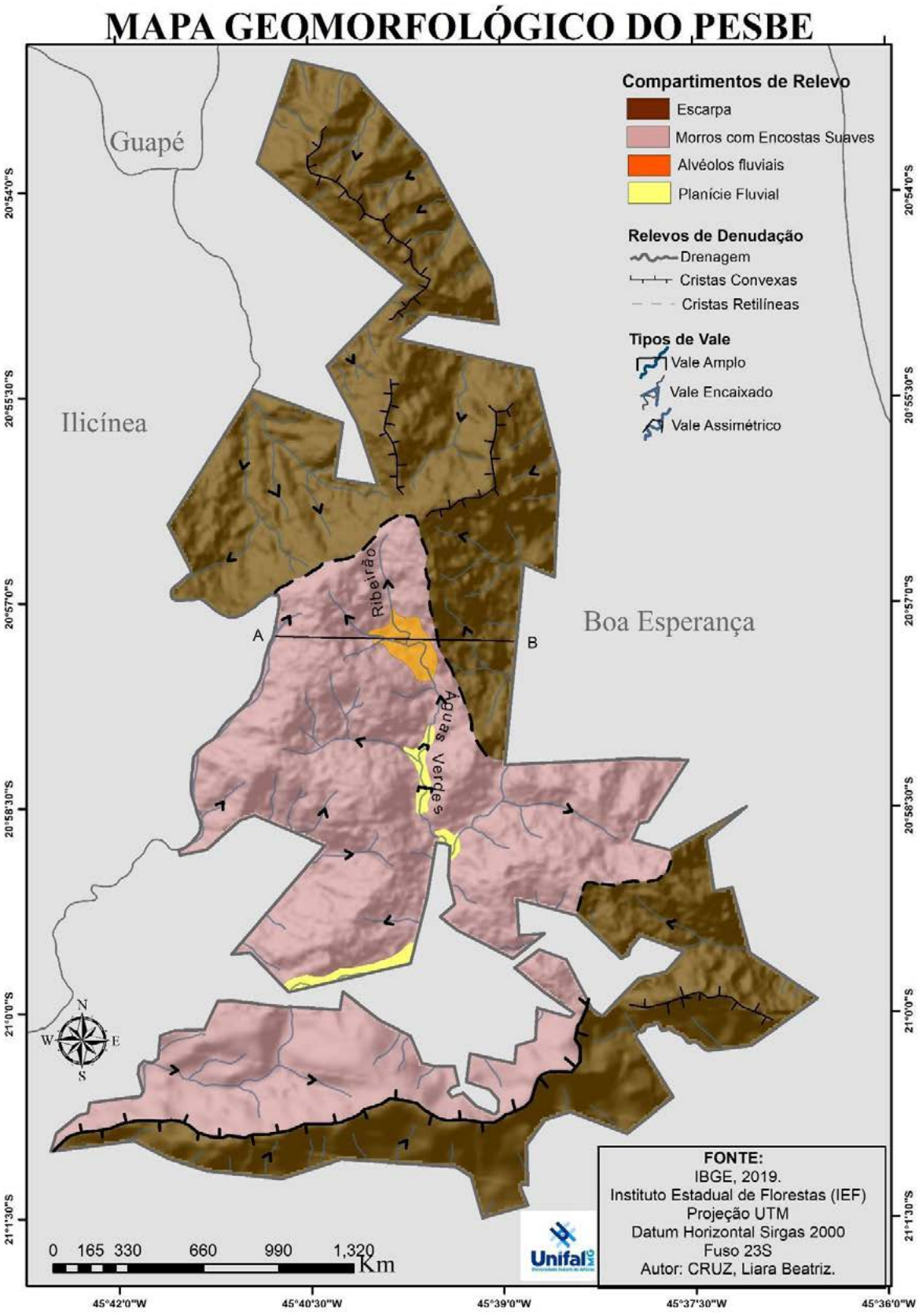


Figura 3 - Mapa Geomorfológico do PESE.
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O quadro a seguir mostra a síntese das Unidades Geomorfológicas mapeadas no PESBE e suas características.

QUADRO 2
Caracterização dos Compartimentos Geomorfológicos.

COMPARTIMENTOS/ TIPOS DE RELEVO	CARACTERÍSTICAS DOS COMPARTIMENTOS
Escarpa	Esta unidade corresponde a vertentes retilíneas e concavidade na base. Estão associadas a regiões de serras ou conjunto de serras. Destaca-se para esse compartimento o grau de dissecação com presença de cursos d'água de 1º e 2° ordem, contendo a noroeste sub-bacia de 3ª. ordem se configurando em escarpas dissecadas.
Morros com Encostas Suaves	Correspondem áreas com grandes amplitudes e rampas com concavidade na base. Caracteriza-se por ser um relevo de dissecação, predominando sub-bacias de 2ª. ordem e no centro do PESBE, sub-bacia de 3ª. ordem com trechos de planícies e depósitos de acumulação.
Planícies Fluviais	Associada em relevos de agradação, áreas receptoras de material deposicional, removidos das áreas mais altas. No PESBE está localizada na zona central e corresponde ao Ribeirão Águas Verdes, que possui o tipo de vale amplo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Conforme Ross (1992), o mapeamento de um conjunto de formas semelhantes do relevo, é definido a partir do 3º táxon, onde considera-se o índice de dissecação, formato dos topos, a amplitude e declividade das vertentes e o contato dos fundos de vales. Neste trabalho, a amplitude topográfica e o declive das vertentes, foram dados morfométricos que permitiram a definição de três unidades de compartimentos dos tipos de relevo, tais como: as Escarpas, os Morros com Encostas Suaves e a Planície (Figura 3). Os compartimentos de vertentes escarpadas presentes no PESBE, encontram-se ao N, NW, NE e S. Estão vinculadas a um tipo de relevo serrano com vertentes escarpadas de cristas retilíneas e vales do tipo altamente encaixados em (V), e são áreas de grande dissecação promovido pelos rios.

No mapa morfodinâmico foram identificadas no mapeamento de feições erosivas, que se classificam como: erosão antrópica (preto), sendo o maior número quantificado, erosão laminar (amarelo), erosão linear do tipo, ravina (verde) e voçoroca (vermelho). Feições estas, que estão presentes nos compartimentos geomorfológicos de *Morros de Encostas Suaves* e *Escarpa*, que apresentam áreas com grandes amplitudes e em vertentes escarpadas retilíneas. Os processos morfodinâmicos localizados no PESBE, quando associados com o mapa de uso e cobertura da terra, contribuem para a descaracterização do relevo e o aumento do grau de instabilidade dos compartimentos de altitudes e declividades elevadas. Além de cooperar para o impacto ambiental gerados na paisagem da unidade de conservação.

Quando associado ao mapa geomorfológico com o mapa hipsométrico, as maiores altitudes acham-se vinculadas aos relevos escarpados com 1.416 m de altitudes. Os Morros com Encostas Suaves estão associadas as médias e grandes altitudes da unidade de conservação, variando de 1.111 a 1.239m em vertentes de encostas suaves presentes na direção S-SE e central do PESBE.

Já as planícies fluviais, em áreas de acumulação, correspondem ao principal curso d'água presente na unidade de conservação, o ribeirão Águas Verdes que nasce à 984 m de altitude. Localizado na região central do parque, este ribeirão nasce nos compartimentos de Morros com Encostas Suaves. De acordo com as características geomorfológicas do PESBE, o ribeirão Águas Verdes ao longo do seu trajeto apresenta depósitos de alvéolos, que são unidades de agradação/ acumulação, que são produzidos pelo encaixamento da drenagem a jusante deste depósito. Logo, o alvéolo, o ribeirão flui, próximo as nascentes, em trecho estreito produzindo ainda na montante a deposição

Em relação ao mapa de hipsometria do relevo, no, aponta-se a síntese dos intervalos de classes altimétricas presentes no PESBE e as características principais. As altitudes da área do PESBE variam de 786 a 1.416m. As classes altimétricas mais elevadas, de 1.176 a 1.416m ocorrem em áreas de topos e divisores, onde se destaca a Serra da Boa Esperança.

O mapa clinográfico do PESBE apresenta classes de declives que variam de 0% a 60%. Os maiores declives estão vinculados às vertentes que se distribuem nos compartimentos de Escarpas e Morros com Encostas Suaves. Os declives de 46% a 60% se encontram em superfícies topográficas associadas as cristas das serras, localizadas nos compartimentos de relevo do tipo Escarpa. Os menores declives de 0% a 25% podem ser verificados em trechos de concavidades das vertentes em direção aos vales fluviais.

Para reforçar a análise da elaboração do mapeamento cartográfico do meio físico, no desenvolvimento deste trabalho, foram elaborados os mapas de Orientação de Vertentes e do NDVI. O mapa de Orientação de Vertentes, demonstra que há um predomínio da face Norte nos compartimentos de Escarpas, especialmente aqueles associados ao norte e centro do PESBE. Expondo, esta face, a possibilidade de apresentar menos umidade, viabilizando uma possível vulnerabilidade maior para a ocorrência de queimadas no PESBE. Uma vez que, esta face da vertente exposta constantemente a incidência solar, onde o predomínio de vegetação é do tipo campo rupestre, sendo característico do bioma do cerrado brasileiro, que ocupa 57% estado mineiro Alvarado et al (2017). Apresenta-se um tipo de fitofisionomia, que, associada as maiores declividades do relevo, possuem alta probabilidade de combustibilidade, conforme Medeiros, Silva e Sousa (2017). Ressalta-se ainda, que a face Norte tem domínio maior nas faixas altimétricas mais elevadas que variam de 1239 a 1416m, vinculadas a relevos serranos.

O mapa de NDVI, referente as imagens datadas do mês de agosto, identifica menores índices de cobertura vegetal nestas áreas, com uma cobertura do tipo campo rupestre. Aparenta-se como uma vegetação de porte baixo e sem desenvolvimento do dossel, que se encontra em altitudes mais elevadas. A face Sul, mostra que a ocorrência de incidência maior se encontra nos compartimentos de Morros com encostas suaves, que não recebem um grau significativo de insolação e, que possivelmente, apresentam um grau de umidade muito maior, o que inibe o surgimento de queimadas e seu alastramento. É importante ressaltar que a face Sul apresenta um tipo de vegetação mais arbórea ou mesmo arbustivo, representando um índice de vegetação próximo de 1, além da ocorrência de fragmentos de mata nativa que acompanham os cursos d'água do PESBE.

É importante verificar que os baixos índices de cobertura, permanecem em áreas mais íngremes e de compartimentos mais elevados e serranos da área. Este fato pode ser atribuído a solos mais rasos e superficiais onde o intemperismo da rocha ocorre de forma mais lenta. A topografia mais acentuada promove uma lentidão na alteração das rochas, o que produz solos rasos e pedregosos.

Estes resultados corroborados com o mapa de uso e cobertura da terra, revela o predomínio de campo rupestre nos compartimentos mais serranos e elevados da unidade de conservação. Por outro lado, a mata nativa ocorre como fragmentos florestais ocorrendo em sub-bacias de relevos dissecados por canais fluviais. Verifica-se a presença destes em fundos de vales e em trechos de concavidades das vertentes que descem as escarpas.

As informações geológicas do PESBE reúnem dados da estrutura rochosa com composições de tempos muito antigos. Integram um conjunto de unidades geológicas metamorfizadas que datam do Arqueano e Proterozóico, do Paleoproterozoíco ao Neoproterozoíco. O PESBE acha-se representado pelos grupos Serra da Boa Esperança 2 - quartzítica e metapelítica (NP2sep), Formação Samburá (NP23SB) - metapelito (NP3sb2), xisto costas (PP4XC), granito e ortognaisses milioníticos (A3_gamma_mil), compõem em grande expressividade o substrato rochoso do PESBE.

A formação Serra da Boa Esperança 2 - unidade quartizítica, predomina em grande parte da zona central do PESBE. Por outro lado, a unidade metapelítica da mesma formação, encontra-se nos compartimentos de vertentes escarpadas situada ao norte, nordeste e sudeste. Em seguida a noroeste, observa-se com grande expressão a formação de metapelitos. Por sua vez, a sudoeste, ocorre a presença do granito ortognaisses milioníticos e, a leste, em menor representação aparece a formação xisto Costas. Ao Sul ocorre a formação Samburá também associadas a unidades de vertentes escarpadas.

5. Considerações Finais

A geomorfologia do PESBE expõe três compartimentos geomorfológicos/tipos de relevo, Escarpas, Morros com encostas suaves e Planícies fluviais. Há predominância de relevos serranos e de altitudes mais elevadas na área, controlando a ocorrência de usos do solo onde dominam os campos rupestres e alguns fragmentos florestais em áreas mais dissecadas. Conforme ROMÃO (2006), a cobertura vegetal torna-se um importante fator que conduz as ações da água no solo e que controla em função a capacidade de alterar o potencial erosivo.

O relevo serrano promove maior vulnerabilidade para a ocorrência de processos erosivos, conduzidos pelos fatores, como: a forma geométrica e o comprimento de rampa das vertentes. Em que, quando associadas a outro fator como o de declividade do relevo, onde normalmente são caracterizados por apresentar solos não muito espessos e com uma vegetação não desenvolvida. Os processos morfogênicos tornam-se ativos, denotando maior grau de instabilidade ambiental do PESBE. Estas instabilidades são aceleradas pelas ações humanas, como as práticas inadequadas de manejo, atividades automobilísticas esportivas e intervenções turísticas.

O mapeamento cartográfico do meio físico do parque produziu um conjunto de mapas temáticos que auxiliarão na compreensão e entendimento do PESBE. Os resultados alcançados pela pesquisa auxiliarão na elaboração futura do plano de manejo da unidade de conservação do PESBE.

Diante da elaboração da compartimentação geomorfológica e do mapeamento cartográfico do meio físico do PESBE, sobre diversos aspectos, foi possível chegar em algumas considerações em relação as características únicas e presentes na paisagem do parque.

Neste estudo destaca-se, com preocupação, as características de uma unidade de conservação ainda muito recente, mas que já apresenta práticas de irregularidades, sobretudo, no que tange aos aspectos de manejo inadequado do

parque. Estas estão relacionadas, sobretudo, por ser uma unidade de proteção integral, o manejo inadequado e as atividades de vários níveis de uso do solo que não são compatíveis com a conservação e preservação do PESBE. A incompatibilidade é promovida tanto por aqueles que frequentam a unidade, dado o acesso turístico sem controle, como também pelas populações inseridas internamente no PESBE e em seu entorno. Além da ausência de uma zona de amortecimento que diminuiria os impactos promovidos desde a área externa do limite do PESBE, e de uma possível ausência de gestão participativa, ligado por não possuírem um instrumento de gestão ambiental, no caso o plano de manejo.

Sendo assim, por meio da observação e análise da cartografia desenvolvida e do trabalho de campo, pode-se dizer que a Unidade de Conservação do Parque Estadual Serra da Boa Esperança, possui grande beleza paisagística, com uma rica biodiversidade, com ecossistemas considerados frágeis e um enorme potencial turístico para a região do município de Boa Esperança - MG. Contudo, como qualquer Unidade de Conservação. Necessita-se, de um direcionamento do seu uso e cobertura da terra, dada a constante interferência dos trilheiros (motos e jipes) e, das práticas agrícolas ao entorno do parque. Além da prática de visitação, que é importante em relação aos aspectos ambientais, sociais, político e principalmente econômico. No entanto essa ação deve ser propiciada dentro de critérios estabelecidos, o que pode ser permitido por meio do desenvolvimento e implantação do plano de manejo e do zoneamento da unidade de conservação. Cabe mencionar também, que é necessário o investimento financeiro por parte do estado nesta unidade, pois proporcionaria melhoria na infraestrutura, na aquisição de equipamentos para a atuação dos servidores, especialmente no que diz respeito ao controle e fiscalização da área.

Portanto, acredita-se que a conservação dos compartimentos caracterizados no PESBE contribuirá para uma avaliação mais profunda para valorizar, preservar e conservar ou até minimizar os impactos antrópicos presentes na paisagem dos compartimentos identificados na área. Espera-se que este trabalho possa ser uma importante ferramenta de auxílio inicial, para os estudos futuros do PESBE, e que as autoridades envolvidas

Agradecimentos

Agradeço aos geógrafos (as) professores (as), aos conselhos dados e as trocas de conhecimento passado. Em especial, a brilhante Professora Doutora Marta Felícia Marujo Ferreira, pela orientação, por me apresentar o tema de pesquisa, por ter sido tão atenciosa e prestativa durante seus ensinamentos e principalmente por me apresentar uma nova perspectiva da paisagem, contribuindo, portanto, para a minha formação enquanto futura geógrafa.

Ao incrível Professor Doutor Rodrigo José Pisani, pela sensibilidade e suporte ao término deste trabalho. E ao ex e atual gestor da Unidade de Conservação do Parque Estadual Serra da Boa Esperança, Fábio e Alan, por compartilharem e disporem de informações e auxílio de transporte, para o deslocamento no dia de visita realizada na Unidade de Conservação Parque Estadual Serra da Boa Esperança.

Referências

AB'SABER, N. A. Um Conceito de Geomorfologia Serviço das Pesquisas sobre o Quaternário. Geomorfologia. **Revista IGEOG- USP**, n. 18. São Paulo, 1969.

AB'SABER, N. A. **Os domínios de natureza no Brasil:** potencialidades paisagísticas. 4° edição. Ateliê Editorial. São Paulo, 2003.

BRITO, D.M.C. Conflitos em Unidades de Conservação. PRACS: **Revista de Humanidades do Curso de Ciências Sociais**. UNIFAP. n. 1, p. 1-12, dezembro de 2008.

CASSETTI, V. Geomorfologia. [S.l]: [2005]. Disponível em: http: ://www.funape.org.br/geomorfologia/. Acesso em: 2019.

CUNHA, L.M.C; QUEIROZ, S.D. **A Cartografia Geomorfológica de Detalhe: Uma proposta visando à multidisciplinaridade.** Rio Claro: CLIMEP- Climatologia e Estudos da Paisagem, v.7, n. 1-2, p. 22, 2012.

DIEGUES, A.C. **O Mito Moderno da Natureza Intocada**. 3° edição. São Paulo. Editora HUGITEC, 2001.

DIEGUES, A. C; ARRUDA, R. S.V; SILVA, V. C. F; FIGOLS, F. A. B; ANDRADE, D. **Biodiversidade e Comunidades Tradicionais no Brasil: Saberes Tradicionais e a Biodiversidade no Brasil.** Ministério do Meio Ambiente- NUPANB- Núcleo de Pesquisas sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras. USP, São Paulo, 2000.

FILHO, Q. P. A. A Escala nos Trabalhos de Campo de Laboratório. In: VENTURI, B. A. L. (Org.). **Praticando Geografia Técnicas de Campo e Laboratório**. Oficinas de Textos. p. 239. São Paulo, 2005.

FIGUEIREDO, R.V.L. **Percepção Ambiental em uma Unidade de Conservação de Proteção Integral.** Dissertação de Pós-Graduação em Desenvolvimento Social- PPGDS da Universidade Estadual de Montes Claros. p.18 a 25, 2011.

LIMA, G.S; GONÇALVES, W; RIBEIRO, G.A. **Avaliação da Efetividade de Manejo das Unidades de Conservação de Proteção Integral em Minas.** Sociedade de Investigações Florestais. V.29, n.4, p.647-653, 2005.

MARTINS, I. T. Mapeamento Geomorfológico da Folha Piumhi, Minas Gerais. **Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE BRASIL. Conama define zona de amortecimento de UC sem plano de manejo. Disponível em http://www.mma.gov.br/informma/item/6717-conama-define-zona-de-amortecimento-de-uc-sem-plano-de-manejo. Acesso em 11 de março de 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE BRASIL. Sistema Nacional de Unidades Conservação – (SNUC - Lei 9 SNUC - LEI 9.985/2000). Disponível em http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/sistema-nacional-de-ucs-snuc. Acesso em 11 de marco de 2018.

ROSS, J.L.S**. Geomorfologia Ambiental e Planejamento.** Editora Contexto. 8° ed. São Paulo: p.85, 2007.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. In. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH-USP, n. 6. São Paulo, 1992.

ROMÃO, A.P; SOUZA, M.N. Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. In: CARVALHO, C. J. *et al* (Org). **Caracterização Ambiental. Brasília**, 2006. Cap. 4, p. 158-191.

STIGLIANO, V. B. Turismo de Aventura: Off-road como Prática. Turismo em Análise. In. **Revista Turismo Em Análise**. n° 11(1), p.44-54. São Paulo, 2000.

A DINÂMICA FLUVIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO BREJÃO, NOVA PONTE (MG): ESTUDO COMPARATIVO DA DISSECAÇÃO HORIZONTAL E DOS LINEAMENTOS E ANOMALIAS DE DRENAGEM

Bruno Ferreira da Silva
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU)
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: brunof_silva1998@hotmail.com
Alan Silveira
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU)
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: alan.silveira@ufu.br
Marília Inês Mendes Barbosa
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU)
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: mariliabarbosa@ufu.br

Resumo

Neste trabalho, propôs-se a elaboração da carta de Dissecação Horizontal e da carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagem para a bacia do Ribeirão do Brejão, visto que estão diretamente associadas com a densidade de drenagem e a atuação dos cursos d'água. Buscou-se correlacionar a interferência do contexto lito-estrutural na dinâmica fluvial da área já que as características geológico-geomorfológicas definem ações relacionadas à infiltração e escoamento. Com os resultados, tem-se para a Alta Bacia e Média Bacia menores potencialidades à morfogênese quando comparado à Baixa Bacia, setor que predomina basaltos fraturados. Por outro lado, a Alta Bacia, caracterizada pelas coberturas cenozoicas, possui distâncias interfluviais amplas que resultam em reduzida potencialidade dos processos morfogenéticos. Ressalta-se que as formas anelares da área são indicativos de deformações tectônicas recentes, visto que, litologias horizontalizadas tendem a gerar formas lineares para as drenagens.

Palavras-chave: Carta de Dissecação Horizontal, Carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagem, Dinâmica Fluvial, Ribeirão do Brejão, Nova Ponte (MG).

1. Introdução

As técnicas morfométricas possibilitam uma análise do relevo a partir de sua geometria, visto que a carta de Dissecação Horizontal permite avaliar a potencialidade dos processos morfogenéticos devido à ação das águas correntes em determinada área (CUNHA *et al.*, 2003).

O relevo e a drenagem possuem interação direta com as variáveis litologia e estrutura, em que lineamentos e formas anômalas de drenagem podem indicar uma alteração quanto ao controle estrutural regional (SOARES *et al.*, 1982). O mapeamento destas formas de drenagem permite quantificar e avaliar a distribuição espacial destes elementos, colaborando com uma compreensão acerca de fraturamentos e permeabilidade das litologias que compõem a área de estudo, como indicam os trabalhos desenvolvidos por Jiménez-Rueda e Mattos (1992) e Jiménez-Rueda *et al.* (1989, 1993).

O soerguimento do Alto Paranaíba, resultante de intrusões alcalinas cuja elevação do terreno afetou a dinâmica deposicional de bacias sedimentares adjacentes, está associado com os processos erosivos que atuaram nos limites da Bacia Bauru, mediante esta reestruturação tectônica do Terciário (HASUI e HARALYI, 1991; SEER e MORAES, 2017). Deformações tectônicas podem acarretar alterações no comportamento dos cursos d'água, resultando em anomalias de drenagem, já que os canais respondem estritamente à ação da gravidade e, consequentemente, à superfície do terreno (PENTEADO, 1968). Nesta perspectiva, é possível que o soerguimento do Alto Paranaíba tenha contribuído com a intensificação de anomalias de drenagem e de lineamentos preferenciais, como em porções correspondentes aos basaltos da Formação Serra Geral, e, consequentemente, resultando em um adensamento e desenvolvimento dos canais fluviais das áreas associadas. A interpretação de anomalias de drenagem em litologias horizontalizadas como resultantes de ações tectônicas pretéritas foi apontado anteriormente por Soares *et al*. (1982). Além disso, as fraturas encontradas nos basaltos também podem estar associadas ao momento de seu resfriamento.

A partir das características anteriormente mencionadas, teve-se como objetivo a elaboração da carta de Dissecação Horizontal e da carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagem, sobretudo, para investigar a intensidade da dinâmica fluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão, com a possibilidade de subsidiar dados acerca da interferência de deformações tectônicas para a área de estudo. Com a análise comparativa entre os dois documentos cartográficos previamente citados, esperou-se também correlacionar as características litológicas e estruturais com a dissecação horizontal e as formas de drenagem, visto que implicam diretamente na potencialidade ao desencadeamento de processos morfogenéticos.

2. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão corresponde a uma área de 73,36 km2 e situa-se no município de Nova Ponte, Minas Gerais, na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. Fez-se a compartimentação da área de estudo, integrado ao mapa de localização, em três setores a fim de facilitar a análise dos dados, visto que estes compartimentos foram definidos a partir dos diferentes graus de dissecação observados na bacia e a variação do contexto geológico e da cobertura superficial. O mapa de localização e de setores pode ser visualizado na Figura 1.

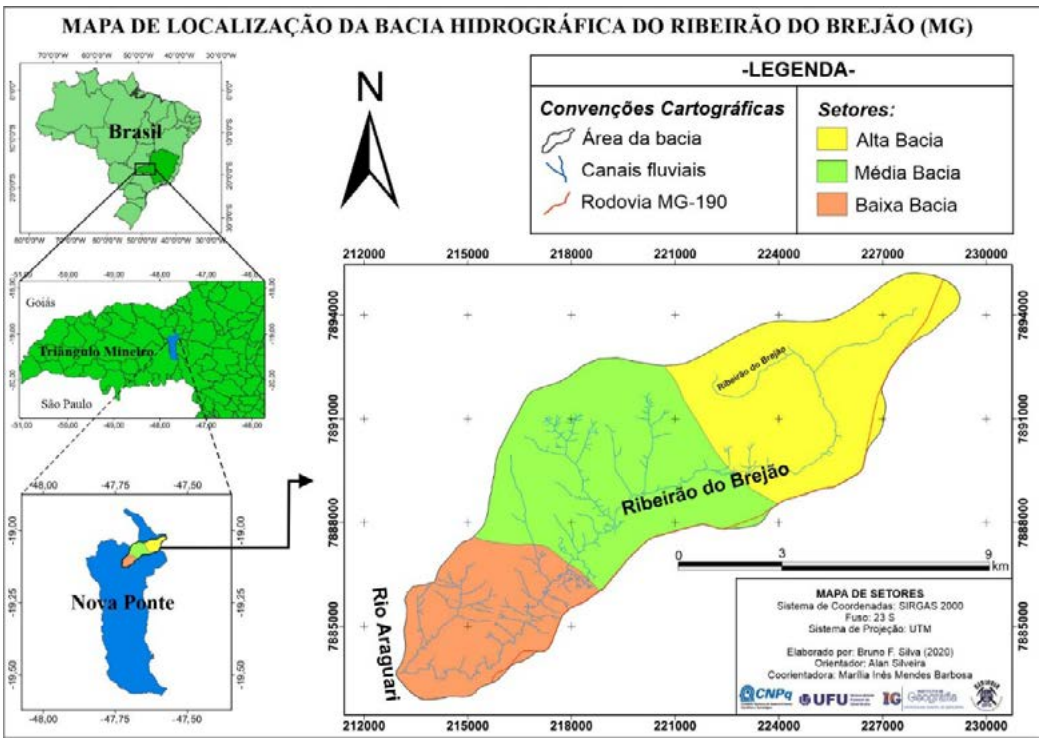


FIGURA 1: Mapa de localização e de setores da área de estudo.

O objeto de estudo está inserido na unidade geotectônica da Bacia Sedimentar do Paraná, em área cujas litologias se caracterizam pela presença da Formação Serra Geral e Formação Marília, além de Coberturas Detrítico-Lateríticas Coluvionares e o embasamento pertencente ao Grupo Araxá (CODEMIG, 2017).

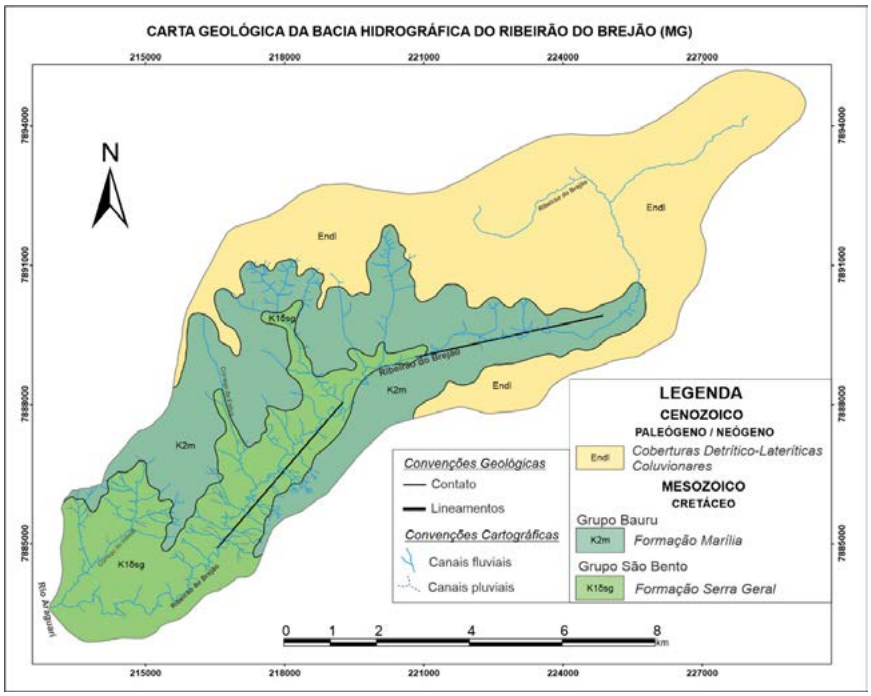


FIGURA 2: Carta Geológica da área de estudo.
Fonte: CODEMIG (2017), adaptado pelos autores.

A Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento, teve seu desenvolvimento no Cretáceo Inferior corresponde a derrames e intrusões basálticas com intercalações de arenito e diques de microgabro. A Formação Marília, pertencente à Sub-Bacia Bauru, apresenta grupos litológicos de arenito e lamito arenoso. Já as coberturas cenozoicas apresentam depósitos sedimentares constituídos predominantemente por quartzo silto-arenosos amarelados ou avermelhados, de granulação fina a média (CODEMIG, 2017).

Acerca das características geomorfológicas, a região posiciona-se nos Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná (ROSS, 1985), que são marcados por topografias tabuliformes e relevos com níveis diferenciados de dissecação. Na bacia em questão, predominam os Latossolos Amarelos Distróficos, na Alta Bacia, e Latossolos Vermelhos Acriférricos, na Média e Baixa Bacia, com presença de Neossolos Litólicos Distróficos, porém estes mais restritos, distribuídos em áreas à noroeste e leste da Baixa Bacia (MOTTA *et al.* 2004). Quanto ao clima, tem-se para a área de estudo o *Tropical Semi-Úmido*, com as seguintes características: quente durante todo o ano com 4 a 5 meses secos; temperatura média anual entre 22oC a 26oC; e pluviosidade média anual entre 1100mm a 1750mm, concentrados no verão (NOVAIS, 2011).

3. Metodologia

Neste trabalho, propôs-se a elaboração da carta de Dissecação Horizontal que possibilita quantificar a distância interfluvial, variável que afeta diretamente na potencialidade dos processos morfogenéticos exercidos pelos cursos d'água (BOIN *et al.* 2014). Elaborou-se também a carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagem a fim de analisar o comportamento dos canais fluviais, visto que estão diretamente associados à litologia e à estrutural (SOARES *et al.* 1982). Com uma análise comparativa entre estes dois documentos cartográficos, pretendeu-se correlacionar a influência das características geológico-geomorfológicas na intensidade da dinâmica fluvial para o Ribeirão do Brejão. Ainda, com a possibilidade de obter dados que corroborem com uma correlação das formas de drenagem com deformações tectônicas na região de estudo.

3.1 Carta de Dissecação Horizontal

A carta de Dissecação Horizontal representa a distância que separa os talvegues das linhas de cumeada. Desta forma, permite identificar a dissecação promovida pela drenagem, possibilitando avaliar áreas de interflúvios mais estreitos e, portanto, colaborando para a identificação de áreas suscetíveis aos processos morfogenéticos (BOIN *et al.* 2014).

Este documento cartográfico foi uma proposta de Spiridonov (1981), com adaptações de Mauro *et al.* (1991), posteriormente desenvolvido de forma automática no *software* ArcGIS por Ferreira *et al.* (2014). Assim, neste trabalho, seguiu-se o método automático de Ferreira *et al.* (2014) em que se delimitaram, por meio da vetorização, a área de estudo, os canais fluviais e as sub-bacias com o uso *software* ArcGIS 10.5. Quanto ao uso da ferramenta elaborada por Ferreira *et al.* (2014), seguiu-se as recomendações dos autores, com o parâmetro de agrupamento respectivo ao valor de 60 e o parâmetro de segmentação de 10 metros, visto que este último está baseado no erro gráfico referente à escala adotada (IBGE, 1999). A base cartográfica utilizada foi a Carta Topográfica da Folha Nova Ponte (MI-2489-2) (IBGE, 2007), com escala de 1:50.000 e equidistância das curvas de nível de 20 metros. Em seguida, definiram-se os intervalos de classe desejados e, então, gerou-se a dissecação horizontal para cada sub-bacia da área de estudo.

Para a definição das classes de dissecação horizontal, seguiu-se a recomendação de Spiridonov (1981) de que os valores quantitativos das classes fossem correspondentes ao dobro do limite da classe antecedente, desde o mínimo mapeável. Assim, as classes foram: < 50 m; 50 ⊦ 100 m; 100 ⊦ 200 m; 200 ⊦ 400 m; 400 ⊦ 800 m; ≥ 800m.

3.2 Carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagem

Segundo Soares *et al.* (1982), o relevo e a drenagem desenvolvem um padrão mediante interação entre as variáveis litologia e estrutura. Como exemplo, formas anômalas de drenagem como padrões radiais e anelares podem ser indicativos de mudança no controle estrutural regional quando associado a camadas preferencialmente horizontalizadas, como os derrames basálticos, visto que o comportamento lito-estrutural deste material deveria gerar padrões de drenagens mais retilíneas (SOARES *et al.*, 1982).

Nessa perspectiva, pretendeu-se elaborar uma Carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagens, seguindo a proposta de Jiménez-Rueda e Mattos (1992) e Jiménez-Rueda *et al.* (1989, 1993), para iniciar uma pesquisa acerca do comportamento lito-estrutural da área de estudo, visto que as litologias são essencialmente horizontalizadas quanto à inclinação do acamamento. Os elementos investigados foram as anomalias dos cursos d'água, a partir dos padrões do tipo anelar, radial, cotovelos e assimetrias de drenagens, bem como os lineamentos de drenagens, expressos pelo elevado grau de retilineidade dos canais.

Para elaboração desta carta, fez-se uso da fotointerpretação do Ortomosaico da folha SE.-Y-C-I-2-NE e articulação MI-2489-2-NE (IBGE, 2005), com escala 1:25.000, assim como de trabalhos de campo e dados obtidos do ano de 2019 no *Google Earth Pro*. Assim, foi possível identificar os cursos d'água e classificá-los conforme a metodologia proposta, a partir do uso do *software* ArcGIS 10.5. Ainda, gerou-se uma roseta de lineamentos a fim de melhor quantificar a frequência desses elementos e possibilitar uma identificação dos principais *trends* estruturais. Para a elaboração de uma roseta de lineamentos foi necessário a extração dos azimutes dos lineamentos obtidos no ArcGIS. Para isto, fez-se uso da ferramenta AzimuthFinder 1.1 que permitiu exportar os ângulos de cada lineamento em um único arquivo no formato txt. Por fim, utilizou-se o *software* OpenStereo, versão 0.1.2f, para produzir a roseta de lineamentos a partir dos arquivos com o azimute dos lineamentos.

4. Resultados e Discussão

Mediante os procedimentos propostos foi possível obter a carta de Dissecação Horizontal para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão, como pode ser visto na Figura 3.

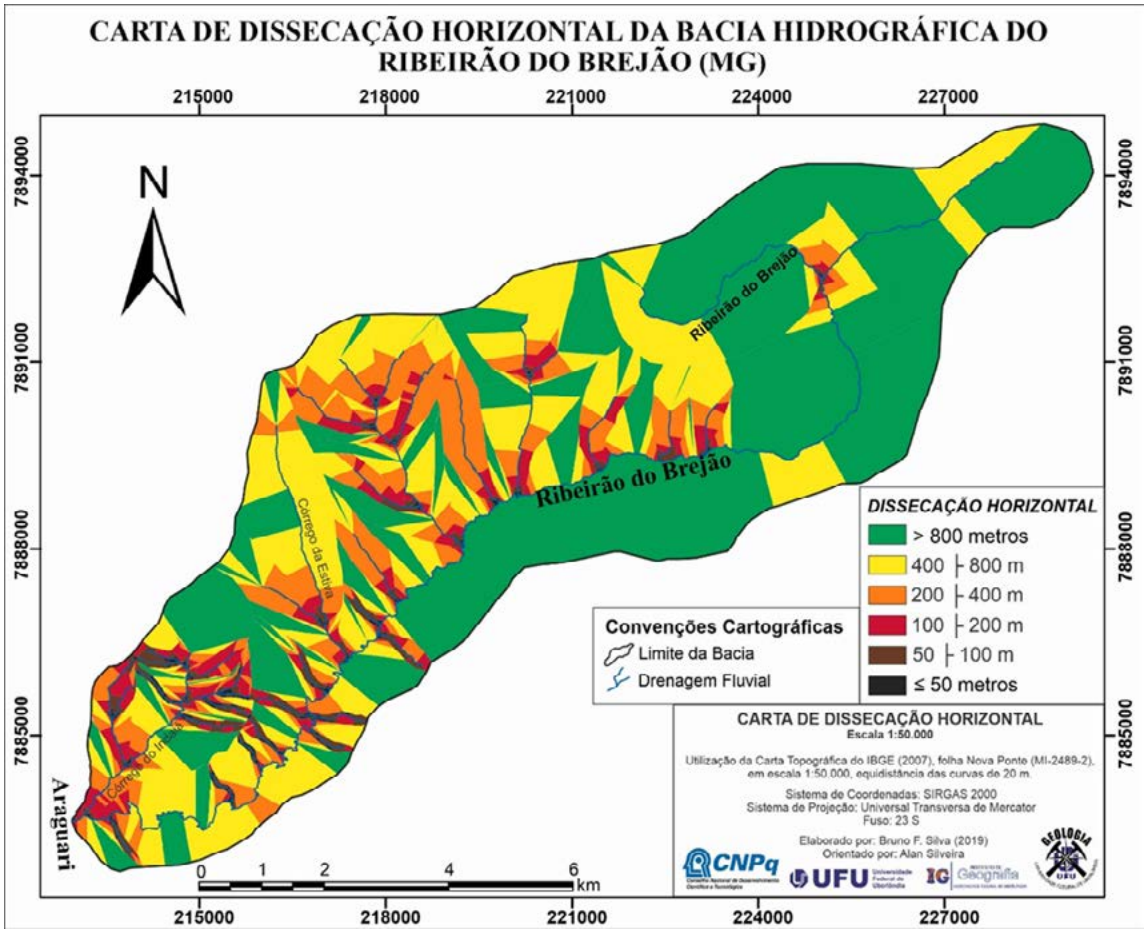


FIGURA 3: Carta de Dissecação Horizontal para a área de estudo.

A Alta Bacia possui extensos interflúvios devido à ocorrência predominante de classes pertencentes a 400 a 800 m e superiores a 800 m. Desta forma, este setor é caracterizado por reduzida densidade de drenagem, visto que os fundos de vale são bastante planos e propiciam o acúmulo de água. Para este setor não foram identificadas feições erosivas e/ou exposição de blocos rochosos.

Acerca da Média Bacia, tem-se dois padrões distintos, em que as vertentes à direita do Ribeirão do Brejão possuem classes de dissecação horizontal desde baixa a alta, cujas distâncias interfluviais atingem 100 m com frequência. Por outro lado, as vertentes à margem esquerda do canal principal, são caracterizadas por uma densidade de drenagem muito reduzida, constituídas essencialmente por interflúvios com distâncias superiores a 800 m. Neste setor há o uso de terraceamento a fim de permitir a atividade agrícola, já que os sulcos erosivos são bem comuns ao longo da vertente.

Nos setores norte e oeste da Baixa Bacia, tem-se interflúvios estreitos, com ocorrências comuns para as classes de até 50 m, mediante uma expressiva rede de drenagem. Para este setor, as vertentes à esquerda do canal principal, embora ainda com baixa dissecação horizontal, possuem classes mais elevadas quando comparadas com àquelas pertencentes à Média Bacia, permitindo identificar o aumento da potencialidade aos processos morfogenéticos para o setor da Baixa Bacia. Como consequência, este setor possui uma elevada incidência de sulcos que dissecam as vertentes e dificultam o uso do solo para as atividades agrícolas.

A partir de ortofotos em escala 1:25.000, foi possível elaborar a Carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagem para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão (Figura 4).

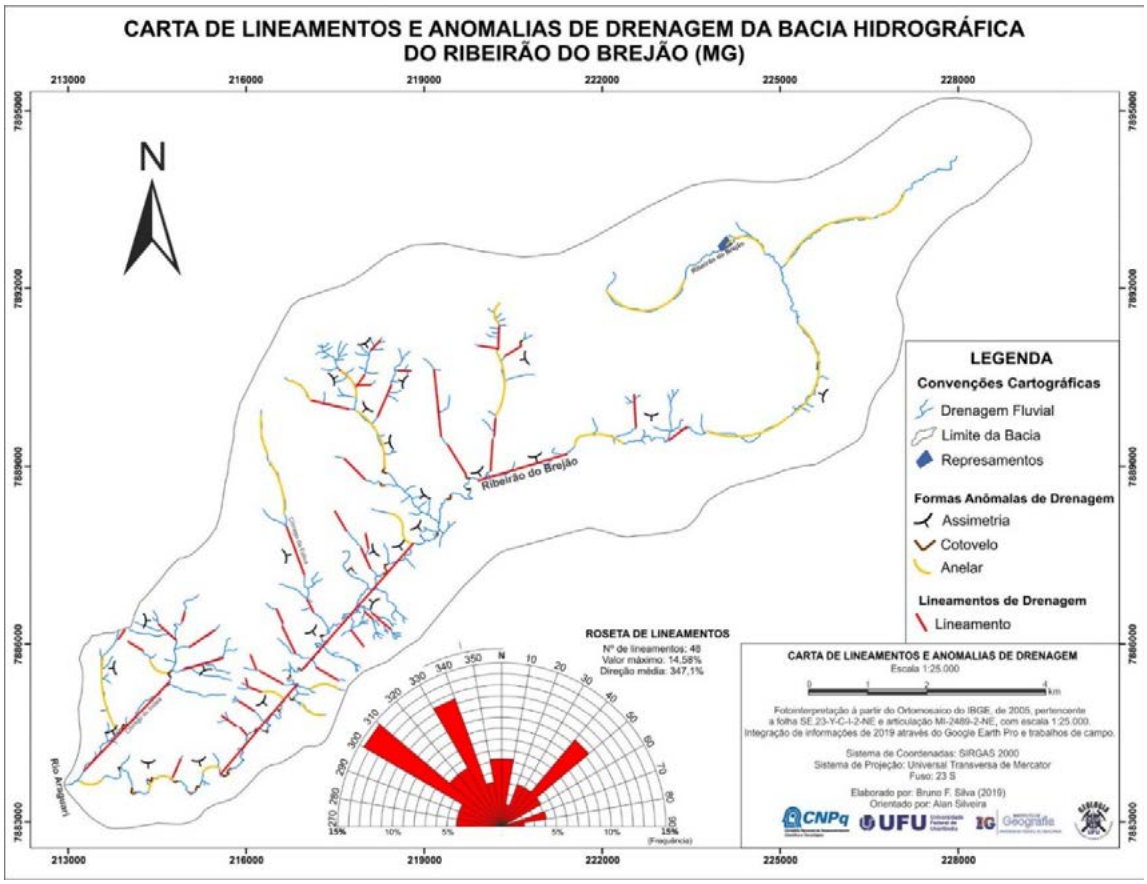


FIGURA 4: Carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagem para a área de estudo.

Pode-se observar que os lineamentos de drenagem mais expressivos possuem direção NE, os quais podem estar associados com fraturamentos mais antigos e/ou principais, como os três notáveis lineamentos ao logo do canal principal, permitindo o desenvolvimento mais efetivo do canal. Os lineamentos mais frequentes apresentam direção NW e posicionam-se na Baixa Bacia, na margem direita do Ribeirão do Brejão. No leito dessas drenagens o basalto é aflorante, possuindo fraturas com azimute correspondente, mediante dados coletados em campo. As fraturas principais identificadas possuem direção 315° e 45°, assim como algumas fraturas com 320° e 15°, indicando certa coerência com a roseta de lineamentos e a interferência de dessas estruturas nos padrões de drenagem, resultando em canais bem encaixados e retilíneos.

A forma anelar é mais expressiva na Alta Bacia, constituindo a feição predominante para este setor, porém, restringe-se ao canal principal, tendo em vista a reduzida densidade de drenagem. Em áreas associadas às Coberturas Detrítico-Lateríticas Coluvionares registram-se acentuadas curvaturas, assim como em afluentes do canal principal na Média Bacia, em setor com predomínio da Formação Marília.

Já próximo à foz, na Baixa Bacia, área correspondente aos basaltos da Formação Serra Geral, tem-se o registro de cotovelos, que indicam forte controle estrutural. Segundo Soares *et al.* (1982), o comportamento lito-estrutural de pacotes rochosos horizontalizados deve gerar padrões mais retilíneos para a drenagem. Sendo assim, seria esperado este comportamento para os cursos d'água da área de estudo, já que possuem como características apenas litologias horizontalizadas, com uma inclinação máxima de 6° de acordo o próprio mapeamento da CODEMIG (2017).

É importante salientar a assimetria das vertentes que se dirigem ao Ribeirão do Brejão. As vertentes da margem direita possuem rampas muito mais longas quando comparadas às vertentes da esquerda. Associado a isto, tem-se a ocorrência de maior densidade de drenagem nas vertentes à direita do canal principal, como fica bem expresso na carta de Dissecação Horizontal.

Para uma análise comparativa entre a carta de Dissecação Horizontal e a carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagem, produziu-se uma figura ilustrativa que contempla fotografias de dados evidenciados em campo, como pode ser visto na Figura 5.

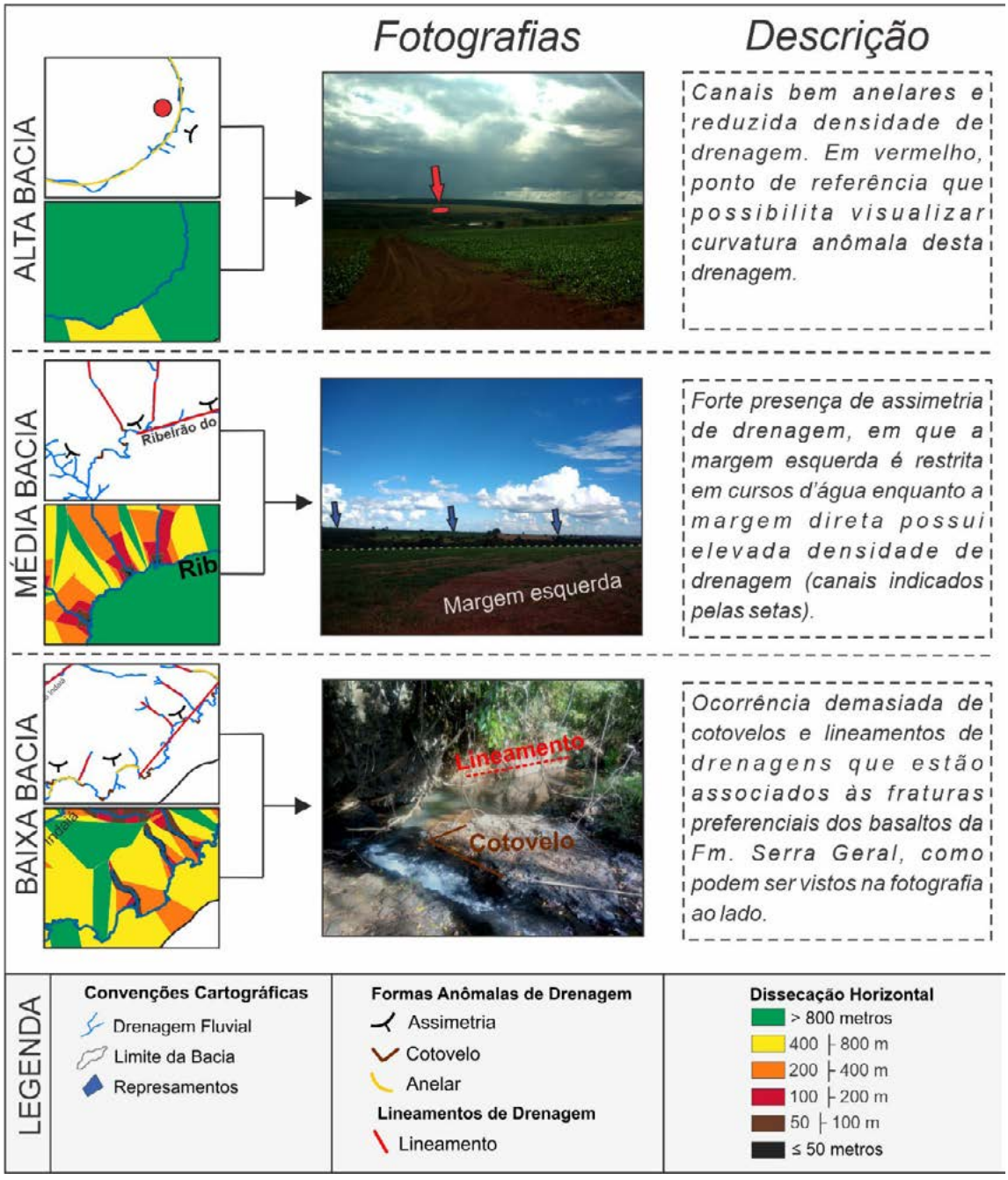


FIGURA 5: Esquema comparativo entre os dados de dissecação vertical e os dados referentes aos lineamentos e anomalias de drenagem juntamente com evidências coletadas em campo.

Em síntese, é possível notar um aumento na densidade de drenagem, mediante interflúvios mais estreitos que implica nas elevadas classes de dissecação horizontal, conforme há o aumento expressivo de lineamentos de drenagem. As porções que compreendem o predomínio de formas anômalas de drenagem não apresentam classes de dissecação horizontal tão elevadas. As características litológicas afetam diretamente na dinâmica fluvial, visto que as coberturas quaternárias e os arenitos são materiais com elevada porosidade primária e permeabilidade, o que possibilita uma maior infiltração e um menor escoamento dos corpos d'água. Ainda, ressalta-se que os basaltos são rochas ígneas extrusivas com baixíssima porosidade primária e elevada resistência aos processos denudativos, assim, tem-se para estes materiais o predomínio do escoamento em relação à infiltração.

Segundo Shimbo (2006), a alta densidade de lineamentos com mais de uma direção representa condições de maior fragilidade e faturamento do material, indicando a necessidade de um maior cuidado quanto ao planejamento ambiental e de manejo da área. Nessa perspectiva, apenas a Alta Bacia se resguardaria de um maior cuidado, tendo em vista a ausência de lineamentos e a reduzida densidade de drenagem, os quais se avolumam na média e, principalmente, na baixa bacia.

Os cursos anelares e radias são formas anômalas que melhor expressam as características morfoestruturais da área, sobretudo quando associadas às assimetrias de drenagem (PUPIM, 2010). Ainda, o autor afirma que formas anelares proeminentes no canal são evidências de que ainda durante o desenvolvimento drenagem em questão teve-se um forte controle estrutural. Assim, as áreas com maior ocorrência de feições anelares, como ocorre na Alta Bacia, poderiam estar associados a altos estruturais que possibilitariam retomadas erosivas com o aporte de sedimentos para as áreas morfogeneticamente mais ativas, sobretudo naquelas com fundos de vale encaixados e demarcados por expressivos lineamentos de drenagem. Essa discussão pode e deverá ser retomada em pesquisas futuras.

5. Considerações Finais

A partir da carta de Dissecação Horizontal tornou-se possível zonear as áreas mais suscetíveis à ocorrência de processos morfogenéticos associados aos cursos d'água, em que a Baixa Bacia é o setor de maior fragilidade. Ainda, ressalta-se que o comportamento lito-estrutural da área de estudo, verificado inicialmente a partir da Carta de Lineamentos e Anomalias de Drenagens, pode contribuir com a intensificação dos processos morfogenéticos. A Média Bacia, por exemplo, é um compartimento que possui já uma significativa distribuição de sulcos ao longo das vertentes que apresentam potencial natural para migrarem para os setores à montante, os quais também apresentam elevada interferência antrópica.

O reflexo da diferente dinâmica fluvial pode ser atribuído pelas distintas litologias ao longo da área de estudo, quando a Alta Bacia possui sobretudo a ocorrência de Coberturas Detrítico-Lateríticas Coluvionares e arenitos pertencentes à Formação Marília, enquanto a Baixa Bacia apresenta a ocorrência sobretudo dos basaltos da Formação Serra Geral. Os arenitos e as coberturas são materiais que propiciam uma maior infiltração e um menor escoamento dos corpos d'água. Em contrapartida, os basaltos são rochas que contribuem com o predomínio do escoamento em relação à infiltração, resultando na formação de corredeiras e quedas d'água.

Além disso, registraram-se um número expressivo de lineamento nas áreas de basalto, que pode estar associado às fraturas e falhas desenvolvidas ao longo do tempo geológico. Desta forma, há uma evolução vertical dos vales o que propicia um elevado grau de entalhamento, altos gradientes de vertente e interflúvios estreitos, potencializando o desencadeamento de processos morfogenéticos. Ainda, ressalta-se a presença de feições anômalas de drenagens, sobretudo os padrões anelares, em litologias horizontalizadas, propiciando uma inferência de controle estrutural regional mais recente.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa do processo PIBIC/CNPq/UFU no 02/2018.

Referências

BOIN, M.N.; ZANATTA, F.A.S.; CUNHA, C.M.L. Avaliação da morfometria do relevo na alta bacia hidrográfica do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP). ***Caderno Prudentino de Geografia***, Presidente Prudente, AGB, 2014, pp.5-26.

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. **Relatório Técnico** e **Carta Geológica**: Folha Nova Ponte (SF.23-Y-C-I), escala 1:100.000, 2017. p. 35.

CUNHA, C.M.L; MENDES, I.A.; SANCHEZ, M.C. Técnicas de elaboração, possibilidades e restrições de cartas morfométricas na gestão ambiental. **Geografia**, Rio Claro, 2003, v. 28, no 3, p. 415-429.

FERREIRA, M.V.; TINÓS, T.M.; PINTON, L.D.G.; CUNHA, C.M.L. A dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: proposta de técnica digital automática. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, 2014, v. 15, p. 585-600.

HASUI, Y.; HARALYI, N.L.E. Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. **Geociências**, São Paulo, 1991, 10:57-77.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Noções básicas de cartografia**. Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 130p

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ortomosaicos da folha SE.-Y-C-I-2-NE**, pertencentes às articulações MI-2489-2-NE e MI-2489-2-NO, com escala 1:25.000. 2005. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 de fev. de 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica da folha SE.23-Y-C-I-2**, pertencente à articulação MI-2489-2, com escala 1:50.000. 2007. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 de fev. de 2019.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T. Monitoreo de las actividades antrópicas para la evaluación de la capacidad de suporte del medio fisico: diagnostico y prognostico. In: Simposio Latinoamericano sobre riesgo geológico urbano, 2; Conferencia Colombiana de Geologia Ambiental, 2, Pereira: **Anais...**Pereira (Colombia), 1992.

JIMENEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T.; FILHO, W.M. Estudos integrados para controlar impactos ambientais de um sistema de irrigofertilização com vinhoto na região centro-leste do Estado de São Paulo. In: Simpósio Latinoamericano de percepcion remota, Bariloche: **Anais...** Bariloche, p. 459-465. v. 2, 1989.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; NUNES, E.; MATTOS, J.T. Caracterização fisiográfica da folha São José Mipibu - RN. **Revista de Geociências**, São Paulo, v.12, n.2, p. 481-491, 1993.

MAURO, C.A.; RUSSO, I.L.; BOVO, R.; TELES, A.P.S.S.; CARVALHO, M.B.S.; PICARELLI, A.; MELO, E.M.M. Contribuição ao Planejamento Ambiental de Cosmópolis-SP-BR. *In*: Encuentro de Geógrafos de América Latina, 3, 1991, Toluca. **Memórias.** Toluca: UAEM, 1991, v.4, p. 391-419.

MOTTA, P.E.; BARUQUI, A.M.; SANTOS, H.G. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004, 238 p.

NOVAIS, G.T. **Caracterização climática da mesorregião do Triangulo Mineiro/Alto Parnaíba e do entorno da Serra da Canastra (MG).** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2011, 175 p.

PENTEADO, M.M. Implicações tectônicas na gênese das Cuestas da Bacia de Rio Claro (SP). **Notícia Geomorfológica**, ano 8, n. 15, p. 19-41, 1968.

PUPIM, F. N. 2010. **Aspectos Fisiográficos do Município de Rio Claro-SP.** Tese (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Rio Claro, 2010. 121p.

ROSS, J.L.S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 1985, v.4, p. 25-39.

SEER, H.J.; MORAES, L.C. **Geologia Regional do Triângulo Mineiro**. Projeto Triângulo Mineiro. CODEMIG-CPMTC/UFMG, 2017, 123 p.

SHIMBO, J.Z. **Zoneamento geoambiental como subsídio aos projetos de reforma agrária. Estudo de caso: assentamento rural Pirituba II (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Rio Claro, 2006. 154p.

SOARES, P.C.; LUZ, M.E.R.; REDAELLI, R.; GUERRA, S.M.S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2, 1982, Brasília, **Anais...** Brasília, DF: CNPQ, 1982. v. 1, p.157-168.

SPIRIDONOV, A.I. **Princípios de la metodologia de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. 1981. 657 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Havana: Universidad de la Havana, Faculdad de Geografia. 1981.

A UTILIZAÇÃO DO GOOGLE EARTH ENGINE PARA A COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA: ALTO PARAGUAÇU-BA

Jonathas Jesus dos Santos
Universidade de São Paulo - USP
Av. Professor Lineu Prestes, 338. Cidade Universitária, São Paulo - SP. CEP 05508-000.
E-mail: jonathasjsantoss@gmail.com
Alex da Silva Sousa
Universidade de São Paulo - USP
Av. Professor Lineu Prestes, 338. Cidade Universitária, São Paulo - SP. CEP 05508-000.
E-mail: alexss86@gmail.com
Jurandyr Luciano Sanches Ross
Universidade de São Paulo - USP
Av. Professor Lineu Prestes, 338. Cidade Universitária, São Paulo - SP. CEP 05508-000.
E-mail: juraross@usp.br

Resumo

O uso dos dados em nuvem pode facilitar a geração de um grande número de informações e a manipulação dos dados espaciais. Desta forma pretende-se avaliar neste trabalho como o Google Earth Engine (GEE) pode ser utilizado para a elaboração de uma compartimentação geomorfológica no Alto Paraguaçu-Ba. Para isso foram utilizados dados SRTM e Sentinel-1 processados em nuvem, em conjunto com dados secundários como o Geodiversidade do Estado da Bahia elaborado pela CPRM. No ambiente de programação foram gerados vários dados derivados do SRTM em linguagem *javascript*: Hipsometria, Modelo de Sombreamento das Vertentes, Clinografia, Orientação das Vertentes e dados de radar do Sentinel-1. Além disso, foi empregado um processo de Clusterização para a delimitação automática dos compartimentos do relevo utilizando o método K-Means, CLVQ e X-Means. Como resultado identificou-se cinco compartimentos predominantes, demonstrando que o GEE é eficiente para a compartimentação geomorfológica.

Palavras-chave: Geoprocessamento em Nuvem; Mapeamento Geomorfológico; Unidades Geomorfológicas;

1. Introdução

A compartimentação geomorfológica corresponde a interpretações relativas aos diferentes níveis topográficos e a natureza do relevo, que apresentam uma importância direta no processo de ocupação (CASSETI, 2005). Logo, ela é fundamental para o planejamento e ordenamento do espaço, fornece informações importantes sobre as potencialidades e fragilidades dos ambientes naturais por meio da cartografia geomorfológica (ROSS, 1992). Nessa perspectiva, atualmente, é crescente a necessidade do desenvolvimento de novas metodologias que sistematizem a distinção das unidades geomorfológicas (HERMUCHE et al., 2003).

Para Penteado (1980), a moderna Geomorfologia deve ter um amparo de metodologias e técnicas cada vez mais aprimoradas, por vezes com empréstimos de outras ciências. Nesse sentido, novas tecnologias têm sido desenvolvidas para o processamento de imagens de Sensoriamento Remoto e monitoramento de áreas. Trata-se de técnicas de computação baseada em linguagem de programação em nuvem como o Google Earth Engine (GEE), que é uma plataforma de armazenamento on-line, em escala planetária, para o processamento de imagens de Sensoriamento Remoto (HOROWITZ, 2015).

A utilização do GEE pode reduzir substancialmente os custos com recursos e tempo, pois não é necessário fazer *download* para efetuar diversos tipos de análises, visto que o próprio programa disponibiliza recursos para o processamento on-line. Não é preciso despender tempo com pré-processamento, nem mesmo obter licenciamento de *softwares*, ou então se preocupar com espaço em disco, entre outros (GIRI et al., 2015).

O catálogo de dados do GEE abriga um grande repositório de informações publicamente disponíveis e conjuntos de dados geoespaciais. Além disso, a plataforma também foi projetada para ajudar os pesquisadores a disseminar facilmente seus resultados a outros pesquisadores, formuladores de políticas, ONGs, e até o público em geral (GORELICK et al., 2017).

Nessa perspectiva, o processamento de imagem de satélites em plataformas de computação em nuvem, como o GEE, é uma grande oportunidade para a comunidade científica ter acesso rápido a dados completos para análises, os quais são necessários para estudos e intervenções eficazes (DEVRIES et al., 2020). Logo o objetivo deste trabalho foi avaliar como o Google Earth Engine pode ser utilizado para a elaboração de uma compartimentação geomorfológica no Alto Paraguaçu-Ba.

2. Área de estudo

A avaliação foi realizada na região da nascente do rio Paraguaçu, o qual faz parte do complexo da Chapada Diamantina no estado da Bahia. Delimitou-se a bacia hidrográfica de seu alto curso por ser um sistema fechado e com fluxos naturais de matéria e energia. A litologia em maior abrangência corresponde aos sedimentos coluvionares, eluvionares, detrito-lateríticos, os arenitos e as areias (Figura 1). Predominam os Latossolos Vermelho-Amarelos, Neossolos litólicos e Argissolos Vermelho-Amarelos. O tipo de vegetação predominante é o campo rupestre, geralmente acima de 900m de altitude, entretanto também possui a presença do cerrado e da caatinga (RIBEIRO et al., 2005).

Essa região também possui transição dos campos rupestres e campos gerais, sendo a Serra do Sincorá a principal responsável pela transição, com áreas de cerrado (em Mucugê e Ibicoara) e manchas de caatinga em seus distintos níveis de altimetria (ROQUE et al., 2016). O clima varia de semiúmido a úmido com solos de alta aptidão agrícola. A união desses elementos transformou a região em um polo de atração para agroindústria e tem aumentado a demanda por água (LOPES et al., 2008).

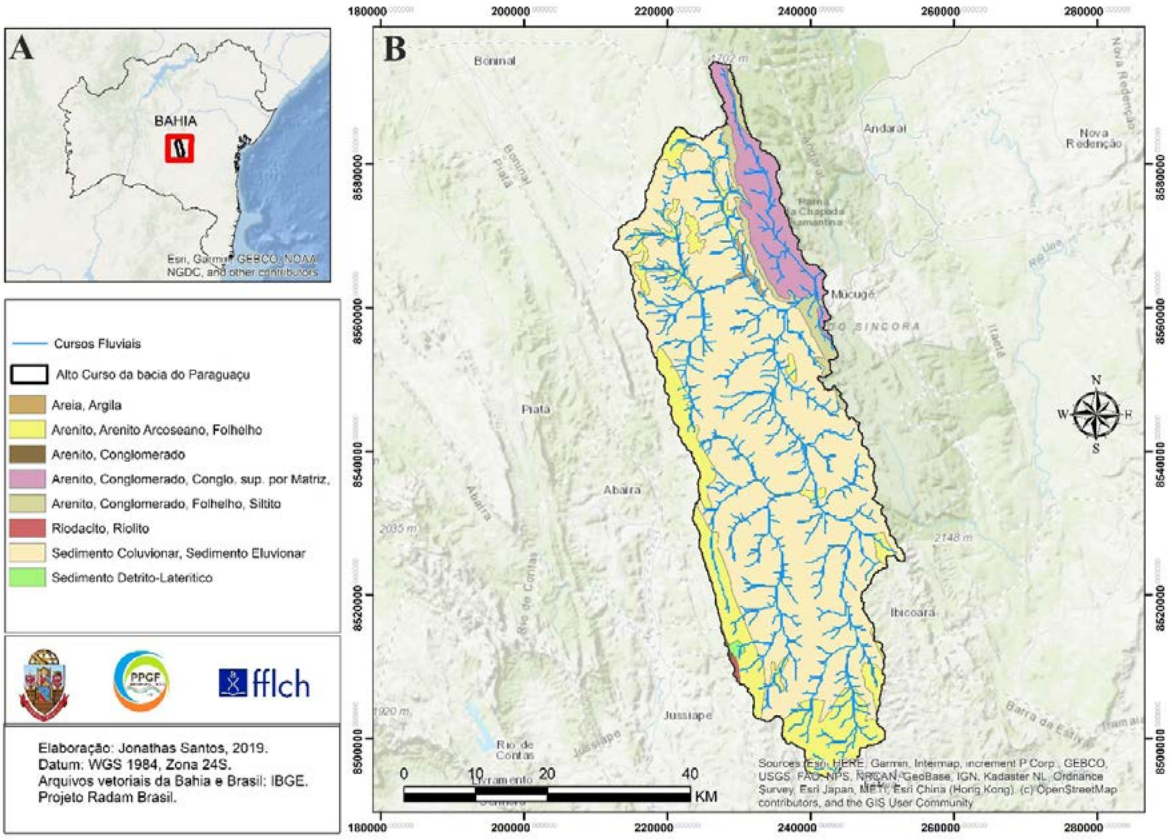


FIGURA 1: A - Localização da área de estudo no Estado da Bahia. B - Litologia da área de estudo.

3. Metodologia

A compartimentação do relevo, é elaborada a partir do uso de dados que expressem a topografia da paisagem. Para isso, em geral, se utiliza uma base topográfica ou um levantamento de radar efetuado por sensoriamento remoto ou mesmo aerolevantamento. A partir destes dados é possível elaborar um modelo digital do terreno com os valores de altitude. Estes dados apresentam detalhes nos níveis topográficos das áreas pelas quais são efetuados os levantamentos.

Atualmente, entre os dados de sensoriamento remoto, um dos materiais mais utilizados para a compartimentação, em média escala, é o *Shuttle Radar Topography Mission (*SRTM) elaborado pela Agência Espacial Americana (NASA). O SRTM apresenta as informações altimétricas do terreno, compondo assim o Modelo Digital do Terreno. O SRTM possui resolução espacial de 30 metros, e de acordo com Medeiros et al., (2009) revela-se de grande utilidade para o mapeamento geomorfológico, podendo ser utilizado para a identificação e espacialização prévia das unidades de relevo.

Outro dado de radar disponível, mas de uso ainda não tão difundido, é o Sentinel 1 do programa Copernicus da Agência Espacial Européia (ESA). Este radar possui modos de polarização única (HH ou VV) ou dupla (HH/HV ou VV/VH), com uma alta resolução espacial e temporal (SARAIVA & NAVARRO, 2015) que varia de 5 a 40 metros e um tempo de revisita de 6 dias. Os produtos de radar do Sentinel-1 juntamente com os derivativos do SRTM, embasam a caracterização dos aspectos morfográficos (formas e aspectos descritivos) e morfométricos (aspectos quantitativos) do relevo para a para a compartimentação geomorfológica.

Para o presente trabalho foi efetuada uma compartimentação do relevo a partir destes dois tipos de dados de radar, utilizando-se a plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine* (GEE), versão code.

Logo, primeiramente, no ambiente GEE foram efetuados os recortes de ambos os produtos, SRTM e Sentinel 1, para a área em estudo. Utilizou-se ainda como referência o mapa geomorfológico da Bahia, elaborado pela CPRM (2010) em escala 1:1.000.000, e a metodologia da taxonomia de Ross (1992).

Nesse sentido, foram gerados diversos dados derivados do SRTM, do com as informações de Modelo Digital do Terreno (MDT) em linguagem de programação *javascript*: Hipsometria, Modelo de Sombreamento das Vertentes, Clinografia e Orientação das Vertentes (Figura 3). Para fins de comparação e ajustes na compartimentação, foram utilizados também alguns recortes dos dados Sentinel 1.

A compartimentação foi efetuada a partir do uso das informações de relevo sombreado (hillshade) elaborado em duas angulações diferentes, com uma transparência de 50%. Este procedimento permite uma visualização das formas de relevo de forma mais nítida, o que facilita o processo interpretativo de criação de polígonos que representem os distintos compartimentos, visto que a sobreposição dos layers de relevo sombreado permite uma boa visualização das características topográficas da área em análise.

Foram elaborados também as informações de hipsometria e clinografia. Com o uso da informação de hipsometria, é possível distinguir melhor as áreas mais elevadas e mais rebaixadas, permitindo uma noção até mesmo da dimensão de determinados compartimentos, bem como padrões de altitude diferentes. A clinografia contribui para uma delimitação mais precisa dos compartimentos, visto que por vezes são mapeadas áreas que se distinguem pelas diferenças de inclinação do terreno.

De posse destas informações, e tendo como base a delimitação da CPRM (2010) para servir de parâmetro, foi possível observar os diferentes tipos de compartimentos e delimitá-los.

Por meio do GEE, além do uso dos dados SRTM, foram efetuados testes com os dados Sentinel 1, que permitiram avaliar a compartimentação efetuada por meio da sobreposição de dados com diversos tipos de polarização.

Um outro procedimento possível é a elaboração de compartimentações de forma automatizada. Os resultados podem ser comparados com a compartimentação elaborada de forma tradicional e interpretativa. Uma das destas classificações é efetuada por clusterização, onde o próprio algoritmo define os tipos de agrupamento a serem utilizados para classificar o relevo. Nessa perspectiva, cada um dos indivíduos multivariados em estudo pode ser considerado um ponto em um espaço multidimensional com uma medida de distância atribuída. Assim, a classificação dos indivíduos consiste no agrupamento de pontos. Esses grupos são frequentemente chamados de clusters (CALINSKI & HARABASZ, 1974).

Para a clusterização a partir da plataforma de computação em nuvem GEE, utilizou-se como base os dados do SRTM de 30 metros da área de estudo. Foram empregados diferentes métodos de clusterização o Cascade simple K-Means (K-Means); Clusterer that implements the Learning Vector Quantization (CLVQ) e X-Means.

Nessa perspectiva, foi montado um algoritmo de programação em linguagem *Javascript.* Configurou-se os parâmetros dos clusters: Para o K-Means, o número mínimo de clusters foi 3, o número máximo 9, a função da distância utilizada foi

a *Manhattan,* o número de interações 10 e o número de *restarts* 5. Para o CLVQ, definiu-se o número de clusters 6, a taxa de aprendizagem (*LearningRate*) 0.5, o número de interações 10. Para o X-Means o número mínimo de clusters foi 3, o máximo 9, a função da distância foi a *Chebyshev* e o número máximo de interações 10. Logo depois, cada método de clusterização foi treinado com a imagem recortada SRTM da área de estudo. Posteriormente, definiu-se os parâmetros de visualização e carregou-se as imagens resultantes do processo de Clusters.

4. Resultados e discussões

O trabalho resultou em uma compartimentação efetuada de forma interpretativa e três compartimentações elaboradas por técnicas de classificação não supervisionada. Para fins de comparação e análise dos resultados foi utilizada a classificação da CPRM (2010) por se tratar de um dado oficial e de grande confiabilidade.

No mapeamento Geomorfológico da CPRM (2010), identifica-se quatro domínios do relevo no alto curso do rio Paraguaçu-Ba, são eles: O domínio das coberturas cenozóicas detrito-lateríticos, domínio das coberturas sedimentares proterozóicas, domínio das sequências sedimentares proterozóicas dobradas e o domínio dos sedimentos cenozóicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso (Figura 2).

O domínio das coberturas cenozóicas detrito-lateríticos possuem aparência textural/estrutural anisotrópico concrecional/nodular e são originários por meio dos processos de lateritização em rochas de composições diversas sem a presença de crosta (CPRM, 2010). O material litológico é composto por sedimentos colunionares e eluvionares e os solos predominantes são sobretudo os Latossolos Vermelho-Amarelo - LVAd. Estas áreas estão associadas as “Chapadas e Platôs” (CPRM, 2010).

O domínio das coberturas sedimentares proterozóicas é retratado por um empilhamento irregular de rochas sedimentares em forma de camadas horizontalizadas e sub-horizontalizadas, de aparência estrutural anisotrópico acamadado (CPRM, 2010). Esse domínio é caracterizado por litologias de arenitos e conglomerados e os Neossolos Litólicos - RLd são a categoria de solos predominantes. Em relação ao compartimento de relevo, está inserido no “Domínio Montanhoso” (CPRM, 2010).

No domínio das sequências sedimentares proterozóicas dobradas, devido à tectônica de dobramento a que foram submetidos, os terrenos desse domínio possuem relevo muito diversificado e movimentado, os quais intensificam, em certas situações, os movimentos naturais de massa, criando, assim, áreas de risco geológico (CPRM, 2010). Os Argissolos Vermelhos-Amarelos - PVAd é a categoria de solos predominante neste domínio. Está associada a toda diversidade de compartimentos presente na área, o de “Domínio Montanhoso”, “Chapadas e Platôs” e “Domínio de Morros e de Serras Baixas” (CPRM, 2010).

No domínio dos sedimentos cenozóicos inconsolidados ou pouco consolidados depositados em meio aquoso os processos morfodinâmicos de erosão e deposição são atuantes. Situam-se em áreas baixas, nas quais se depositam os materiais erodidos dos terrenos mais altos que as circunscrevem, e que para elas são transportados por meio de rios, enxurradas, ventos e, na faixa costeira, pela ação do mar (CPRM, 2010). O compartimento de relevo associado a este domínio é o de “Planícies Fluviais ou Flúvio-Lacustres” (CPRM, 2010).

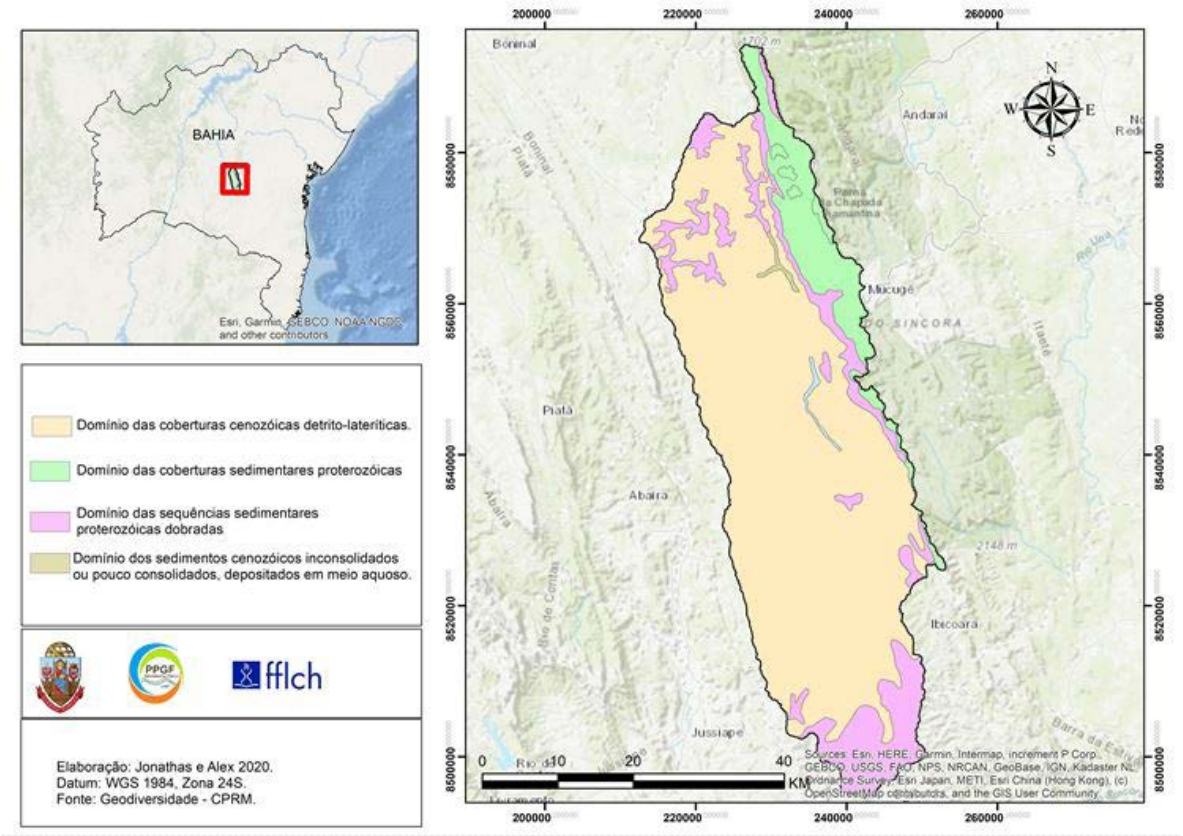


FIGURA 2: Mapeamento Geomorfológico da CPRM.

A partir da elaboração de diferentes produtos cartográficos dentro da plataforma do Google Earth Engine (GEE) (Figura 3), e se baseando no mapeamento da CRPM (2010) (Figura 2) foi possível elaborar uma proposta de compartimentação (Figura 4). Foram identificadas no MDT, e produtos derivados, cinco grandes compartimentos, sendo eles as "Planícies Fluviais", "Colinas e Morros Baixos", "Serras e Morros Altos", "Depósitos e Rampas Coluvionares" e "Platôs" (Figura 4).

A compartimentação foi elaborada com base nos limites de altitude, de inclinação e nas formas dos compartimentos identificados. Os dados Sentinel 1 possibilitaram um detalhamento maior dos compartimentos, principalmente das "Planícies Fluviais" (Figura 4). Nessa perspectiva o GEE mostrou-se eficiente, uma vez que foi possível comparar de maneira rápida os diferentes produtos por meio de sobreposição. Além disso, a possibilidade de utilizar as paletas de cores, customizações, desenho de vetores, transparências, entre outros permitiu a identificação dos cinco compartimentos de uma maneira mais precisa.

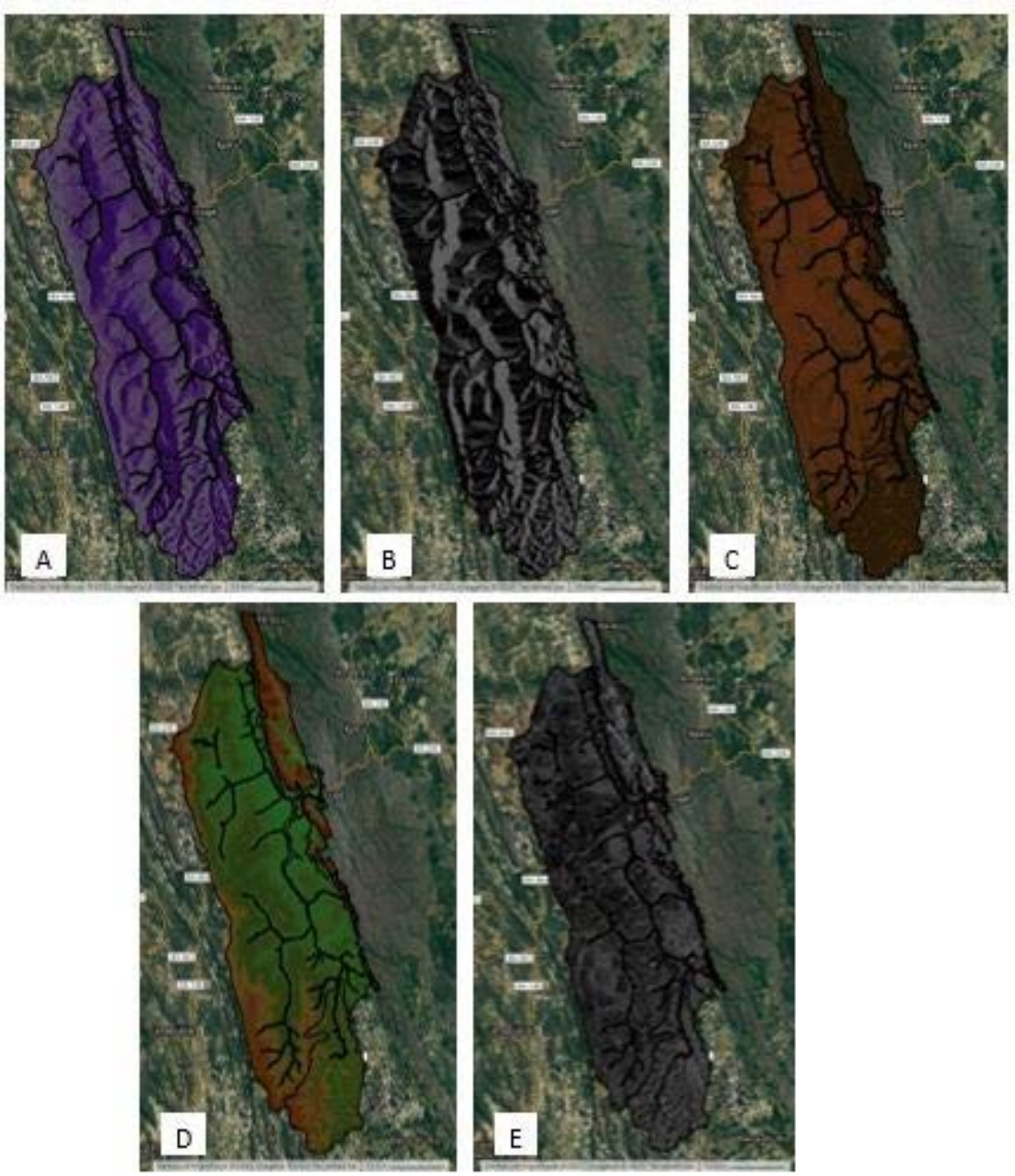


FIGURA 3: A-Relevo Sombreado; B-Orientação das Vertentes; C-Clinografia; D-Hipsometria; E-Imagem Sentinel-1 - Banda-VV.

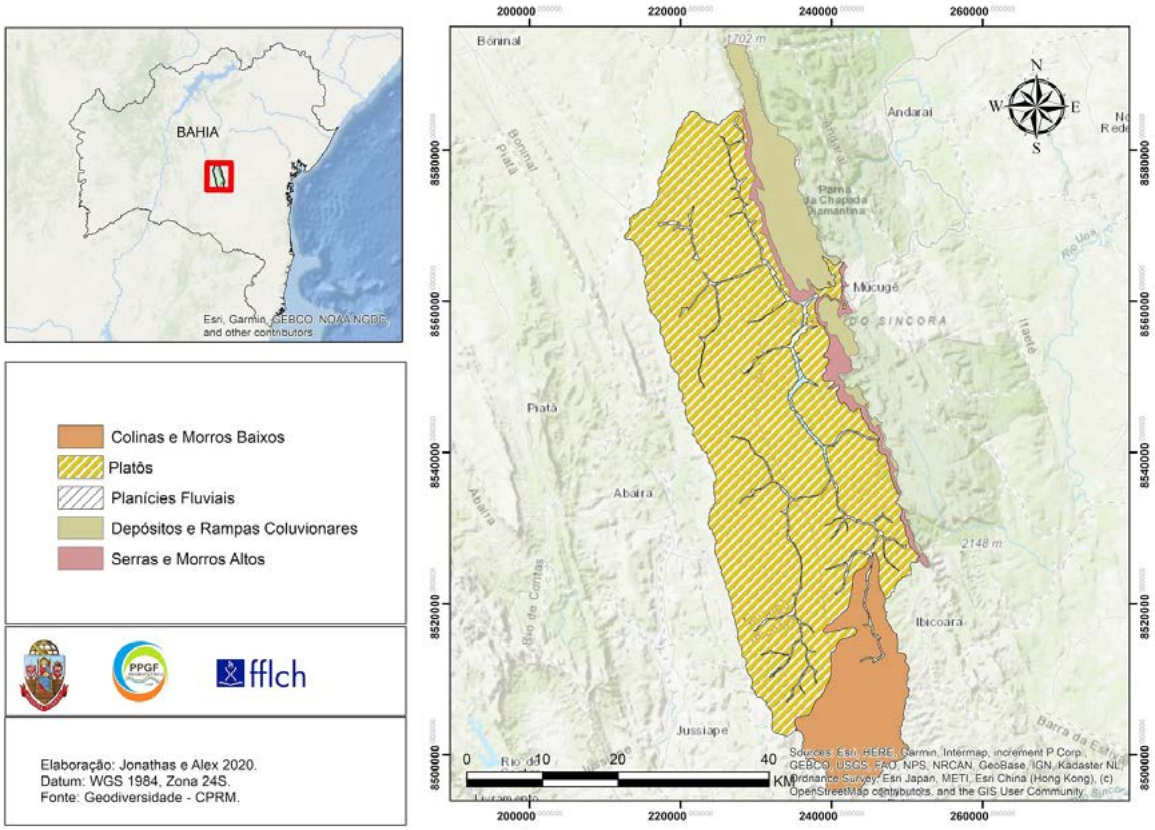


FIGURA 4: Compartimentação Geomorfológica da área de estudo.

O mapeamento elaborado de forma interpretativa é importante à medida que possibilita uma maior precisão nos limites dos compartimentos. Em geral, pode-se associar as formas do relevo aos diferentes litotipos e aos diferentes tipos de solos. Ao efetuar estas associações, é possível utilizar a compartimentação como parâmetro ao planejamento ambiental e territorial. Um compartimento associado aos litotipos e as classes de solos predominantes permite uma definição das potencialidades e limitações das áreas em estudo.

Desta forma, a delimitação destes compartimentos através de um procedimento automatizado, seja por meio de classificadores supervisionados ou não supervisionados, possibilitaria o desenvolvimento de estudos de planejamento ambiental e territorial para vastos territórios. Assim, foram efetuados testes com o mapeamento através de técnicas de clusterização, de maneira a explorar estas técnicas.

O mapeamento com Cluster dentro da plataforma GEE (Figura 5) possibilitou identificar diferentes compartimentos dependendo da metodologia utilizada. O K-Means (Figura 5.A), classificou três compartimentos diferentes. Trata-se de um dos mais populares métodos de cluster (LALOË & SERVIEN, 2013). Ele é comumente utilizado para particionar automaticamente um conjunto de dados em k grupos (WAGSTAFF et al., 2001).

O CLVQ identificou sete compartimentos geomorfológicos (Figura 5.B). Esse método fornece uma técnica para a construção de clusters confiáveis, caracterizados por seus protótipos (PATRA, 2011). Já o X-Means (Figura 5.C) identificou três compartimentos diferentes. Trata-se de um método que estima rapidamente K. Após cada execução de 2 médias, são tomadas decisões locais se os subconjuntos do centróide atual devem ser divididos ou não. A decisão de divisão é tomada computando-se as informações bayesianas critério (LALOË &

SERVIEN, 2013).

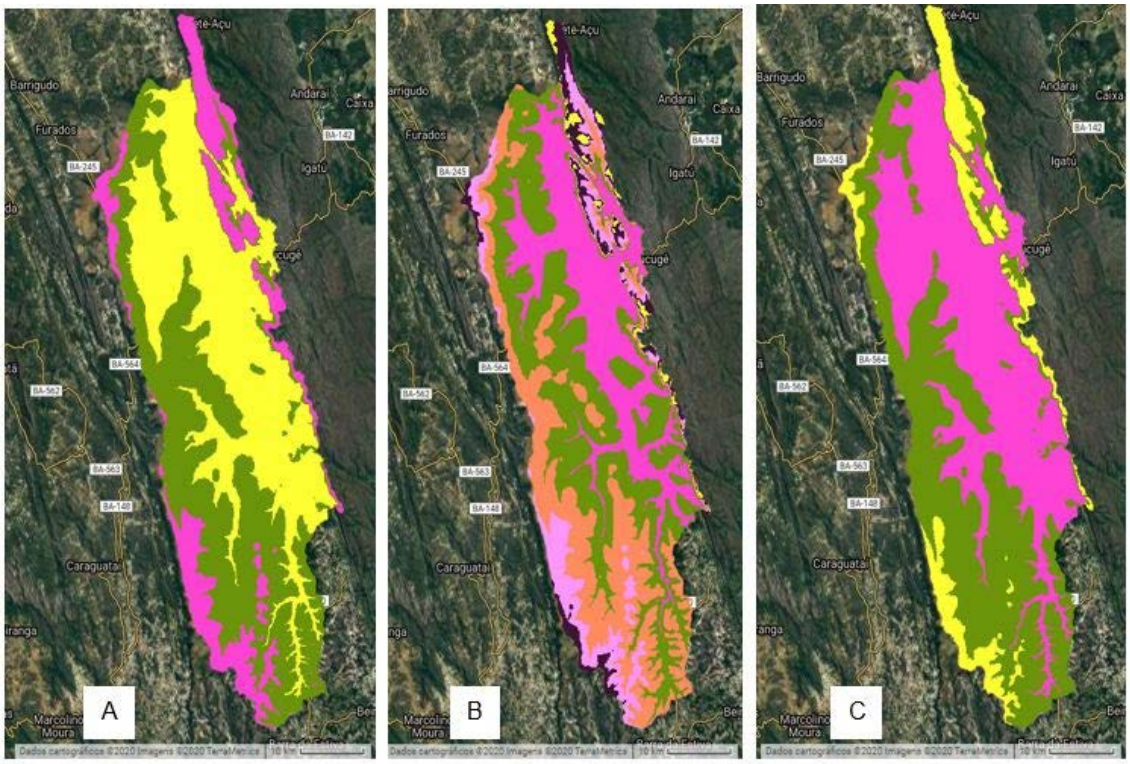


FIGURA 5: Clusterização dos compartimentos topográficos da área de estudo.

A - Método K-Means; B - Método CLVQ; C - Método X-Means

Os resultados demonstram que as três classificações (Figura 5) não supervisionadas obtiveram uma boa classificação das áreas de "Serras e Morros Altos", sendo que na em uma foi destacado inclusive o compartimento de "Depósitos e Rampas Coluvionares" (Figura 5.B.). Todas também destacaram as áreas onde ocorrem as "Planícies Fluviais", mas não com precisão nos limites. Nenhuma diferenciou os "Platôs" das "Colinas e Morros Baixos". Sobre o mapa efetuado de maneira mais tradicional, destaca-se o uso do Sentinel 1 para a identificação das "Planícies Fluviais", visto que este compartimento não é facilmente identificado no SRTM.

A plataforma GEE permitiu o uso de diversos dados, o que favoreceu uma delimitação mais precisa dos compartimentos pelo uso de múltiplas informações. Evidencia-se dessa maneira os benefícios do GEE em comparação com os métodos tradicionais de compartimentação geomorfológica, tanto para a delimitação supervisionada dos compartimentos quanto para a delimitação não supervisionada.

5.Considerações finais

A utilização de técnicas de processamento digital em nuvem, em especial o Google Earth Engine, mostrou-se eficiente para a compartimentação Geomorfológica do Alto Paraguaçu-BA. A plataforma possibilitou o cruzamento de diferentes dados espaciais para avaliação e delimitação das unidades de relevo. Também possibilitou por meio da clusterização a classificação automática dessas unidades predominantes utilizando-se diferentes métodos. Assim, foi possível comparar os distintos dados e gerar uma melhor compartimentação geomorfológica da área de estudo.

Nesse sentido, foi possível economizar recursos e tempo para a pesquisa, visto que não é necessário efetuar o download dos dados para que se possa trabalhar. Como os processamentos são efetuados em nuvem, são reduzidos os problemas causados pela falta de recursos para obtenção de equipamentos. Computadores com poucos recursos de hardware podem ser utilizados para trabalhar com grandes volumes de dados. Logo o GEE pode ser utilizado para a compartimentação geomorfológica, auxiliando na manipulação dos dados e na delimitação das unidades geomorfológicas, ajudando consequentemente no planejamento ambiental, na avaliação da fragilidade, potencialidades dos ambientes naturais e antrópicos.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física (PPGF) da Universidade de São Paulo (USP). Ao Laboratório de Geomorfologia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH/USP).

Referências

CALINSKI, T.; HARABASZ, J. A dendrite method for cluster analysis. Commun. **Stat.** 3: 1-27.1974

CASSETI, Valter. **Geomorfologia** (Livro digital). 2005.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geodiversidade do estado da Bahia**. Rio de Janeiro, 2010.

DEVRIES, B., HUANG, C., ARMSTON, J., HUANG, W., JONES, J. W., & LANG, M. W. Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**, *240*. 2020. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111664

GIRI, C., LONG, J., ABBAS, S., MURALI, R. M., QAMER, F. M., PENGRA, B., & THAU, D. Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. **Journal of Environmental Management**, *148*, 101–111. 2015. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.020

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., & MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, *202*, 18–27. 2017. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

HERMUCHE, P. M.; ANDRADE, A. C. ; GUIMARÃES, R. F. ; LEAL, L. R. ; CARVALHO JÚNIOR, O. A. ; MARTINS, É. S. . Compartimentação geomorfológica em escala regional da bacia do rio Paranã. **Revista do Departamento de Geografia (GeoUERJ)**, Rio de Janeiro, v. 1, p. E2-2-2T288, 2003.

HOROWITZ, F. G. MODIS Daily Land Surface Temperature Estimates in Google Earth Engine as an Aid in Geothermal Energy Siting. **Proceedings of the World Geothermal Congress**, (19-25 April), 4. 2015.

LALOË, T.; SERVIEN, R. The X-Alter algorithm: a parameter-free method to perform unsupervised clustering. **Journal of modern applied statistical methods**: JMASM, College of Education, Wayne State University, 12 (1):90-102. 2013, ffhal-00674407v4f.

LOPES, P. H. L. *et al.* **Grupo de Trabalho para o Planejamento e a Execução da Transferência da Operação e Manutenção dos Barramentos**. Salvador: Secretaria do Meio Ambiente, 2008. 72 p.

MEDEIROS, L.C.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, L.G.; Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia.** 61/02, 2009.

PATRA, B. Convergence of Distributed Asynchronous Learning Vector Quantization Algorithms. **Journal of Machine Learning Research**, 12:3431-3466, 2011.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

RIBEIRO, P.L.; BORBA, E.L.; TOSCANO-DE-BRITO, A.L.V. O gênero Bulbophyllum Thouars (Orchidaceae) na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Revista Brasil. Bot**., V.28, n.3, p.423-439, jul.-set. 2005.

ROQUE, N. OLIVEIRA, E.C.; MOURA, L.; QUARESMA, A.S.; OGASAWARA, H.A.; ALVES, M.; SANTANA, F.A.; HEIDEN, G.; CAIRES, T.A.; BASTOS, N.G.; LIMA, G.M.; BAUTISTA, H.P. Asteraceae no Município de Mucugê, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. Rio de Janeiro Janeiro: **Rodriguésia.** vol.67 no.1./Mar. 2016.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, **FFLCH-USP**, n. 6, p.17-29. São Paulo, 1992.

SARAIVA, C.; NAVARRO, A. Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-1 para identificação das culturas agrícolas. **Conferência nacional da Cartografia e Geodésia**, 2015.

WAGSTAFF, K.; CARDIE, C.; ROGERS, S.; SCHROEDL, S. Constrained K-means Clustering with Background Knowledge. **Proceedings of the Eighteenth International Conference on Machine Learning**, 2001, p. 577–584.

ANÁLISE AUTOMATIZADA DOS ELEMENTOS DO RELEVO NO MUNICÍPIO DE NOVA ESPERANÇA DO SUL/RS

Franciele Delevati Ben
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, RS - Brasil - CEP 97105900
E-mail: franciledelevattiben@gmail.com
Giorge Gabriel Schnorr
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, RS - Brasil - CEP 97105900
E-mail: Giorgeschnorr@gmail.com
Luis Eduardo de Souza Robaina
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, RS - Brasil - CEP 97105900
E-mail: lesrobaina@yahoo.com.br
Romario Trentin
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, RS - Brasil - CEP 97105900
E-mail: romario.trentin@gmail.com
Anderson Augusto Volpato Sccoti
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, RS - Brasil - CEP 97105900
E-mail: asccoti2@gmail.com

Resumo

A análise das diferentes formas de relevo é primordial para o entendimento dos processos exógenos, disponibilizando uma importante ferramenta de investigação à nível de município. Dessa forma, o presente trabalho possui como objetivo analisar de maneira automatizada os elementos do relevo no município de Nova Esperança do Sul, localizado na Região Central do estado do Rio Grande do Sul. Através do uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) foram elaborados mapas de localização, hipsometria, declividade e elementos do relevo (*Geomorphons*). As curvas de nível e pontos cotados das cartas topográficas do exército, em escala 1:50.000, foram utilizadas para construção do Modelo Digital de Terreno e, através deste foram elaborados os mapas e análises com o auxílio do *Quantum Geographic Information System (QGIS)* versão 3.16. A interpretação dos mapas, juntamente com as análises de campo permitiram apresentar uma caracterização geral do relevo do município de Nova Esperança do Sul.

Palavras-chave: Unidades do relevo. Nova Esperança do Sul. *Geomorphons*. SIG. Automatização.

1. Introdução

O uso de tecnologias relacionadas à cartografia, inseridas no contexto da análise digital do relevo em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), para a aplicação de técnicas paramétricas que objetivam a mensuração, identificação e classificação de feições e unidades do relevo a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), vem sendo cada vez mais comum como suporte em trabalhos de cartografia geomorfológica.

A análise espacial por meio de ferramentas digitais propõe que um grande número de informações podem ser trabalhadas em escala reduzida, facilitando o trabalho com os dados já que é necessária a ida à campo. Florenzano (2005) traz à tona que o rápido desenvolvimento do sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG) contribuem para a evolução das ciências da terra e ambientais, podendo fazer também, papel de ligação entre elas. A análise quantitativa da superfície terrestre, definida como geomorfometria, tem como enfoque a extração de medidas descritivas de parâmetros do relevo e feições da superfície (Pike, 2009; Mark e Smith, 2004; Wilson, 2000).

Nesse contexto, surge a proposta de análise do relevo a partir dos *geomorphons* de Jasiewicz e Stepinski (2013), com uma classificação automática a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), gerando 10 elementos de relevo definidos como: áreas planas (*flat*), picos (*peak*), crista (*ridge*), ressaltos (*shoulder*), crista secundária (*spur*), encosta (*slope*), escavado (*hollow*), base de encosta (*footslope*), vales (*valley*) e fosso (*pit*). O *Geomorphons* é uma metodologia que usa operações algorítmicas para a interpretação de um Modelo Digital de Elevação (MDE), portanto vai além do uso de variáveis métricas. Através dos algoritmos médios pode-se, através de técnicas computacionais, auto classificar e mapear elementos das formas de relevo.

Robaina, Trentin e Laurent (2016) foram os primeiros no Brasil a aplicar a proposta para definir os compartimentos geomorfológicos no estado do Rio Grande do Sul, com utilização da distribuição e associação de elementos do relevo. Robaina et al. (2017) aplicaram os "*geomorphons*" para a classificação do relevo no estado do Tocantins, Brasil. Dutra, Furlan e Robaina (2020) trabalharam a compartimentação dos elementos do relevo da bacia hidrográfica do arroio Pantanoso – Canguçu/RS, através da proposta dos *geomorphons*. O objetivo deste trabalho é analisar o relevo no município de Nova Esperança do Sul/RS através da identificação de altitude, declividade e elementos do relevo, realizado de forma automática com a ferramenta *r.geomorphon*, a qual está disponível no *Qgis* versão 3.16.

1.2 Área de estudo

O município localiza-se na Região Central do estado do Rio Grande do Sul, dentro da Mesorregião Centro-Ocidental Rio Grandense. Entre as coordenadas geográficas centrais da cidade 29°18'46,8"S a 29°30'25,2"S e 54° 44 '20,4 ``W a 54° 44' 20,4"W a 54° 55 '37,2 ``W. Conforme o último censo do IBGE (2010) Nova Esperança do Sul possui uma população de 4.671 pessoas e possui uma área de 190,994 km^2. Em suas divisas municipais se encontram os municípios de Santiago ao norte, São Francisco de Assis ao oeste e Jaguari ao sul (Figura 1).

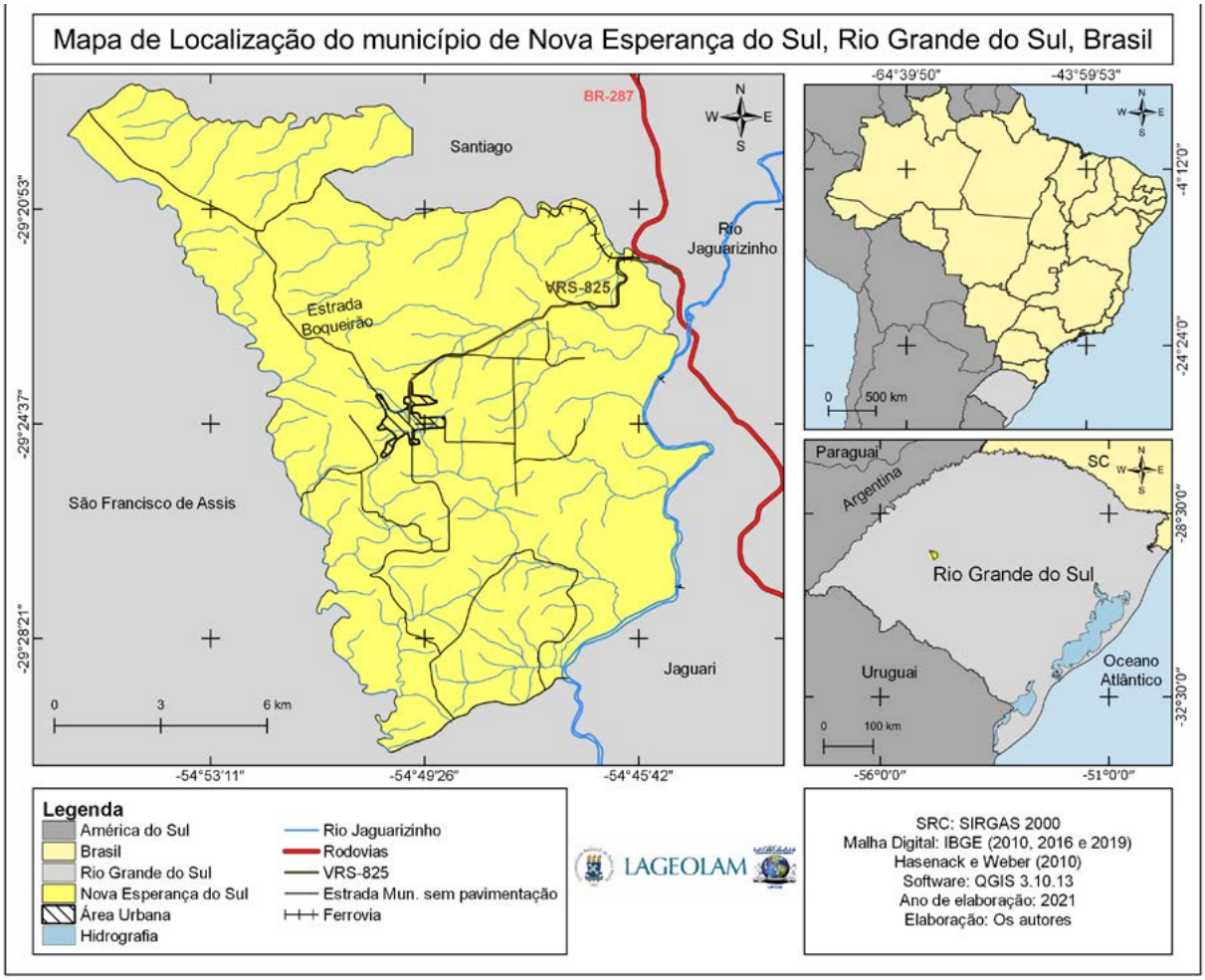


FIGURA 1: Mapa de localização do município de Nova Esperança do Sul.
Fonte: Autores.

2. Metodologia

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi realizada a revisão bibliográfica referente a temática apresentada, na sequência um levantamento de dados primários e a classificação e confecção dos mapas da área de estudo, sendo o mapa de localização, hipsometria, declividade, e de elementos de relevo (*Geomorphons*). Buscou-se levantar, na literatura os trabalhos que apresentam a importância das contribuições das análises geomorfológicas a níveis regionais para a compreensão e auxílio ao desenvolvimento dos municípios, bem como o uso de geotecnologias para as metodologias aplicadas em SIG para a compartimentação e análise do relevo, como é o caso das aplicações dos *geomorphons*.

Para a elaboração de todos os mapas foi utilizado o software *Quantum Geographic Information System (QGIS)* versão 3.10.13 e 3.16, SIG de código aberto e gratuito, disponível a toda a comunidade, o que permite amplo uso e aplicações nos mapeamentos de relevo e demais técnicas de geoprocessamento de informações geográficas. O MDT (Modelo Digital do Terreno), com resolução espacial de 20 metros, foi gerado a partir das curvas de nível e pontos cotados das cartas topográficas do exército em escala de 1:50.000, disponibilizadas por Hasenack e Weber, (2010). Optou-se pela construção do MDT a partir das informações altimétricas das cartas topográficas em função da melhor resolução espacial disponível, bem como da melhor representação do terreno frente aos Modelos Digitais de Elevação disponíveis que apresentam ruídos na representação de áreas com elevada densidade florestal.

Para elaboração do mapa de declividade foi utilizada a ferramenta ''declive'' disponível no software QGis a partir do GDal, utilizando o intervalo de classes: 0-5%, 5-15% e >15%. Os intervalos adotados no trabalho são adptaçãos das propostas metodológicas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (1981) e Trentin e Robaina (2005), onde o limite de 5% representa a inclinação onde os processos erosivos começam a atuar e representar a incisão na dinâmica superficial; o limite de 15% representam o limite associado aos movimentos gravitacionais de massa, indicando áreas propensas a ocorrências destes processos, bem como, em áreas rurais o limite associa-se ao emprego de maquinário agrícola e, em áreas urbanas associado ao emprego de obras de engenharias, como cortes e aterros para construção civil.

O mapa de hipsometria foi definido em 6 classes: <150 m, 150-200 m, 200-250 m, 250-300 m, 300-350 m, >350 m, com base no histograma de frequência estas que marcam uma transição entre ambientes considerados de baixa altitude e outros com altitude mais considerável. A compartimentação do relevo em classes de amplitude de 50 metros permitiu a caracterização e representação espacial da variação das elevações da área municipal.

Para a compreensão do relevo foi elaborado o mapa dos elementos de relevo (*geomorphons*), foi utilizada a ferramenta *r.geomorphon,* disponível no software QGIS. O raio externo utilizado foi de 50 células/pixels, o raio de pesquisa interno de 0 e a limiar de nivelamento de 2,0 graus. Os parâmetros relacionados aos raios de análise e graus de nivelamento, são variáveis livres na ferramenta de análise que devem ser definidas conforme as características da área de estudo e do MDT adotado na análise, de maneira geral, busca-se definir o comprimento médio das vertentes e o quão onduladas são as vertentes, de forma que a ferramenta de análise em SIG consiga definir os elementos de relevo (*geomorphons*), presentes nesta área.

A metodologia conforme Jasiewicz e Stepinski (2013), apresenta uma variação para mais ou para menos de níveis de cinza (valor de elevação) entre células vizinhas considerando um nível específico. Os valores de elevação do relevo são representados pela numeração variando de maior que um, zero e menor que um, analisando as oito direções a partir de um ponto central. Na tabela 2, é apresentado o modelo resultante dos elementos que se formam a partir dessa comparação. Ainda sobre a metodologia dos elementos do relevo, Dutra, Furlan e Robaina (2020) destacam que o "*Geomorphons* possui grande potencialidade para análises, pois essa metodologia viabiliza a distinção dos dez elementos mais comuns do relevo, os quais se diferenciam a partir da forma. "

Após a construção cartográfica, foram feitas as análises espaciais e caracterização do município de Nova Esperança do Sul, apresentando a descrição das altitudes, declividades e elementos de relevo presentes, com áreas e porcentagens de ocupação espacial. Os trabalhos de campo, percorrendo as estradas municipais com registros fotográficos e descrições de paisagem permitiram ilustrar os elementos de relevo representados para o município.

3. Resultados e discussões

De acordo com Robaina et al. (2010), na Bacia do Ibicuí ocorrem duas unidades como primeiro nível de compartimentação conforme as denominações das formas regionais do relevo do Rio Grande do Sul: Depressão Periférica do Rio Grande do Sul e o Planalto da Serra Geral. A Depressão Periférica no segundo nível divide-se em Depressão do Ibicuí, com a atuação sobre um substrato de rochas sedimentares diversas e com predomínio de arenitos. O Planalto da Serra Geral no segundo nível divide-se em Planalto das Missões com litologias predominantes que se constituíram por derrames de rochas vulcânicas ácidas e Básicas

da Formação Serra Geral e o segundo nível, Planalto da Campanha com relevo ondulado, tendo menores derrames e então, com pouca espessura dos derrames e com desgaste de camadas superiores, proporciona o afloramento de arenitos em algumas porções. Nova Esperança do Sul se encontra entre as duas unidades mencionadas com uma maior área (norte) no Planalto das Missões e a área do sul no Planalto da Serra Geral.

3.1 Hipsometria

As altitudes predominantes, no município, variam entre 250 até 350 metros, as quais somadas ocupam uma porcentagem de 43,78% do total da área do município e ocupam a porção central do município. As classes inferiores a 150 metros estão colocadas junto ao Rio Jaguarizinho, ocupando uma pequena área na porção leste e grande área ao sul e, as maiores altitudes, superior a 350 metros, ocorrem na porção Noroeste do município formando as cabeceiras do Arroio Piquiri. A figura 2 apresenta a distribuição espacial das altitudes e a tabela 1 representa a área ocupada e o percentual de cada intervalo de altitude.

3.2 Declividade

As declividades do município estão representadas na figura 2 e as áreas na tabela 1. A declividade menor que 5%, está presente na planície de inundação do Rio Jaguarizinho na porção sudeste do município e junto ao Arroio Piquiri na porção sudoeste do município. Correspondendo a 26,98% da área total. As declividades dominantes são no intervalo de 5% a 15% com o percentual de 46,65%. Essas áreas apresentam encostas inclinadas, onde se encontram trechos fluviais. As maiores declividades, >15%, correspondem a 26% da área do município, representam áreas de forte dissecação vertical, se configurando como a passagem do relevo ondulado, da parte central do município para as áreas planas junto ao Rio Jaguarizinho e Arroio Piquiri.

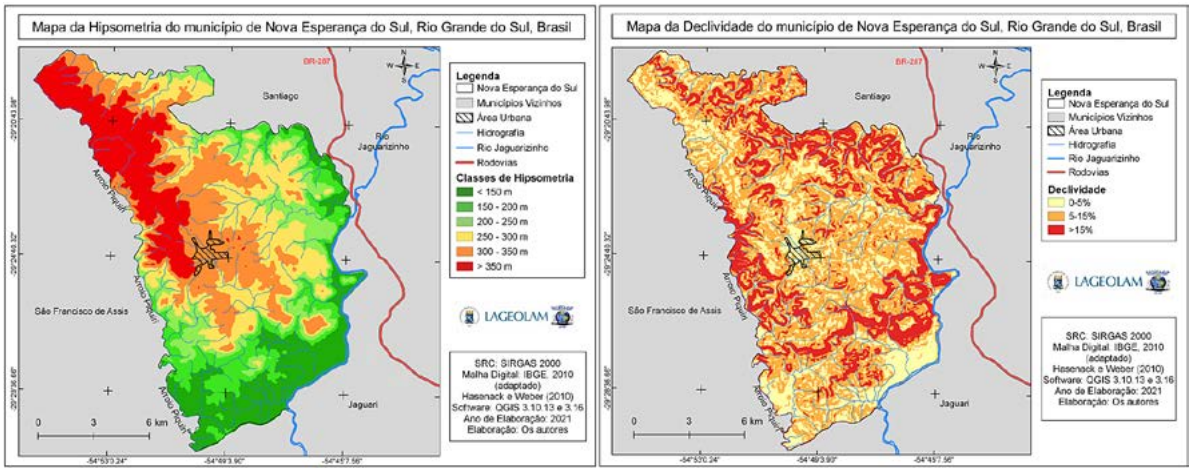


FIGURA 2: Mapas da hipsometria e da declividade do município de Nova Esperança do Sul.
Fonte: Autores.

TABELA 01
Classes de hipsometria e declividade do município de Nova Esperança do Sul

Hipsometria	*Área (km²)*	Porcentagem
<150	30,85	16,15%
150-200	21,49	11,25%
200-250	24,22	12,68%
250-300	40,68	21,30%
300-45	42,94	22,48%
>350	30,79	16,12%
Total	191	100

Declividade	*Área (km²)*	Porcentagem
0-5	51,69	26,98%
5-15	89,37	46,65%
>15	50,51	26,36%
Total	191	100

Fonte: AUTORES, 2021.

3.3 Elementos do Relevo (Geomorphons)

Na figura 3 é apresentada a distribuição espacial da ocorrência dos elementos de relevo. Em relação aos elementos de relevo, é possível destacar que predomina a presença de encostas (slope) estando presente em cerca de 29,3% da área total do município. As encostas se localizam em boa parte do município, pois está ligada a relevos ondulados e com baixa declividade, que de modo geral não ultrapassam os 15%.

Os vales se formam devido à erosão do relevo causado pelos agentes intempéricos. Os elementos de vales estão presentes principalmente na região centro-oeste e sudeste do município, ocupando uma área de 13% em relação à área total. Este elemento está associado a relevos movimentados e com declividade acentuada. A porção com declividade mais significativa possui predominância de elementos de crista e vales, as encostas são mais curtas e há maior presença de cristas e vales indicando relevo mais movimentado.

Ao sul é possível observar áreas com elementos planos, os quais também estão presentes de forma mais representativa na parte noroeste. Os elementos que representam as áreas planas (flat) estão presentes em 7,8% da área total do município e são marcados por áreas planas e bases de encosta. A tabela 2 indica a relação área (km²) e área (porcentagem) dos elementos do relevo presentes na área de estudo.

No primeiro plano da figura 3A é possível observar os elementos de encosta presentes na porção norte do município em um ponto mais elevado do relevo com vista para o vale e as áreas de escarpas ao fundo onde os elementos das cristas representam as áreas dos topos dos morros ao fundo da foto.

A figura 3B representa uma porção do relevo de vale, bastante comum no município onde os rios encontram-se bastante encaixados no relevo e os vales são bem destacados, por vezes associados aos ressaltos.

Na figura 3C tem-se uma porção central do município com vista para o leste, onde observa-se ao centro da foto uma porção plana com os elementos de base de encosta delineando as porções de áreas planas e ao fundo as porções mais movimentadas do relevo onde elementos de encosta e cristas estão presentes.

Na porção sul do município é apresentada a figura 3D que registra ao centro da foto as áreas planas desta porção, porém é possível observar em primeiro plano as áreas de encosta e base da encosta formadas no relevo e ao fundo a presença os elementos de base da encosta além das cristas e picos associados às áreas de relevo mais movimentado.

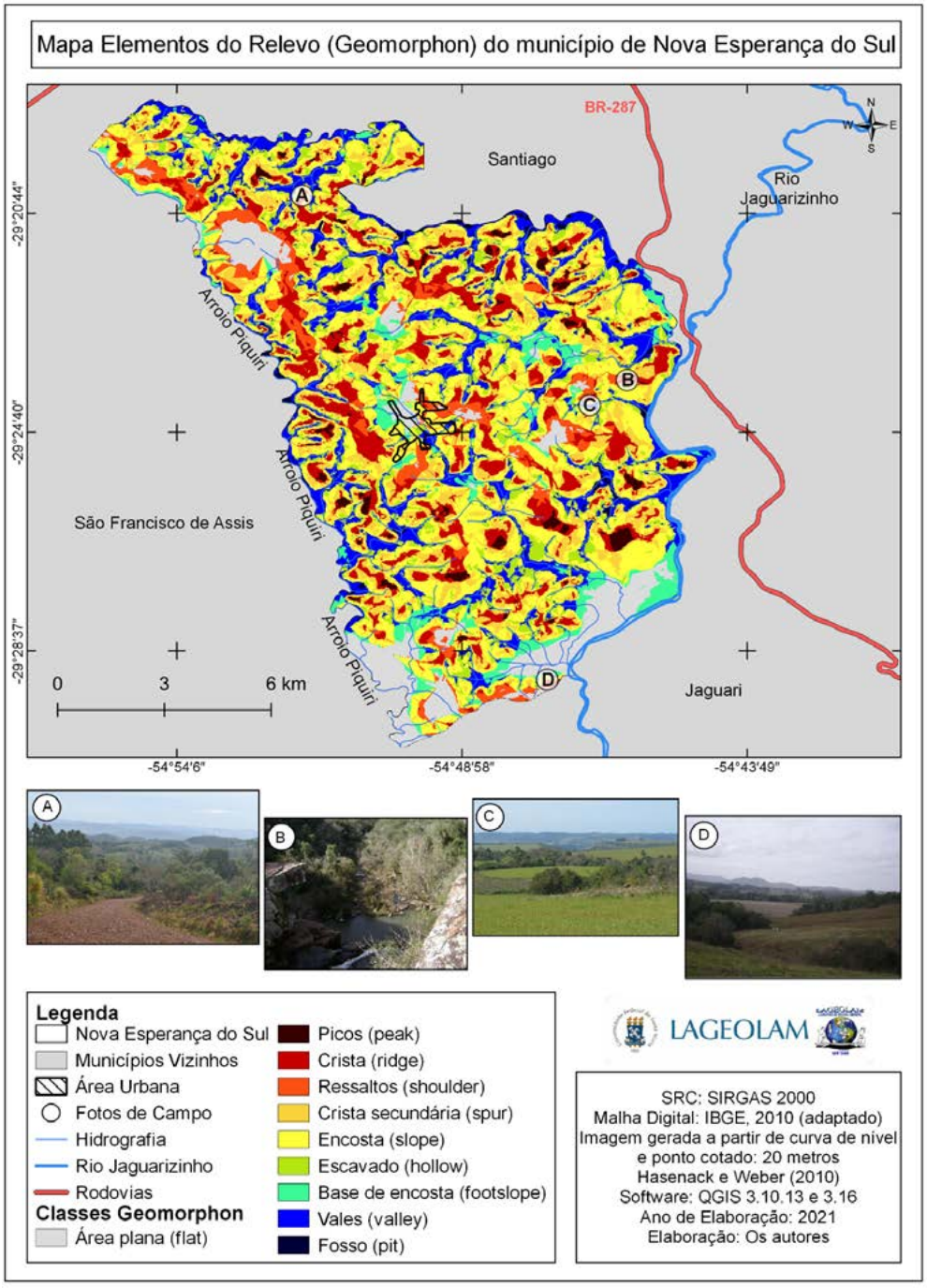


FIGURA 3: Mapa dos elementos de relevo (*Geomorphons*) e localização das fotografias de campo.
Fonte: Autores.

TABELA 2
Classes de Relevo do município de Nova Esperança do Sul.

Classes	*Área (k*mV)	Porcentagem	Modelo
Área Plana (*flat*)	15,0	7,8%	
Picos (*peak*)	3,4	1,7%	
Crista (*ridge*)	23,2	12%	
Ressaltos (*shoulder*)	9,1	4,7%	
Crista secundária (*spur*)	28,1	14,6%	
Encosta (*slope*)	53,4	29,3%	
Escavado (*hollow*)	20,5	10,6%	
Base de encosta (*footslope*)	9,4	4,9%	
Vales (*valley*)	24,8	13%	
Fosso (*pit*)	1,9	1%	
Total	191	100%	

Fonte: AUTORES, 2021.

4. Considerações finais

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), e outras tecnologias aliadas à cartografia auxiliam e se fazem presentes constantemente na geografia, facilitando o dinamismo de informações geográficas. Assim sendo, estudos morfométricos e de relevo trazem importantes dados a serem utilizados em projetos de planejamento e organização espacial. Portanto, a análise deste trabalho traz dados de detalhamento espacial com relevância já que os dados de teor qualitativo e quantitativo expressam os fluxos de matéria e energia que definem os aspectos do ambiente. O relevo se caracteriza pela presença predominante do elemento encosta definindo um relevo ondulado. Os elementos planos e base de encosta estão representados junto ao Rio Jaguarizinho ao leste e Arroio Piquiri ao oeste no limite da área municipal. Ocorrência importante dos elementos de vales e cristas marcam uma área de rebordo.

Para o mapeamento de forma automatizada do relevo do município, a utilização dos MDTs e classificação dos dez (10) elementos do relevo por meio dos *geomorphons* auxiliaram a análise espacial e permitiram a caracterização do mesmo. A metodologia de classificação dos elementos de relevo (*geomorphons*), apesar de apresentar uma análise automatizada e de aplicação simples, necessita bastante cuidado quando a sua aplicação, principalmente no que se refere ao uso do modelo digital de terreno e suas janelas amostrais de aplicação, pois estas implicarão diretamente nos resultados.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referências

DUTRA, D. S.; FURLAN, A. R.; ROBAINA, L. E. S. Compartimentação dos elementos do relevo da bacia hidrográfica do arroio Pantanoso – Canguçu/RS, através da proposta dos *geomorphons*. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n. 2, p. 713-726, abr. 2020.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2005.

HASENACK, H.; WEBER, E. J. (org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). **ISBN 978-85-63483-00-5** (livreto) e **ISBN 978-85-63843-01-2** (DVD).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2, 1981. 130 p.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. *Geomorphons* - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147-156, 2013.

MARK, D. M., SMITH, B. A science of topography: from qualitative ontology to digital representations. In: Bishop, M.P., Shroder, J.F. (Eds.), Geographic Information Science and Mountain Geomorphology. Springer–Praxis, Chichester England, p. 75-97, 2004.

PIKE, R. J.; EVANS, I., HENGL, T. **Geomorphometry: A Brief Guide**. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**,** Series Developments in: Soil Science, Amsterdam: Elsevier, v. 33 p. 3-30, 2009.

ROBAINA, L. E. S. *et al.* Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, 2010.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de *Geomorphons* obtidos em Classificação Topográfica Automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia (Online)**, v. 17, n. 2, São Paulo, p. 287-298, 2016.

ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R.; CRISTO, S.S.V.; SCCOTI, A.A.V. Aplicação de *geomorphons* para a classificação do relevo no estado do Tocantins, Brasil. **Revista Ra'E Ga,** Curitiba, v.41 Temático de Geomorfologia, p.37-48, 2017.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L.E.S. Metodologia para o desenvolvimento de mapeamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2005, São Paulo. XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2005.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.

ANÁLISE COMPARATIVA DA REPRESENTAÇÃO DAS FORMAS DE RELEVO DA PLANÍCIE COSTEIRA COM USO DE ATRIBUTOS GEOMORFOMÉTRICOS GERADOS DE DISTINTOS MDT'S E MDE

Taísa Comerlato
Universidade Federal do Paraná
Av. Coronel Francisco H. dos Santos, 100 – Jardim das Américas – Curitiba/PR - 81530-000
E-mail: taisageo@gmail.com
Claudinei Taborda da Silveira
Universidade Federal do Paraná
Av. Coronel Francisco H. dos Santos, 100 – Jardim das Américas – Curitiba/PR - 81530-000
E-mail: claudineits@ufpr.br
Marcelo Renato Lamour
Universidade Federal do Paraná
Av. Beira-mar, s/n - Pontal do Sul - Pontal do Paraná/PR - 83255-976
E-mail: mlamur@ufpr.br

Resumo

O presente trabalho apresenta os resultados das análises comparativas entre os atributos geomorfométricos de três modelos digitais, dois de terreno e um de elevação, com distintas formas de aquisição e diferentes resoluções espaciais. A área de estudos compreende uma porção do litoral paranaense e o trabalho objetivou a avaliação qualitativa do nível de acerto dos modelos quanto a identificação das formas de relevo Planícies fluviais e aluviais e terraços fluviais, de acordo com os atributos e intervalos de classes previamente definidos por Comerlato et al (2020), o trabalho baseou suas analises em informações coletadas em campo e em observações de imagens de satélite de áreas previamente conhecidas. Constatou-se que todos os modelos possuem potencialidades quanto à representação das formas de planícies e terraços fluviais e planícies aluviais, porém, com as classes predeterminadas, o MDT derivado de cartas topográficas, foi mais fidedigno a representação das formas de relevo da planície costeira.

Palavras-chave: Modelo Digital do Terreno; Modelo Digital de Elevação, Atributos geomorfométricos; formas de relevo.

1. Introdução

O aumento significativo da disponibilidade de modelos digitais de representação da superfície terrestre traz como principal consequência uma mudança de paradigmas com relação à geomorfometria (NEUMAN et al, 2018). A utilização das soluções advindas das análises morfométricas do terreno possibilitam a implementação de novas soluções para uma análise multiescalar e detecção de características do relevo em diversas escala como o apoio à cartografia geomorfológica (SILVEIRA et al., 2015; SAMPAIO e AUGUSTIN, 2014), dentre outras aplicações.

Conforme apontam Pike et al. (2009) e Li et al. (2010), há muitas divergências conceituais entre os termos empregados, sobretudo entre "Modelo Digital de Elevação (MDE)" e "Modelo Digital do Terreno (MDT)", sendo que muitas vezes ambos são empregados como sinônimos.

Neste trabalho consideraram-se os MDT's como os modelos que apresentam os valores altimétricos do terreno desconsiderando quaisquer objetos na superfície (como árvores ou construções). Já os MDE's se referem aos valores altimétricos contemplando os objetos existentes na superfície.

Assim, através da geração de atributos topográficos derivados das bases cartográficas disponíveis para o litoral do estado do Paraná, contemplando as escalas 1:10.000, 1:25.000 (MDT's), e 1:100.000 derivado dos modelos SRTM (MDE), o objetivo deste trabalho é a análise comparativa da melhor representação das formas de relevo da planície costeira sob a perspectiva qualitativa, tendo como ponto de partida, o trabalho pioneiro em detecção de formas de relevo por geomorfometria e sensoriamento remoto de Comerlato et al (2020).

Para a comparação das resultantes geomorfométricas dos modelos, com os resultados dos autores, foi escolhido o recorte localizado em uma porção da área litorânea do estado do Paraná, abrangendo parcialmente os municípios de Paranaguá, Matinhos, Guaratuba, Morretes e Antonina e integralmente o município de Pontal do Paraná, excluindo-se as porções acima da cota 20 m (Figura 1), por possuir as mesmas características geológicas e geomorfológicas utilizada pelos autores.

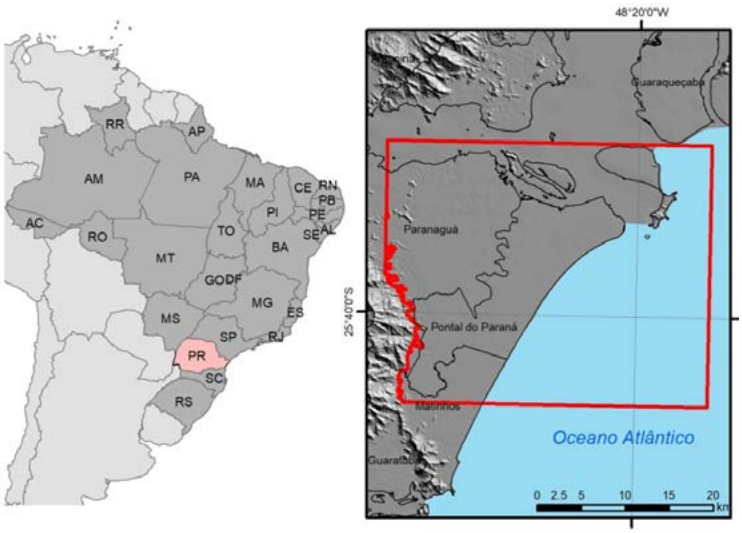


FIGURA 1: Localização do recorte da área de estudos.
Fonte: Adaptado de DSG (2002).

A geologia regional é composta por rochas do Embasamento Cristalino (Período Arqueano-Proterozóico Inferior - Gnaisses, Migmatitos e Granitos) (MINEROPAR, 2006), as quais afloram na forma de elevações topográficas isoladas e ilhas. Segundo Angulo et al. (2006), os segmentos de planície costeira estendem-se desde o sopé da Serra do Mar até o oceano (55 km), sendo constituídos por depósitos sedimentares continentais associados às encostas (leques, tálus, colúvios e sedimentos fluviais) e costeiros (planície costeira com cordões litorâneos e lamas estuarinas).

As características geomorfológicas deste trecho do litoral brasileiro compreendem os domínios morfoestruturais dos depósitos sedimentares e faixa de dobramentos remobilizados. Ocorrem ainda modelados de acumulação marinha e fluviomarinha; região de Colinas Costeiras e das Escarpas e Reversos da Serra do Mar e da Serra do Mar Paranaense, compostos pelos modelados de dissecação homogênea e diferencial (IBGE, 2009). As feições de relevo são típicas de áreas costeiras apresentando Planícies fluviais e aluviais, marinhas, áreas de influência de maré (áreas de inundação), Colinas suaves a onduladas, Rampas coluvionares, Morros e Serras costeiras (SANTOS et al., 2006).

2. Metodologia

O primeiro Modelo Digital do Terreno (MDT) analisado foi elaborado tendo como base 4 cartas topográficas digitais (1:25.000, equidistância de 10 m – folhas 2858-1 NE; 2858-1 SE; 2858-2 NO; e 2858-2 SO) (DSG, 2002) e recortado para a área de estudos excluindo-se as áreas acima de 20 m de altimetria.

O MDT foi elaborado com base no interpolador Topogrig, conforme proposta de Hutchinson (1989) adaptada pelo software ArcGIS (versão 9.0). A resolução da grade (15 m) foi calculada conforme critérios apresentados por Hengl (2006), que considera duas abordagens: a primeira num viés cartográfico da escala da base de dados e a segunda numa perspectiva das características geomorfológicas locais.

A proposta cartográfica para a estimativa do tamanho de célula adequado para o MDT considera o conceito de "delineação mínima legível" (DML) e "acurácia máxima local" (AML), segundo Vink (1975). Ambas são definidas em função da menor área a ser mapeada. A DML é referenciada como 2,5mm de largura (6,25 mm_F), no mapa, e resulta em resoluções grosseiras. Já a AML indica os valores mínimos, que variam de 0,25 mm a 0,1mm de largura, resultando em resoluções mais finas. Como valor intermediário, Hengl (2006) recomenda a utilização de 0,5 mm, medido no mapa, como referência. A partir desses parâmetros, o tamanho de célula é determinado numa relação entre a menor largura mapeável e a escala dos dados planialtimétricos, conforme a equação 1.

$$C = FE \,.\, 0,0005$$ **Equação 1**

Onde é o tamanho da célula, em metros, é o fator de escala da base de dados e o valor numérico, já convertido em metros, se refere à menor largura discernível medida no mapa (na equação, como exemplo, consta 0,5 mm).

Tendo como referência a escala 1:50.000, os tamanhos de célula indicados foram: 125 metros (DML), 12,5 a 0,5 metros (AML) e 25 metros (recomendação intermediária).

A segunda proposta para a determinação do tamanho adequado de célula é estabelecida pela relação entre área (medida real) e densidade das curvas de nível, representada pela equação 2. Dessa forma, quanto maior a complexidade geomorfológica, menor será o tamanho indicado da célula.

$$C = \frac{A}{2 . \sum l}$$ **Equação 2**

Onde é o tamanho da célula, é a área total e é o somatório do comprimento das curvas de nível, com todas as variáveis em metros.

De modo complementar, a fim de estipular um valor mínimo que contemple as maiores variações do relevo, Hengl (2006) sugere a aplicação da mesma equação para os 5% da área total com maior densidade de curvas de nível. Na área teste, o tamanho recomendado foi de 13 metros.

Por fim, considerando os valores obtidos pela aplicação dessas duas propostas (cartográfica e geomorfológica), optou-se por uma célula de 15 m para o MDT interpolado pelo método *Topogrid*.

O outro MDT analisado foi adquirido pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA do Paraná (ITCG, 2016). Este modelo foi elaborado para atender a escala 1:10.000, com resolução do pixel de 2,5 m e consiste no resultado de aerolevantamento por meio de radar de abertura sintética, com as bandas X e P.

O MDE utilizado foi o SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), um projeto desenvolvido pela NASA em parceria com NIMA (National Imagery and Mapping Agency), o DOD (Departamento de Defesa) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria. "O processamento dos dados coletados visou à formação de um Modelo Digital de Elevação - MDE mundial, elaborado continente por continente, iniciado com a América do Norte" (FARR E KOBRICK, 2000). Este modelo possui resolução espacial de 30 m.

Assim, a partir dos MDT's e MDE foram calculados três atributos geomorfométricos que foram a base para a análise das formas de relevo da área de estudos.

Os atributos geomorfométricos primários, derivados diretos dos modelos, foram computados a partir de uma janela móvel 3x3 células (local), cujos algoritmos contemplam a análise da célula central em relação as oito do seu entorno.

A escolha dos atributos geomorfométricos, bem como, a discretização dos valores foi realizada a partir das considerações de Comerlato et al. (2020), que através de trabalhos de campo e a sobreposição com a rede hidrográfica da base cartográfica (DSG, 2002), conseguiram representar com eficiência as planícies e terraços fluviais e as planícies aluviais da região de Guaratuba (litoral Sul do Paraná) representadas no MDT derivado das cartas topográficas (um dos modelos aqui utilizado).

O Índice de Posição Topográfica – IPT (WEISS, 2001) é um algoritmo que calcula a diferença entre a elevação de um ponto central (Z0) e a média da elevação do seu entorno a partir de um raio predeterminado (Z). A análise de vizinhança necessária para a geração deste índice foi realizada por uma janela circular. O IPT resultante foi baseado nas diretrizes apontadas por Comerlato et al (2020) e definiu 2 classes (10 = < -0,5 e 20 = > -0,5).

Outro atributo utilizado nesta análise foi o Back Top Hat – BTH (RODRIGUEZ et al., 2002), também considera a análise de vizinhança regional, a partir do um modelo digital. O BTH com função de abertura mensura a altimetria mínima da altimetria máxima, que é definido com um raio ou janela pré-definida, e tendo em vista que a proposta original leva em conta que ao subtrair os valores do BTH pelo modelo digital se obtém a extração dos vales, este modelo foi utilizado para

a extração da profundidade do modelo de elevação e na escolha dos parâmetros de análise morfométrica das feições de Planícies e Terraços fluviais e Planícies aluviais, também foi baseada nos resultados de Comerlato et al. (2020) (Classe 1 = < 1,5 m e Classe 2 = > 1,5 m).

A classificação do relevo adaptou os atributos e seus limiares, considerou as formas de relevo (COMERLATO et al., 2020) presentes na área mapeada (planícies e terraços), conforme o BTH e o IPT, os quais foram integrados por geoprocessamento (*Raster Calculator*). Os valores resultantes da álgebra entre mapas (soma) constituíram 3 classes de acordo com os valores dos atributos de origem, o que resultou em uma nova classificação, já com os padrões de formas de relevo (Tabela 1).

TABELA 1
Parâmetros geomorfométricos utilizados na identificação das formas de relevo

Forma	Parâmetros		
	IPT	BTH (m)	ALT (m)
1 - Planícies Fluviais	<-0,5	<1,5	<20
2 - Terraços Fluviais	>-0,5	>1,5	<20
3 - Planícies Aluviais	>-0,5	<1,5	<20

Fonte: os autores (2019).

A validação dos resultados foi dada pela análise visual das curvas de nível, imagem de satélite de alta resolução do aplicativo Google Earth e sensor RapidEye, e em campanhas de reconhecimento de campo em cada uma das resultantes dos modelos analisados.

3. Discussão e Resultados

As análises visuais de alguns pontos visitados em campo, como por exemplo, as apresentadas na Figura 2, revelam que os atributos geomorfométricos gerados nos três modelos, apresentam certa sobreposição na disposição das formas de relevo, porém há diferenças significativas na abrangência das mesmas.

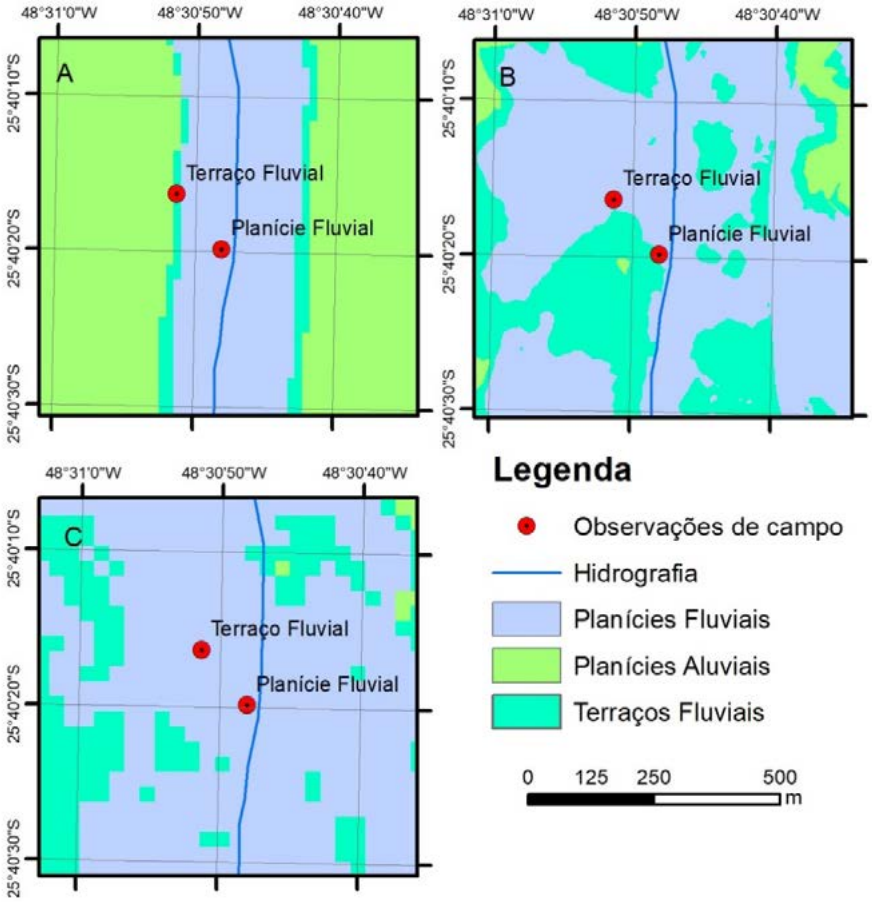


FIGURA 2: A. Atributos gerados a parti do MDT das cartas topográficas, B. Atributos gerados a partir do MDT do ITCG e C. atributos gerados a partido do modelo SRTM (MDE).

Os atributos derivados do MDT das cartas topográficas, segundo os dados de campo referentes aos pontos apresentados na Figura 2A, foi o melhor resultado encontrado, quando utilizados os mesmos intervalos de classe definidos por Comerlato et al (2020).

A Figura 3 apresenta a localização dos pontos apresentados na Figura 2A, B e C, e através da imagem de satélite e de fotografia coletada durante o trabalho de campo, comprovam que um dos pontos é pertencente a classe de planície fluvial.

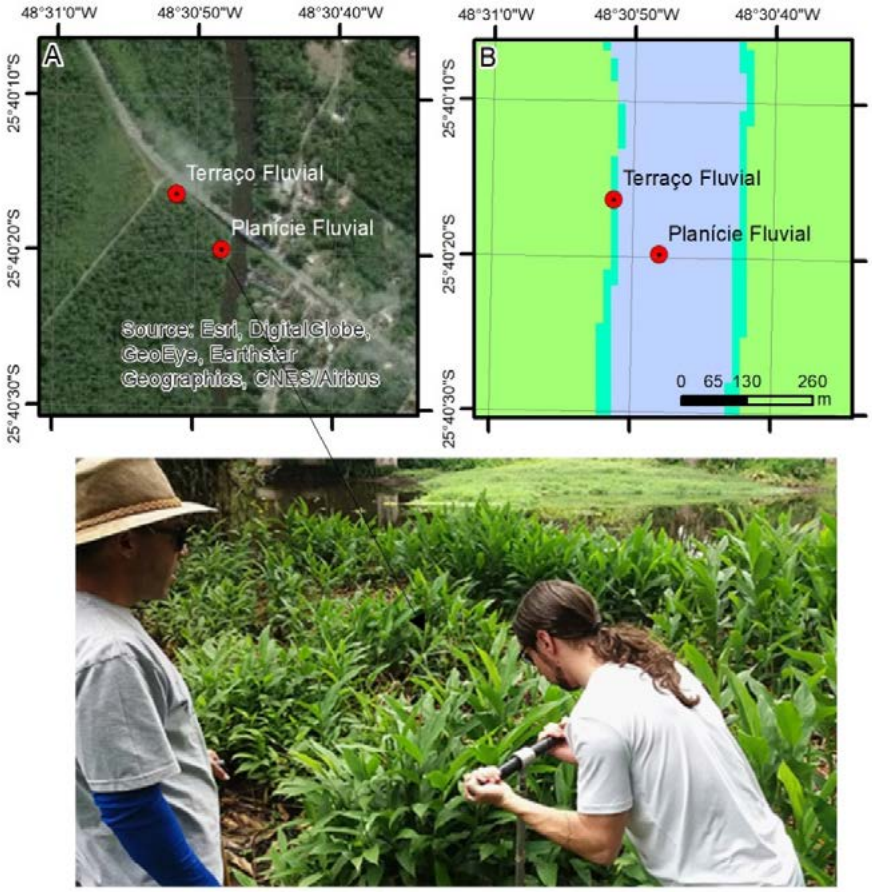


FIGURA 3: A. Imagem do basemaps. B. Representação dos atributos geomorfométricos derivados do MDT das cartas topográficas. C. Fotografia da planície fluvial localizado as margens do Rio Guaraguaçu. Local: divisa dos municípios de Pontal do Paraná e Paranaguá.

Igualmente aos resultados trabalhos de Comerlato et al. (2020), as planícies fluviais representaram áreas baixas do relevo, as planícies aluviais e terraços fluviais estão em porções um pouco mais elevadas que as planícies fluviais (1,5 m) a distinção entre elas é dada pela localização dos terraços fluviais, que estão as margens das planícies fluviais.

Corroborando com esta afirmativa, o outro ponto, identificado como sendo de terraço fluvial, apresenta-se adequadamente representado pelos atributos derivados do MDT das cartas topográficas (Figura 4A, B e C).

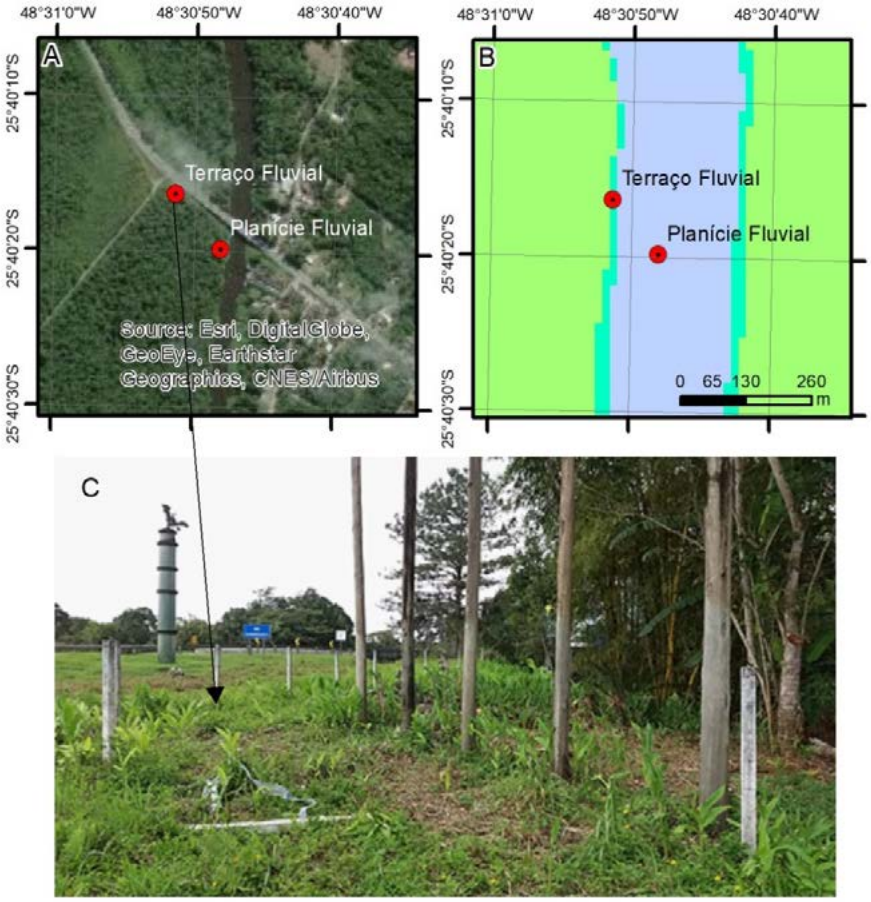


FIGURA 4: A. Imagem do basemaps. B. Representação dos atributos geomorfométricos derivados do MDT das cartas topográficas. C. Fotografia do terraço fluvial localizado nas proximidades do Rio Guaragaçu. Local: divisa dos municípios de Pontal do Paraná e Paranaguá.

Nos atributos derivados dos modelos do MDE SRTM e MDT do ITCG o mesmo ponto de planície fluvial esta disposto na classe adequada, já a representação dos terraços fluviais não coincidem com o ponto determinado em campo.

Isso não significa que a representação dos atributos nos modelos esteja equivocada, mas sim que alguma alteração no intervalo das classes seria necessária para adequar a abrangência de cada forma de relevo. Mas como o objetivo aqui é realizar o teste com os limiares previamente testados para as formas da planície costeira do litoral do Paraná, não foi feita tal alteração.

Outro importante resultado alcançado foi referente ao mapeamento das planícies e terraços de gênese estuarina (não objetivados no presente trabalho). Estas formas, segundo Comerlato et al (2020), possuem as mesmas características geomorfométricas que as planícies e terraços de gênese fluvial e são impossíveis de serem distinguidas por esta técnica. O que se verifica é que os atributos derivados do MDT ITCG mapearam estas porções com nível de detalhe mais refinado que os atributos derivados do MDT das cartas topográficas e do MDE (Figura 5), porém alguns pontos de terraços confundiram-se com de planícies, comprovando o que afirmaram os autores.

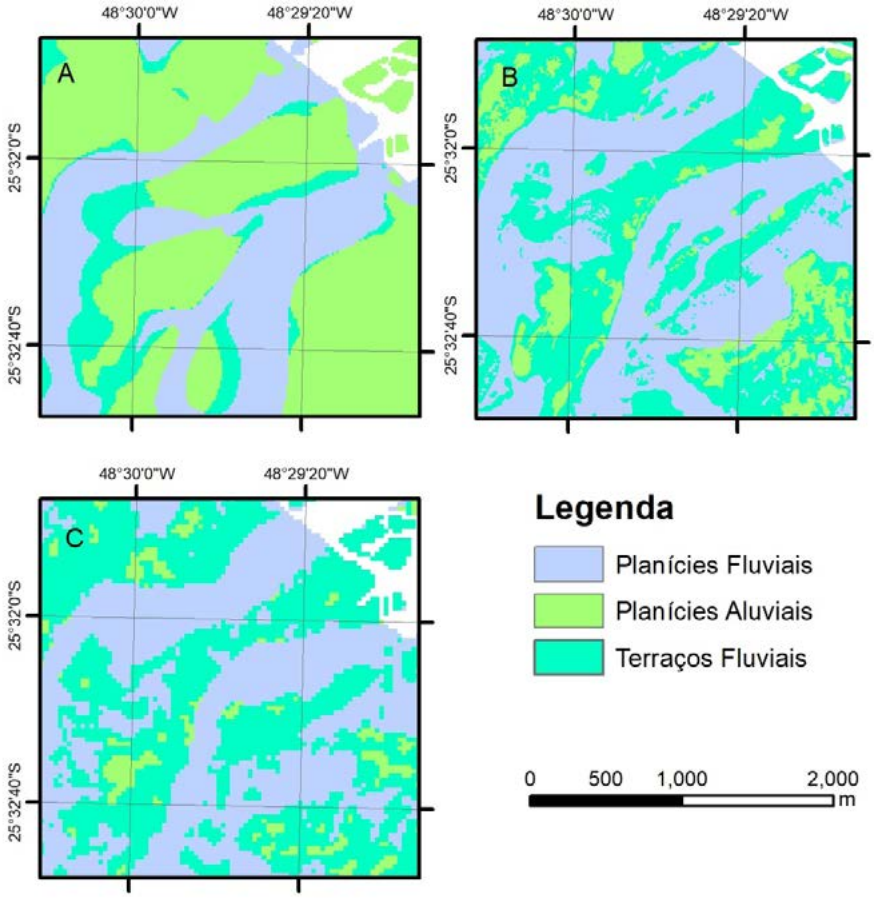


FIGURA 5: A. Atributos gerados a parti do MDT das cartas topográficas, B. Atributos gerados a partir do MDT do ITCG e C. atributos gerados a partido do modelo SRTM (MDE). Local: margens do estuário da Baía de Paranaguá, município de Paranaguá – PR.

Percebe-se que mesmo que a representação das formas de relevo pelos intervalos de classe em cada modelo não sejam fieis, há certa coincidência da disposição das formas, dadas as limitações da resolução espacial de cada modelo.

A constatação do melhor detalhamento dos atributos gerados a partir do MDT do ITCG foi produzida pela sobreposição destes dados à imagem de satélite do sensor RapidEye (Figura 6A e B).

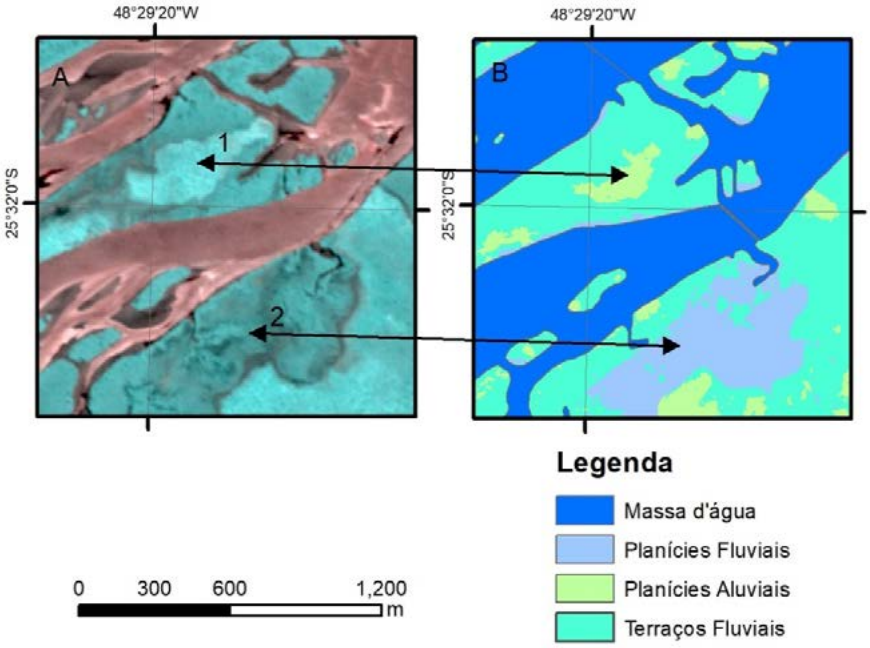


FIGURA 6: A. Imagem do sensor RapidEye. B. Representação dos atributos derivado do MDT ITCG.

Na figura 6A, é representada a imagem do sensor RapidEye, na composição de bandas 4 (*Red Edge*) e 5 (infravermelho próximo), pois nesta combinação, é possível verificar as diferenças marcantes da presença de umidade nestas porções. A classe de planície está diretamente associada à vegetação de gramíneas, típica de terrenos vegetados por mangues (muito úmidos), enquanto que a classe Terraços pode ser identificada pela textura de vegetação arbustiva (menos úmida).

O ponto 1 identificado com seta bicondicional identifica uma área de terraço estuarino, caracterizado por ser uma forma de relevo situada a poucos metros ou centímetros acima das planícies estuarinas que são identificadas no ponto 2 (seta bicondicional).

Como já foi mencionado, não foi objetivo deste trabalho o mapeamento completo da área e sim o teste dos limiares dos atributos previamente utilizados, e, portanto, estas classes de gênese estuarina, não foram destacadas no mapeamento final.

4. Considerações finais

Considera-se que os atributos gerados a partir do modelo SRTM foram os resultados que apresentaram as menores sobreposições na representação adequada das formas de relevo na área de estudos.

Isto se deve a dois fatores: tamanho do pixel (30 metros) e por este modelo apresentar informações sobre os objetos na superfície terrestre. No caso da área analisada, a vegetação (predominantemente de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas – com solos hidromórficos) representada majoritariamente por gramíneas (> 2 m) influência da detecção das nuances do relevo.

Os atributos gerados a partir do MDT ITCG detalharam muito bem as planícies e terraços, porém a resolução espacial do mesmo (2,5 metros) impactou

negativamente da homogeneização da representação das formas de relevo, já que as mesmas apresentaram-se muito fragmentadas, e muitas vezes, confundindo as planícies aluviais com as fluviais. Isto se deve a estas formas de relevo possuir uma diferença altimétrica muito pequena e esta problemática poderia ser resolvida com a alteração dos valores das classes.

Por fim, considera-se que os atributos derivados do MDT, gerado a partir das curvas de nível do DSG (2002), foi o que melhor representou as formas de relevo da planície, quando utilizado os valores pré-determinados e comparados aos resultados de Comerlato et al (2020). Este modelo conseguiu alcançar um nível de detalhamento onde as formas se dispuseram mais semelhantes com a realidade de campo.

Não podemos deixar de destacar que a análise e escolha do resultado da representação das formas de relevo pelos atributos e modelos escolhidos, devem ser feitas levando-se em conta a escala final pretendida.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela disponibilização de bolsa de fomento por meio do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná (PPGGEO-UFPR).

Referências

ANGULO, R. J. *et al.* Paraná. In: MUEHE, D. (orgs) **Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro**. Brasília: MMA, 2006.

COMERLATO, T.; LAMOUR, M. R.; SILVEIRA, C. T. **Mapeamento Digital de Formas de Relevo no Ambiente Costeiro do Paraná**. Caminhos da Geografia (UFU. Online), v. 21, p. 477-491, 2020.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro. **Cartas Topográficas 1:25.000**: folhas 2858-1 NE; 2858-1 SE; 2858-2 NO; e 2858-2 SO. DSG, 2002.

FARR, T. G.; KOBRICK, M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. EOS (Transactions, American Geophysical Union), v. 81, p. 583-585. 2000.

HENGL, T. Finding the right pixel size. Computers & Geosciences, v. 32, n. 9, p. 1283-1298, 2006.

HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia, 1989.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Manual técnico de geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5).

ITCG, 2016. **Modelo Digital de Elevação**. Relatório Final do Projeto. Projeto ITCG, 02/2015. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná – SEMA-PR.

Li, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C..Digital terrain modeling: principles and methodology. CRC, 2010.

MINEROPAR. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**: Escala base 1:250.000 modelos reduzidos. Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

PIKE, R. J.; EVANS, I., HENGL, T. Geomorphometry: A Brief Guide. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 3-30, 2009.

RODRIGUEZ, F.; MAIRE, E.; COURJAULT-RAD'E, P.; DARROZES, J. The Black Top Hat function applied to a DEM: a tool to estimate recent incision in a mountainous watershed. (Estibère Watershed, Central Pyrenees). **Geophysical Research Letters**, Madison, Wisconsin, 29(6), 9-1 - 9-4, 2002.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v. 7, n.2, p. 3-12, 2006.

SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Classificação hierárquica automatizada de formas do relevo no estado do Paraná apoiada na modelagem digital do terreno. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 08 n. 05, p. 1509-1523, 2015.

VINK, A. **Land Use in Advancing Agriculture**, vol. X. Springer, New York, NY, 394pp, 1975.

WEISS, A. **Topographic Position and Landforms Analysis**. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA, 2001.

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS LINEAMENTOS DE TOPO E DE REDE DE DRENAGEM NA BACIA DO RIO TATURI (PR)

Higor Lourenzoni Bonzanini
UNESP - Universidade Estadual Paulista campus Rio Claro
Av. 24A, nº 1515, Bela Vista – Rio Claro (SP). CEP: 13506-752
E-mail: Higorbonza@gmail.com
Cenira Maria Lupinacci
UNESP - Universidade Estadual Paulista campus Rio Claro
Av. 24A, nº 1515, Bela Vista – Rio Claro (SP). CEP: 13506-752
E-mail: Cenira.Lupinacci@unesp.br

Resumo

Este trabalho visa analisar a influência dos lineamentos na elaboração das feições geomorfológicas e no padrão de drenagem identificados na bacia hidrográfica do rio Taturi. Para isso, foi necessário conhecer as características locais para compreender as diferentes dinâmicas encontradas na área da bacia, onde se encontra um marcante contato litológico entre as formações Serra Geral e Caiuá. A fim de atingir o objetivo proposto, foi elaborada a carta de lineamentos, em escala 1:50.000. A análise dessa carta possibilitou identificar diferentes setores, determinados em sua grande maioria pela variação litológica e pelos lineamentos. Desta maneira, a bacia hidrográfica do rio Taturi, apesar de sua morfologia de baixo declive, possui características relacionadas à direção dos lineamentos que coincidem parcialmente com o padrão regional, o que influencia claramente a organização do relevo local e da rede de drenagem.

Palavras-chave: Lineamentos; Bacia Hidrográfica; Relevo.

Introdução

Compreender e analisar as interações entre as formas de relevo, rede de drenagem e o contexto geológico é de suma importância para a compreensão da dinâmica do relevo em qualquer região do globo (PENTEADO, 1974). No âmbito geomorfológico, torna-se de essencial importância tal análise pois com isto é possível traçar hipóteses para as atuais expressões do relevo local e até mesmo definir quais são os meios mais adequados de se utilizá-lo, com o menor impacto possível.

Desta forma, visando compreender a interação entre as forças endógenas e exógenas no modelado, a área de estudo selecionada corresponde a bacia hidrográfica do rio Taturi, localizada na mesorregião oeste do estado do Paraná. A bacia apresenta algumas especificidades apontadas por diversos autores, desde os clássicos até aos mais recentes, como Bueno *et al* (2018), Bade (2014), Maack (2012), Sanches (2018) e Baller (2014), que identificaram características peculiares na área de estudo, desde aspectos litológicos, pedológicos, climáticos a aspectos antrópicos.

Com isso, Bigarella e Mazuchowski (1985) apontam que na região oeste do Paraná, área na qual a bacia do rio Taturi se encontra, há uma grande discussão desde os anos 40 e 50 sobre as características estruturais e das formações geológicas vigentes. Desde os primórdios, há um consenso quanto a identificação de duas formações, com a presença da formação Serra Geral e Caiuá, porém, seus limites e características estratigráficas ainda são discutidos.

Ainda, como apontado por Bade (2014) e Sanches (2018), as variações geológicas influenciam alguns outros aspectos geomorfológicos e destacam as diversidades pedológicas regionais, que reforçam ainda mais a necessidade de compreensão dessa área de contato litológico.

A dinâmica de relevo e principalmente dos cursos fluviais da bacia são, além de marcados e condicionados pela variação do material geológico, também influenciados pela presença de lineamentos regionais, que afetam diretamente os processos morfológicos no ambiente. A área da bacia encontra-se no contexto dos derrames basálticos mesozoicos que, como apontado por Machado e Faccini (2004), deram origem as rochas da formação Serra Geral, as quais apresentam um padrão de fraturamento vinculado as sucessivas reativações de falhamentos.

Como identificado pelo trabalho de Chiang (1984) e mais recentemente reforçado por Jacques, Machado e Nummer (2010), os trabalhos que visam a interpretação e a análise das influências dos lineamentos se intensificaram a partir dos anos 1970, com o advento do sensoriamento remoto, que permite ao pesquisador identificar padrões em sua área de estudo com uma maior precisão, tendo como produto resultados fidedignos.

Assim, como produto de força endógena, com a realização de esforços de compressão e tensão sobre o regolito, a falha se caracteriza como uma ruptura da crosta, tendo influência crucial sobre a hidrografia e criando compartimentos rebaixados ou soerguidos. Neste aspecto, a hidrografia pode se adaptar ao novo relevo condicionado pela falha, gerando vales em linha de falha ou em fossas tectônicas, com destaque para o predomínio dos vales em linha de falha na área da bacia do rio Taturi. (PENTEADO, 1974).

Do mesmo modo, O'Leary, Friedman e Pohn (1976) afirmam que a existência de linementos em uma área se refere a eventos de subsuperfície, muito relacionadas a falhas, fraturas ou outras morfoestruturas. Ainda, os lineamentos podem representar altos topográfico (em cristas alinhadas) ou baixos topográficos (Drenagens e vales).

Com isso, como descrevem Moura e Marques Neto (2015), os lineamentos são segmentos em linha e de crível identificação a partir da análise de documentos cartográficos:

Os lineamentos são segmentos retilíneos ou ligeiramente curvos de possível detecção por meio de cartas topográficas, fotos aéreas ou imagens de radar e satélite, e também em campo, podendo ser lineamentos de relevo (positivos) ou de drenagem (negativos), visualizáveis, por exemplo, através de vales lineares e encaixados e cristas alinhadas. (MOURA; MARQUES NETO, 2015, p. 2).

Portanto, o presente trabalho objetiva identificar a influência dos lineamentos na rede de drenagem local, visando avaliar o seu impacto nos traçados dos cursos fluviais e na morfologia do relevo. Ainda, por meio da análise da direção e posição dos lineamentos, busca-se comparar o padrão de distribuição local com o padrão regional. Para isso, os dados da bacia estudada foram comparados com os resultados obtidos pela MINEROPAR (2005), a fim identificar o contexto tectônico regional no qual a bacia se insere.

Área de Estudo

A área de estudo (Figura 1) abarca parte dos terrenos dos municípios de Guairá e Terra Roxa, na região noroeste do estado do Paraná. A denominada bacia do rio Taturi se posiciona entre os limites da chamada unidade Guairá (MINEROPAR, 2006), que compreende uma área com características regionais similares, dentro do perímetro da bacia hidrográfica do Paraná III (BP3). A unidade Guairá apresenta 87% do seu relevo relativamente plano, com diferenciações altimétricas em sua maior parte sutis, embora ocorram algumas variações nas morfologias do relevo e na organização das redes de drenagem. (BADE, 2014; SANCHES, 2018).

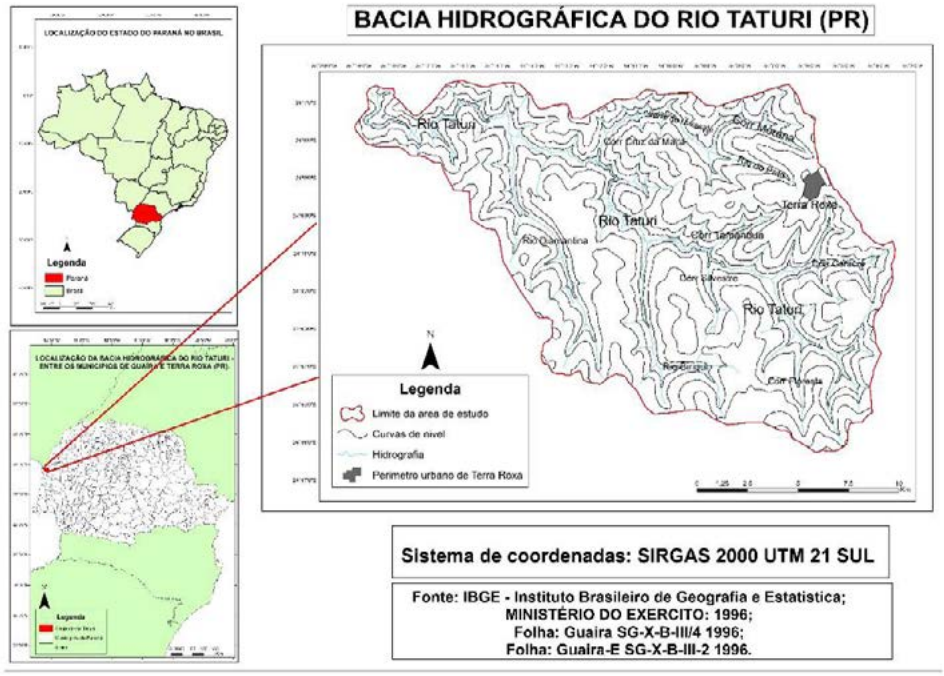


FIGURA 1: Localização da área de estudo.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do IBGE (2020) e do Ministério do Exército (1996).

A bacia do rio Taturi se encontra dentro dos limites da Bacia Sedimentar do Paraná, no setor dos planaltos ocidentais, bem próximo ao centro geográfico dessa Bacia e do rio Paraná. A área de estudo se destaca pela presença do contato litológico entre duas formações distintas, com o predomínio no setor oeste da Formação Serra Geral e no setor leste da Formação Caiuá (Figura 2).

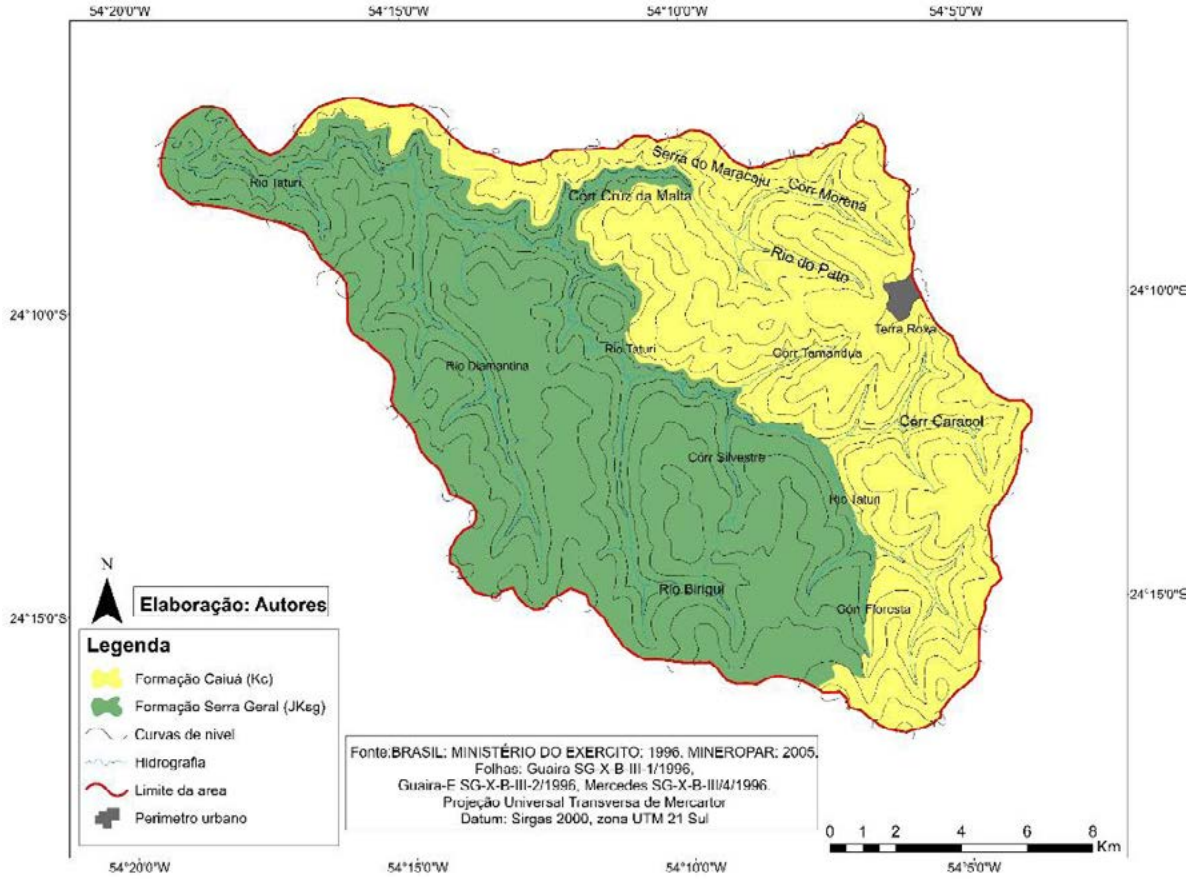


FIGURA 2: Carta geológica da bacia do rio Taturi (PR).
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da MINEROPAR (2005) e do Ministério do Exército (1996).

A Formação Serra Geral é oriunda dos derrames basálticos da reativação tectônica do período Mesozoico, gerada com a separação entre os continentes americano e africano, abrangendo uma área de aproximadamente 1.200.000 km^2 de derrames, ultrapassando até mesmo os limites da Bacia Sedimentar do Paraná. (BRITO, 1979; MACHADO *et al*, 2005). Na região da unidade Guaíra, são encontradas rochas vulcânicas do grupo Paranapanema, que são consideradas rochas vulcânicas com uma alta concentração de titânio. As rochas com tais características são mais encontradas na região setentrional da Bacia Sedimentar, abrangendo o oeste do estado do Paraná. (MACHADO *et al*, 2005).

Já a Formação Caiuá, originaria da sedimentação cretácea suprabasáltica do interior da Bacia do Paraná, promovida por deposição eólica, caracteriza-se por arenitos finos a médios de coloração avermelhada e arroxeada, com grãos arredondados e estratificação cruzada. Segundo Scorza (1952), os arenitos Caiuá encontram-se em uma área de mais de 25.000 km^2 entre os Estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul. (SCORZA, 1952 apud BRITO, 1979). Desta forma a unidade Guairá, e em especial a cidade que leva o nome da unidade, se encontra em terrenos marcados pelo contato entre as formações Caiuá e Serra Geral.

A variabilidade geológica condiciona também solos distintos, oriundos de suas respectivas formações geológicas. Os solos provenientes da Formação Serra Geral possuem horizontes mais desenvolvidos e mais ricos em nutrientes quando comparados aos solos de origem arenítica, que por sua vez são mais frágeis quanto aos processos erosivos. Assim, a variabilidade pedológica se reflete em variações geomorfológicas ao longo da bacia, afetando também o modo de uso e ocupação da terra pelo homem (GUERRA; BOTELHO, 1998; BUENO, 2018 *et al*; BATISTA, 2017).

Com a falta de uma cobertura vegetal natural, que foi em sua grande parte removida no período de colonização da área até o Séc. XX, os cursos fluviais têm sofrido alteração em sua dinâmica deposicional, afetando diretamente a busca de seu equilíbrio dinâmico com o sistema pedológico local. Os lineamentos merecem destaque quanto aos cursos fluviais, pois interferem em seus traçados, reconfigurando e afetando o sistema hídrico da bacia (CASSETI, 1994; BALLER, 2014; BUENO *et al*, 2018; BATISTA, 2017; GUERRA; BOTELHO, 1998).

Ainda, a região que abrange a unidade Guaíra, de acordo com a classificação climática de Koeppen, possuí um clima subtropical úmido mesotérmico, apresentando chuvas regulares com certa concentração no período do verão e um inverno predominantemente mais seco quando comparado com as demais estações no ano. Sem excepcionalidades, a região apresenta verões quentes e geadas com uma frequência bem reduzida. A temperatura média anual oscila em torno dos 22° e 23°C e a sua pluviosidade oscila entre os 1400 e 1600 mm por ano. (BUENO *et al*, 2018; IAPAR, 1994; MAACK; 2012).

Metodologia

Assim, para atingir os objetivos do trabalho, foi elaborado um mapa de lineamentos a fim de identificar a influência dos mesmos na esculturação do relevo local. Sua relevância ultrapassa os limites geológicos, pois, além de apontar áreas de fragilidade nas rochas, os lineamentos ainda afetam os traçados dos cursos fluviais e por consequência as suas vertentes próximas.

Como base para esse mapa, foi utilizado o mapa da MINEROPAR (2005), em escala 1:250.000, utilizando os traçados dos lineamentos provenientes desse trabalho em um *layer* do ArcGis. Também foram utilizadas as cartas elaboradas pelo Ministério do Exército, em 1996, sendo a área coberta pelas seguintes folhas topográficas: Guairá (SG-X-B-III-1), Guairá -E (SG-X-B-III-2) e Mercedes (SG-X-B-III/4).

Desta forma, as contribuições fornecidas pelo trabalho de Soares e Fiori (1976), para a interpretação dos elementos nas imagens e nas cartas recolhidas foram levadas em consideração. Ainda, segundo os autores, o processo de interpretação dos elementos perpassa por três processos: Foto leitura, foto-análise e fotointerpretação.

O primeiro processo, denominado de foto leitura incide no reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com objetos correspondentes. O segundo processo, o de foto-análise, consiste no estudo das relações entre as imagens, associação e ordenação das partes de imagens. Por fim, o terceiro processo denominado de fotointerpretação, é o estudo da imagem fotográfica visando a descoberta e avaliação por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, função e relação dos objetos correspondentes as imagens. (SOARES; FIORI, 1976).

Ainda, o processo de fotointerpretação pressupõe o conhecimento da foto intérprete, pois, o resultado obtido com a análise das fotografias e ou dos mapas varia de acordo com a capacidade de análise do interpretador.

Assim, foi criado um *layer* de lineamentos locais a fim de identificar os lineamentos menores, passíveis de serem representados na escala de 1:50.000. Os lineamentos foram traçados a partir de áreas de interesse, onde um rio assumia um caminho diferente do esperado ao ser analisado o seu traçado, ou seja, apresentava mudanças bruscas de sentido, perfazendo ângulos próximos a 90º. O procedimento foi realizado no *software* ArcGis, em sua versão 10.2.

A partir dos lineamentos da MINEROPAR (2005) e dos traçados no presente trabalho, foi elaborado o diagrama por rosetas no programa Spring, em sua versão 5.5.5. No Spring, foram inseridos os *layers* dos referidos lineamentos e acessada a função de rosetas. As rosetas nos fornecem os ângulos de direção dos lineamentos, o azimute. Com isso, tem-se a ordem de preferência da direção que esses lineamentos estabelecem na área, sendo possível correlacionar a preferência de direção dos lineamentos da bacia com as preferências de direção das falhas em uma escala mais ampla, de caráter regional.

Resultados e Discussões

O mapa de lineamentos (Figura 3) apresenta os resultados obtidos com os levantamentos realizados seguindo a metodologia proposta, em escala de 1:50.000, e os resultados obtidos pela MINEROPAR, no ano de 2005, em escala 1: 250.000, portanto, mais generalizado.

Contudo, deve-se destacar que os critérios de identificação dos lineamentos utilizados nesse trabalho e aqueles usados pela MINEROPAR (2005) são nitidamente diferentes. Assim, os lineamentos obtidos aqui se caracterizam mais em uma análise criteriosa do trajeto dos rios da região, pois são de crucial importância para a análise de detalhe proposta; enquanto os lineamentos da MINEROPAR, além de possuírem uma escala de menor detalhe, também tomaram outros critérios, principalmente referente aos alinhamentos de topo, além dos cursos fluviais.

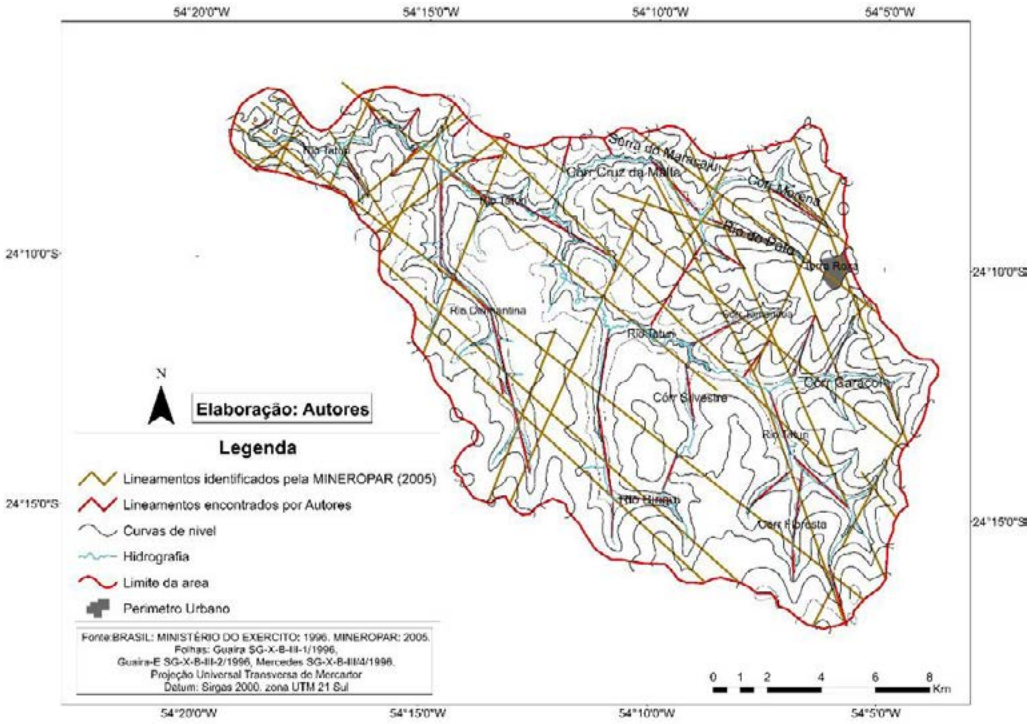


FIGURA 3: Carta de lineamentos da bacia do Rio Taturi (PR).
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da MINEROPAR (2005) e do Ministério do Exército (1996).

A priori, a hidrografia de uma bacia pode fornecer dados de grande contribuição com as questões estruturais da área. Como define Soares e Fiori (1976):

A rede de drenagem traçada de forma sistemática e uniforme pode fornecer informações de grande importância, especialmente quanto à estrutura geológica da área; variações no estilo estrutural e, mais grosseiramente, nas facies litológicas, podem ser obtidas com rapidez sobre mapas de drenagem detalhado e apresentado em escala, 2 a 4 vezes menor que a escala em que a drenagem foi originalmente traçada. (SOARES; FIORI, 1976, p. 6).

Ainda, a rede de drenagem possui algumas propriedades importantes que ao serem analisadas permitem ao pesquisador induzir ou deduzir hipóteses para as características encontradas na bacia em questão. Destacam-se a análise da sinuosidade, a textura da drenagem, a forma do canal fluvial, aspectos que permitem ao pesquisador classificar os segmentos retilíneos de drenagem como lineações de drenagem. (SOARES; FIORI, 1976).

Desta maneira, os lineamentos obtidos nesse trabalho se encontram sob os cursos fluviais da região. Em sua maioria, estão em rios de 1° ou 2° ordens, mas também são encontrados em cursos fluviais de maior magnitude, como por exemplo no rio Taturi, o canal fluvial mais importante da bacia, e que tem os demais cursos hídricos como seus afluentes.

O rio Taturi, além de sofrer influência das variações litológicas presentes na área, sendo este rio um divisor natural entre as duas distintas formações geológicas, também possui influências diretas dos lineamentos regionais ao longo de todo o seu curso pela bacia, fato reconhecido em escala regional pela MINEROPAR (2005), Figura 3.

Alguns afluentes do rio Taturi e outros canais adjacentes de maior importância estão totalmente condicionados por lineamentos, com destaque para o rio Diamantina, rio Birigui, córrego Floresta e o córrego Silvestre (Figura 3), formando vales em linha de falhas.

Ainda, o rio Taturi, após a confluência com o córrego Tamanduá, passa a apresentar pequenos desvios bruscos em alguns segmentos de seu leito Estes desvios estão relacionados a presença de um material rochoso basáltico, resistente e altamente fraturado, que obriga o rio a estabelecer esse traçado irregular.

Destaca-se que estas pequenas variações presentes em alguns canais fluviais se encontram sobre os basaltos da Formação Serra Geral, enquanto os canais fluviais sobre o domínio da Formação Caiuá demonstram possuir seus respectivos cursos mais retilíneos e homogêneos, com apenas algumas curvas proporcionadas pela influência dos lineamentos.

Além disso, constatou-se que os lineamentos estão espalhados por toda a extensão da bacia hidrográfica, porém registra-se uma concentração mais elevada na região leste, incluindo os lineamentos encontrados por este trabalho e os identificados pela MINEROPAR (2005). Esta área se destaca também pelo domínio da Formação Caiuá, próximo a cidade de Terra Roxa. Tal concentração pode afetar o equilíbrio erosivo na região, visto que o rio muda seu curso e tende a encaixar seu leito em um lineamento, proporcionando uma mudança significativa em sua área de entorno. Este fato pode ser potencializado devido à presença um centro urbano sobre a fragilidade estrutural da Formação Caiuá, que em suma está mais suscetível aos processos de denudação quando comparada aos basaltos da Formação Serra Geral. (BUENO *et al* 2018).

Assim, destacam-se alguns lineamentos identificados nesse trabalho, com o intuito de compreender os efeitos potenciais desses em uma escala de análise de detalhe. Pela mudança de trajeto de um rio causada pela presença de um lineamento local, fica perceptível o vale encaixado em linha de falha, em função da retilinidade e das curvas abruptas em seu curso, podendo evidenciar em alguns casos uma possível captura futura de nascentes dos cursos fluviais (FERREIRA, 2001) .Assim, visto que diferentes rios possuem um mesmo direcionamento proporcionado por uma ou mais linhas de falhas, pode promover por erosão remontante a respectiva captura, como evidenciado pela figura 4.

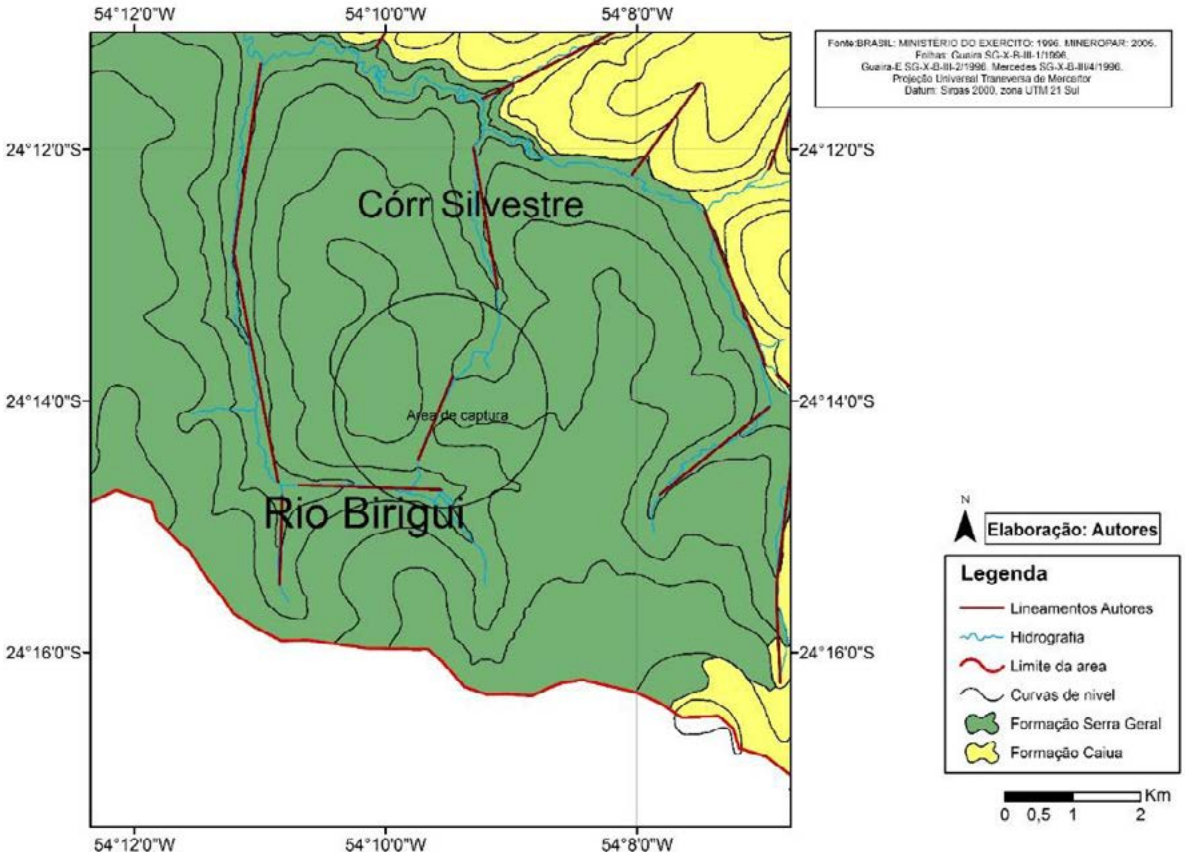


FIGURA 4: Configuração da rede de drenagem e indicação de possível captura identificada entre nascentes do Rio Birigui e do Córrego Silvestre.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da MINEROPAR (2005) e do Ministério do Exército (1996).

Na figura 4, é possível notar o alinhamento entre o córrego Silvestre e um afluente de 1° ordem do Rio Birigui. Embora os rios estejam em uma distância considerável (em torno de 600m), a linearidade entre suas nascentes chama a atenção, demonstrando potencial para uma captura futura.

Após a análise dos lineamentos e seus respectivos potenciais de alteração no relevo e nos cursos hídricos, foram elaborados diagramas de rosetas (Figura 5) com o intuito de compreender as direções predominantes, correlacionando o padrão de lineamentos identificados por este trabalho com os levantados pela MINEROPAR (2005).

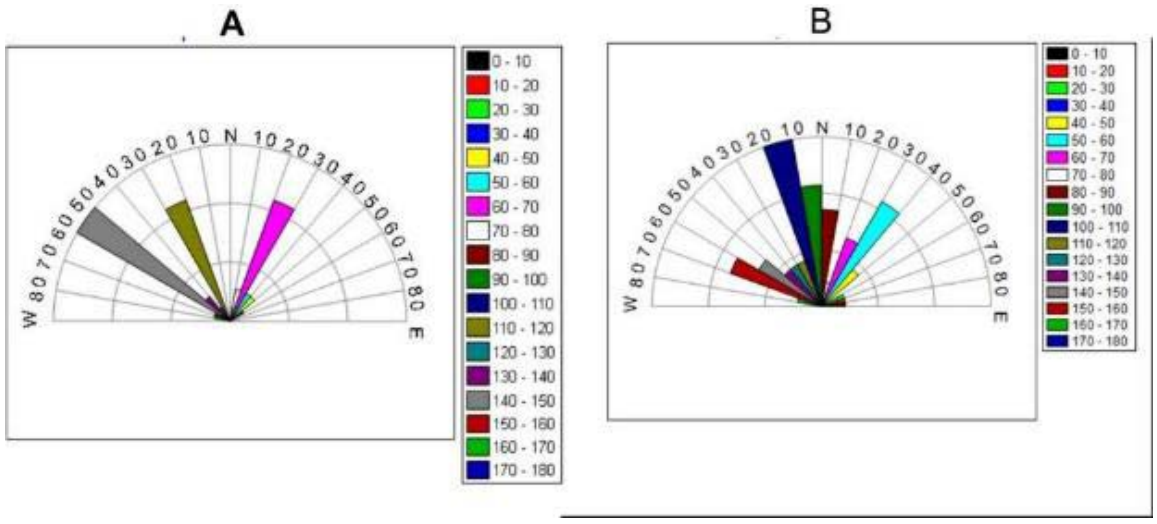


FIGURA 5: Diagrama de rosetas dos lineamentos da bacia do Rio Taturi (PR). Em A: Lineamentos identificados pela MINEROPAR (2005); Em B: Identificados por esta pesquisa.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir das informações da MINEROPAR (2005) e dos dados levantados ao longo da pesquisa.

Em suma, fica evidente que há uma predominância de direção nos lineamentos levantados pela MINEROPAR à NO-SE e secundariamente em direção NNO-SSE, enquanto os lineamentos identificados por este trabalho possuem uma direção mais consistente em NNO-SSE e NE-SO.

A diferença, embora não muito significativa em termos de direção, se deve também a uma diferença nos critérios estabelecidos entre os autores para a identificação dos lineamentos na região. Assim, pode-se afirmar que há uma organização preferencial entre os lineamentos em duas direções: NNO-SSE e NE-SO, com suas respectivas frequências variando de acordo à escala de trabalho e a técnica empregada.

Considerações Finais

Desta maneira, a metodologia empregada proporcionou uma análise crível das influências dos lineamentos regionais e locais na área que compreende a bacia do rio Taturi, possibilitando a compreensão de suas intervenções principalmente nos canais fluviais e sua relação com os aspectos litológicos da área de estudo.

A configuração da rede de drenagem apresenta morfologias de traçado de canal que se diferenciam de acordo com a litologia, com desvios frequentes em áreas de basalto e cursos mais retilíneos em áreas de domínio arenítico.

Ainda, com a direção preferencial dos lineamentos demonstrados pelas rosetas, fica evidente o padrão preferencial de orientação dos lineamentos na bacia. Tal fato evidencia que este condicionante endógeno e ativo de esculturação do modelado determina o desenvolvimento da bacia de acordo com a orientação dos lineamentos e suas influências nos cursos hídricos, mudando sua configuração e organização primaria, determinando assim os aspectos geomorfológicos dos rios e da própria bacia como um todo. (MANTELLI; ROSSETTI, 2009).

Com isso, embora o resultado obtido pela MINEROPAR (2005) demonstre que exista uma preferência maior dos lineamentos para a direção NO-SE e NNO–SSE, os canais fluviais demostram uma ordenação maior para com as direções NNO–SSE e NE–SO, visto que foram as mais predominantes durante a análise dos

lineamentos neste presente trabalho, que se utiliza de escala de maior detalhe. Assim, localmente as direções identificadas podem estar relacionadas a fraturamentos menores que ocorrem transversalmente as grandes quebras regionais da estrutura litológica, identificadas por MINEROPAR (2005).

Agradecimentos

Os autores agradecem a CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa de fomento vigente entre o período de agosto de 2018 a agosto de 2019, que me proporcionou a realização desta pesquisa.

Referências

BADE, M. R. **Definição e caracterização das unidades de paisagem das bacias hidrográficas do Paraná III (Brasil/ Paraguai)**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon-PR, 2014.

BATISTA, M. **Estudo morfopedológico em uma topossequência de solos no município de Terra Roxa-PR**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon. 2018.

BRITO, I. M. **Bacias sedimentares e formações pós-paleozoicas do Brasil**. Rio de Janeiro: Interciencia, 1979.

BIGARELLA, J. J; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão.** Associação de Defesa e Educação Ambiental e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Curitiba, 1985, 329 p.

BUENO, K; CUNHA, J. E; BORTOLUZZI, L. N. O entendimento da fragilidade ambiental do município de Guaíra - PARANA. **Caminhos de geografia.** Uberlandia – MG, v. 19, n. 68, p. 81 – 100, 2018

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora UFG, 2001.

CHIANG, L. C. **Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: Aplicação ao estado do Rio de Janeiro**. 1984. Tese (Doutorado em Geologia) - Faculdade de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

FERREIRA, M. F. M. **Morfologia e Análise Morfotectônica do Alto Vale do Sapucaí**. 2001. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2001.

GUERRA, A. J. T; BOTELHO, R. G. M. Erosão e solos. *In*: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 181-220.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Malha municipal**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads. Acesso em: 12/01/2020.

IAPAR - INSTITUTO AGRONOMICO DO ESTADO DO PARANA. **Cartas climáticas do Estado do Paraná 1994.** Londrina: IAPAR, 1994. n. 1. Escala: 1:1.000.000.

JAQUES, P; MACHADO, M; NUMMER, A. Lineamentos estruturais na borda leste da Bacia do Paraná em Santa Catarina: análise multiescala com base em imagens LANDSAT e SRTM. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, p. 117 – 131, 2010.

SANCHES, R. M. **Dinâmica solo-relevo e evolução geomorfológica na bacia do rio Taturi – região oeste do Paraná**. 2018. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Rio Claro, SP. 2018.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 141 p.

MACHADO, J. L. F; FACCINI, U. F. Influência dos falhamentos regionais na estruturação do sistema aquífero Guarani no

estado do Rio Grande do Sul. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: ABAS, 2004. p. 1-14.

MACHADO, F. B; NARDY, A. J. R; MELO, R. P; OLIVEIRA, M. A. F; SQUISATO, E. As rochas intrusivas da formação Serra Geral na porção leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo: Aspectos petrograficos e geoquímicos-resultados preliminares. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 5-17, 2005.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 4a. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MANTELLI, L. G; ROSSETI, D. F. Significado tectônico de lineamentos de drenagem no sudoeste de ilha do Marajó. São Paulo, **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n.1, p. 42-52, 2009.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANA. **Folha Guairá**. Curitiba: MINEROPAR, 2005.n. 1. Escala: 1:250.000.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANA. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná.** Curitiba: MINEROPAR, 2006. n. 2. Escala: 1:250.000.

MOURA, T. C; MARQUES NETO, R. Anomalias e lineamentos de drenagem na interpretação da dinâmica morfotectônica na bacia do alto rio Grande, Mantiqueira meridional. *In*: XI – ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE, 11., 2015, Presidente Prudente. **Anais** [...]. Presidente Prudente: UFGD, 2015. p. 6506-6517.

O' LEARY, D. W; FRIEDMAN, J. D; POHN, H. A. Lineament linear lineation: some proposed new standards for old terms. **Bulletin of the Geological Society of America**. Denver – CO, p. 1463 – 1469, 1976.

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA PLANÍCIE COSTEIRA DA LAGOA DE ARARUAMA – RJ

Evelyn de Castro Porto Costa
Universidade Federal Fluminense - UFF
Instituto de Geociências - Rua Gal. Milton Tavares, s/n - Boa Viagem, Niterói – RJ
E-mail: evelynportocosta@yahoo.com.br
Mikaella Pereira dos Santos
Universidade Federal Fluminense - UFF
Instituto de Geociências - Rua Gal. Milton Tavares, s/n - Boa Viagem, Niterói – RJ
E-mail: mikaellasantos.geo@gmail.com
Jéssica Gonçalves de Oliveira da Silva
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ/FFP
R. Francisco Portela, 1470 - Patronato, São Gonçalo - RJ, 24435-005
E-mail: jessica.oliveira.jsc.g@gmail.com
Vinicius da Silva Seabra
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ/FFP
R. Francisco Portela, 1470 - Patronato, São Gonçalo - RJ, 24435-005
E-mail: vinigeobr@yahoo.com.br

Resumo

O ambiente costeiro passa por sucessivas modificações, tanto por ações da natureza como por agentes antrópicos. Na planície costeira da Lagoa de Araruama, localizada no litoral leste do Estado do Rio de Janeiro, a paisagem foi sendo formada através de processos evolutivos e transformações causadas pela falta de planejamento na distribuição da ocupação urbana, impactando os remanescentes naturais presentes na paisagem e descaracterizando-os. O objetivo deste estudo foi identificar, através do mapeamento de uso e cobertura da terra, a distribuição das atividades humanas no espaço, os vetores de pressão, os impactos nos sistemas ambientais naturais e as mudanças na superfície terrestre, além de discutir métodos de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao mapeamento geomorfológico. Neste trabalho se fez uso de imagens Sentinel 2, sensor MSI, que possui resoluções espacial, espectral e radiométrica que permitem mapeamentos de alta-média resolução.

Palavras-chave: Uso e Cobertura, GEOBIA, Sentinel, Lagoa de Araruama.

1. Introdução

O litoral compreende uma área dinâmica que necessita ser planejada e gerida de modo equilibrado e sistêmico, abrangendo as relações entre sociedade e natureza e as transformações sofridas temporalmente. Os diferentes usos do espaço litorâneo para fins de ocupação urbana, sem o prévio planejamento e gerenciamento, podem comprometer os ecossistemas litorâneos e sujeitar a população que a ocupa a diversos riscos.

O estudo das transformações da paisagem se constitui num instrumento essencial para a compreensão das dinâmicas espaciais e a distribuição dos recursos naturais e infraestruturas disponíveis. Além disso, pode dar subsídios ao planejamento ambiental e urbano, apontando quais são as pressões sofridas com essas transformações; podendo prognosticar as consequências que essas mudanças podem ocasionar à sociedade e à natureza (SEABRA, 2012).

Os conhecimentos ambientais podem dar subsídios ao manejo costeiro, auxiliando na preservação da vegetação litorânea, na prevenção de problemas relacionados à expansão urbana e de atividades econômicas predatórias, que comprometem o equilíbrio dos ecossistemas litorâneos. Sendo este um processo delicado, devido ao litoral ser uma área de grande valor econômico, com alto valor paisagístico para o turismo, setor imobiliário e inúmeras outras atividades econômicas.

O ambiente costeiro sofre com constantes alterações do uso da terra que são refletidas diretamente na paisagem. Segundo Lang e Blaschke (2009), a forma de expressão espacial da influência humana sobre a paisagem é a forma específica de uso da terra. Os estudos relacionados à análise do uso da terra fornecem as informações necessárias para a identificação do período em que as mudanças ocorreram; permite a compreensão de suas estruturas no passado; e, também, torna viável a determinação dos vetores e tendências das pressões sobre os espaços naturais (SEABRA & CRUZ, 2013).

Na planície costeira da Lagoa de Araruama, a paisagem foi constituída através de mudanças em pequenos e longos intervalos de tempo, ocasionadas pela natureza e pelo homem. Lang e Blaschke (2009), também destacam as mudanças relacionadas aos sistemas ambientais, em que as paisagens estão submetidas a mudanças resultantes da dinâmica natural deste litoral, o que independe da influência humana.

A planície costeira é representada por uma morfologia plana e cuja formação resultou da deposição de sedimentos marinhos. A largura das planícies costeiras é geralmente estreita, confinada entre o mar e a escarpa dos depósitos sedimentares do Grupo Barreiras, em alguns lugares do Rio de Janeiro (MUEHE, 2001).

Em ambientes de planícies costeiras encontram-se sistemas barreira-laguna, que segundo Silvestre & Silva (2016) é composto por diversos subambientes, que são frequentemente degradados pela ocupação humana, o que pode gerar a eutrofização e a descaracterização física das lagunas, como a de Araruama.

A Lagoa de Araruama é considerada um sistema lagunar hipersalino, com salinidade média igual a 44,8 (ppm) e que se conserva com essa característica ao longo de todo o ano (BERTUCCI, 2016). Cabe destacar que tal característica é fundamental para a atividade econômica salineira, desenvolvida até os dias atuais na margem lagunar da Lagoa de Araruama.

A atividade de produção de sal se utiliza da formação dos esporões para a implementação de salinas para a realização da atividade econômica, devido a sua estratégica localização espacial junto a laguna hipersalina. Nos esporões da Lagoa de Araruama estão presentes infraestruturas para a produção do sal, compostas por marnéis, diques e tanques de cristalização. Tais estruturas podem interferir diretamente na dinâmica evolutiva dos esporões, tendo em vista a influência antrópica exercida sobre essas áreas.

Dessa maneira, a necessidade da análise espacial nessa área reflete a importância de geração de dados que possibilitem a quantificação e análise da distribuição da ocupação urbana e de remanescentes naturais, compreendendo seus conflitos e contextualizações no cenário ambiental atual, podendo vir a subsidiar planejamentos socioambientais, e principalmente preservar as áreas florestadas ou vulneráveis.

A análise do uso e cobertura da terra é indispensável para estudos ambientais de qualquer natureza, pois permite a compreensão da distribuição das atividades humanas no espaço geográfico, assim como apontam os vetores de pressão e impactos sobre os elementos naturais presentes na paisagem. Numa concepção geográfica, a expressão uso da terra designa não somente a tipologia de cobertura da terra existente num determinado local como, fundamentalmente, o conjunto de forças produtivas e relações sociais de produção que condicionam as formas de ocupação e uso de um determinado território (IBGE, 1999).

O mapeamento de uso e cobertura da terra é essencial ainda para a análise das mudanças na superfície terrestre e das interações existentes entre o meio biofísico e socioeconômico, sobretudo em áreas em que estes processos ocorrem com grande dinamismo. Altmann et al. (2009) ressalta que o mapeamento do uso e cobertura da terra retrata as atividades humanas que pode significar pressão e impacto sobre os elementos naturais.

O uso da terra é um termo que se refere ao modo como a terra é usada pelos seres humanos. A cobertura da terra refere-se à distribuição dos materiais biofísicos sobre a superfície terrestre (JENSEN, 2007). Foi escolhido como metodologia o mapeamento de uso e cobertura da terra, que segundo o IBGE (2006) consiste na elaboração de mapas indicativos da distribuição geográfica dos usos através da identificação de padrões homogêneos da cobertura terrestre.

Nesse sentido, este trabalho teve, portanto, a proposta de discutir o mapeamento de uso e cobertura da terra da planície costeira da Lagoa de Araruama, localizada no Litoral Leste Fluminense.

2. Área de Estudo

A planície costeira da Lagoa de Araruama está inserida num trecho do litoral leste do Rio de Janeiro conhecido como Região dos Lagos. O nome se deve à geomorfologia local, marcada pela presença de sistemas lagunares distribuídos paralelamente à costa, no qual a Lagoa de Araruama se destaca devido a sua dimensão e elevada salinidade (BERTUCCI, 2016). Essa planície abrange parte dos municípios de Saquarema, Araruama, Iguaba Grande, Arraial do Cabo, São Pedro da Aldeia e Cabo Frio (figura 1).

A área de estudo compreende os depósitos de sedimentos no entorno da laguna de Araruama e, a extensão da planície costeira dessa região corresponde a 420,75 km^2 entre as latitudes 22º29'30" O e 22°58'14" e longitudes 42º29'28" S e 41º57'55" S.

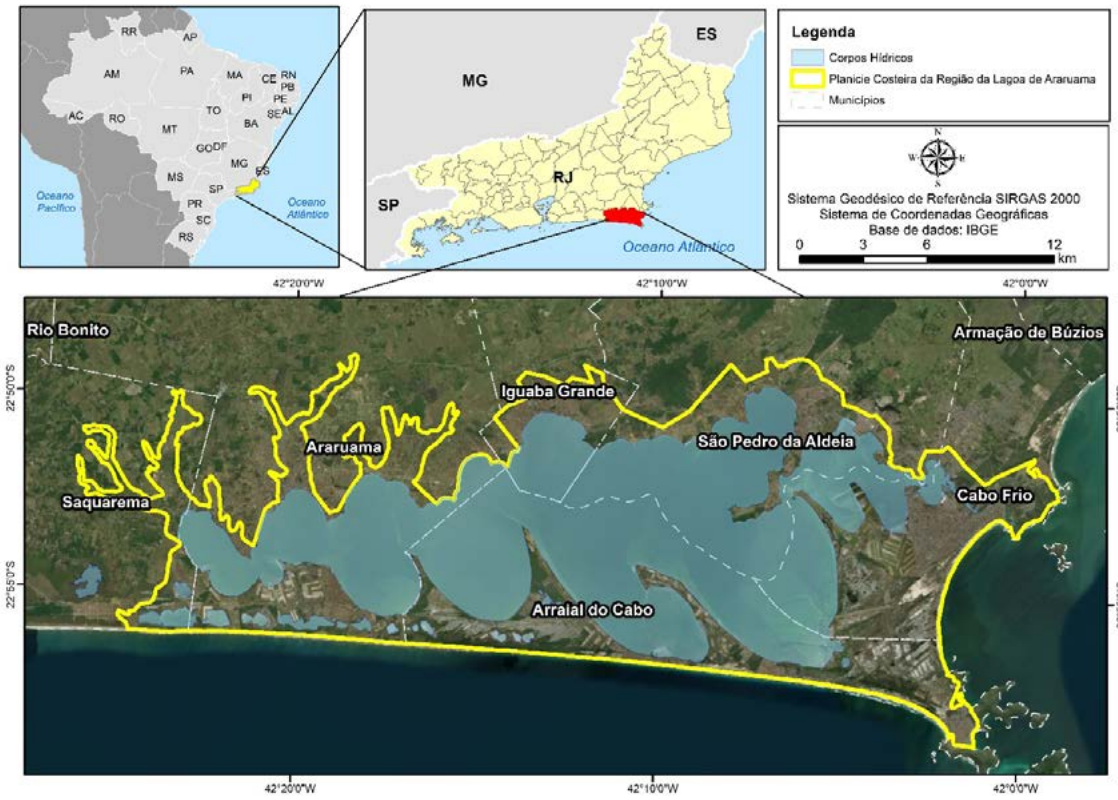


FIGURA 1 -Localização da planície costeira de Lagoa de Araruama. Fonte: Os autores, 2019.

Segundo Bidegain e Bizerril (2002), a Lagoa de Araruama possui uma área de 220 km², perímetro de 190 km, profundidade média de 2,9m e um volume de 636 milhões de m³ (...) de água. Além disso, a laguna possui cerca de 13 km de largura (Norte-Sul) e cerca de 30 km (Leste-Oeste).

Segundo Gomes (2009), a laguna de Araruama possui a característica de um estuário negativo, no qual o somatório das vazões afluentes, seja por meio dos rios que desaguam na laguna (fluviais) ou por meio da água da chuva (pluviais), é inferior a vazão da evaporação da água da laguna, o que intensifica a sua hipersalinidade.

Segundo Ireland (1987), o litoral sul do estado do Rio de Janeiro é caracterizado ao leste por numerosas lagoas separadas por pontais e íngremes montanhas de rochas cristalinas. Na geormorfologia do litoral leste do estado do Rio de Janeiro se encontram diferentes formações lagunares. Ireland (1987), destaca que:

"São mais de 20 lagoas holocênicas ao longo da costa do Rio de Janeiro, geralmente confinadas em terra por faixas litorâneas e sequências sedimentares pré-holocênicas e em direção ao mar por barreiras, na maioria dos casos, essas barreiras isolam completamente as lagoas do Oceano Atlântico, embora algumas tenham aberturas artificiais estreita" (IRELAND, 1987).

Segundo Turcq et al (1999), a Lagoa de Araruama teve sua formação relacionada aos últimos eventos de transgressão marinha ocorridos por volta de 120.000 anos. Ainda segundo o autor, a relativa mudança do nível do mar durante os últimos 7.000 anos, poderia explicar a formação de barreiras arenosas, bem como dos sistemas lagunares (TURCQ, 1999). Turcq et al (1999) aponta que a característica mais marcante desta planície costeira é a presença de dois sistemas lagunares:

"O interior, representado por Jacarepaguá, Rodrigo de Freitas, Piratininga, Itaipu, Maricá, Jaconé, Saquarema e Araruama, é caracterizada por grande formato redondo lagoas. O exterior é representado por um chaplet de pequenas lagoas incluindo Marapendi, Vermelha, Pernambuco, Brejo do Espinho, etc., que estão localizados ao longo de uma planície estreita entre duas barreiras de areia. Além disso, um gradiente de salinidade hipersalino é observável entre o Rio de Janeiro e Cabo Frio, respectivamente, o que pode ser atribuído a um microclima seco na última área". (TURCQ et al, 1999).

As lagunas maiores, localizadas entre a barreira interna e o continente, desenvolveram-se durante o Pleistoceno e foram novamente submersas durante a transgressão holocênica, que por sua vez deu origem ao sistema lagunar e barreira externa (TURCQ et al, 1999). Ainda segundo Turcq et al (1999), as lagunas menores foram formadas a partir de um desmembramento do sistema lagunar externo que ocorreu durante as flutuações posteriores do nível do mar. Na planície costeira da Lagoa de Araruama encontram-se lagunas que se diferenciam quanto as suas formações, classificadas como holocênicas ou pleistocênicas, conforme apontam a figura 2.



FIGURA 2 - Distinção dos sistemas lagunares. Fonte: O autor, 2019.

Muehe (2001) caracteriza a área da laguna de Araruama ao norte como recortada por pequenas enseadas, enquanto na orla sul, formada por cordões arenosos de orientação Leste-Oeste, composta por extensos arcos de praia. Bidegain e Bizerril (2002) destacam que no eixo sul, a laguna é composta por largas enseadas de contornos suaves, separadas por esporões arenosos encurvados para oeste.

Nas barreiras arenosas, situadas ao sul da Lagoa de Araruama, destaca-se a presença de esporões. Tal formação é resultante da mobilização de sedimentos ao longo do perímetro das lagunas por ondas geradas no seu interior. Alves et al (2006) aponta que os esporões são protuberâncias na linha de costa em forma de cúspides, formadas por material não coesivo, tendo seu processo de formação tangenciado pelo gradiente do fluxo de sedimentos na linha de costa, sob a ação de um clima de ondas antidifusivo.

Vale ressaltar que a maior particularidade da área de estudos se remete as salinas, áreas onde ocorrem a atividade econômica de produção de sal. A salicultura, que tem por finalidade o extrativismo do sal, sendo possível encontrar algumas dessas estruturas nas margens lagunares.

3. Metodologia

Utilizou-se como metodologia o mapeamento de uso e cobertura da terra, que auxiliará nas discussões da dinâmica espacial e nas distribuições dos elementos naturais e antrópicos presentes na planície costeira da região da Lagoa de Araruama.

Neste trabalho foram utilizadas imagens do Sentinel 2, sensor MSI, disponibilizadas gratuitamente a partir da Agência Espacial Europeia (ESA), que oferece resoluções espaciais que variam entre 10, 20 e 60 metros nas suas 13 bandas e resolução radiométrica de 12 bits, o que permite mapeamentos em alta-média resolução.

As bandas utilizadas na correção atmosférica e composição de índices foram as do visível (2, 3 e 4), infravermelho próximo (5), Red Edge (6, 7, 8 e 8A), e infravermelho médio (11 e 12). Segundo Santos et. al. (2017) uma das principais vantagens do uso de imagens do Sentinel 2 é a combinação de estreitas faixas espectrais, proporcionadas por quatro canais Red Edge (borda do vermelho) e o tempo de revisita, que contribui para estudos de identificação e monitoramento de coberturas vegetais.

Para obter um melhor desempenho das imagens foi realizado a correção atmosférica das bandas da cena 23KQQ, do sensor MSI Sentinel 2. A correção foi realizada a partir do software Qgis, pelo método DOS1 (DarkObjectSubtraction), presente no plugin SCP (Semi AutomaticClassifiation Plugin) para imagens Sentinel 2. Dessa forma, a correção atmosférica foi realizada através da metodologia empírica de subtração do valor do pixel mais escuro, sendo essa a metodologia mais simples proposta na literatura (ANTUNES et al., 2012).

Após a correção atmosférica das bandas foi necessário realizar o processo de álgebra de imagens, no qual as imagens foram submetidas a cálculos, multiplicando assim os valores de radiância (que variavam de 0 a 1) por 1000, através da ferramenta Calculate Raster, no software Qgis 3.2.1. Tal medida foi adotada devido a interferência direta dos valores de radiância no processo de segmentação das imagens de Sentinel no software eCognition, afetando os segmentos gerados pela ferramenta multiresolution, que impedia a criação de segmentos homogêneos de acordo com os objetos.

O processo de segmentação e classificação de imagens para geração de mapa de uso e cobertura foi realizado pelo software eCognition, que segundo Lang e Blaschke (2009), é o software mais indicado para esse tipo de classificação, devido ao fato de que os dados de entrada espectrais e temáticos são transformados em objetos por meio de um algoritmo de segmentação, o que corresponde a uma mistura do ponto de vista do conteúdo e espacial.

A classificação foi realizada pela metodologia GEOBIA (classificação de imagens baseada em objetos), que se diferencia das demais técnicas, pois considera muitos tipos de descritores, tratando-os como parâmetros caracterizadores dos objetos, tais como: cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização, contexto, etc. (DEFINIENS, 2010).

Segundo Cruz et al (2007), a classificação de imagem baseada em objetos (GEOBIA) simula, a partir da modelagem do conhecimento, as técnicas de interpretação visual, possibilitando a identificação de feições, baseando-se ainda na descrição de padrões identificadores, tais como textura, cor, métrica e contexto. O GEOBIA ainda se diferencia das demais técnicas, pois considera muitos tipos de descritores, tratando-os como parâmetros caracterizadores dos objetos, tais como: cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização, contexto, etc. (DEFINIENS, 2010).

Além disso, a classificação de imagens baseada em objetos é essencial para o conhecimento temático (uso da terra, cobertura vegetal, solos, litologia), e de sensoriamento remoto do intérprete. Esse conhecimento é necessário na definição das chaves de interpretação, na avaliação e no resultado obtido de forma automática e na edição final do mapa (FLORENZANO, 2011).

Com o objetivo de auxiliar no projeto de mapeamento de uso e cobertura da terra, optou-se em empregar mapas temáticos em formato raster para auxiliar no processo de modelagem das imagens, possibilitando seu uso como descritor para a classificação, dessa forma, foram adotados os mapas de litologia (CPRM) e geomorfologia (SEABRA e AUGUSTO, 2018).

Além disso, foram adotados também os índices radiométricos, que aparecem como excelentes ferramentas para distinguir classes em uma classificação. Dessa forma, ao analisar o comportamento espectral de cada classe trabalhada a partir de diversos índices, é possível avaliar o desempenho, bem como, a potencialidade de cada índice, auxiliando na organização de metodologias para a realização de mapeamentos.

As imagens do Sentinel 2 permitem que sejam gerados índices radiométricos diversos, que servem como descritores para a classificação da imagem por método GEOBIA. Os índices radiométricos são medidas capazes de identificar em imagens digitais a abundância relativa e a atividade de determinados tipos de informações, tais como áreas edificadas, cobertura vegetal, áreas inundadas, área foliar, entre outros. (FRANÇA et al., 2012).

Os usos de descritores, como por exemplo, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), criado por Rouse et al (1974), que se aplica na identificação de áreas verdes ou em áreas em que a presença de vegetação é escassa, servem de elementos fundamentais na classificação da imagem, pois facilitam na identificação de florestas e áreas verdes.

Os índices mais citados pela bibliografia, usados para classificação de vegetação e água, tais como NDVI e NDWI, foram adaptados para o sensor MSI, do satélite Sentinel 2, sendo este, composto por novos algoritmos. Os índices adotados para esse estudo encontram-se disponíveis em SentinelHub (2018), e a partir das suas descrições e algoritmos, foi possível reconhecer as potencialidades destes índices em caráter exploratório.

A segmentação da imagem consiste na criação de polígonos que agrupam pixels semelhantes segundo os padrões identificadores. Esse processo foi realizado no software eCognition, pela ferramenta multiresolution, sendo destinado pesos iguais para todas as bandas utilizadas, admitindo parâmetro de escala 100, forma 0,1 e compacidade 0,5.

No processo de amostragem, foram escolhidas entre 10 a 15 amostras uniformes por classe, para posteriormente realizar a modelagem, em que são selecionados descritores, através do método tradicional de comparação de histogramas. O processo de modelagem do conhecimento é de suma importância para a classificação da imagem. Conforme pode ser analisado no fluxograma, foram adotados descritores fundamentais para diferentes tipos de classes (figura 3).

Para fazer análises eficientes na área de estudos, foi realizada uma validação desse mapeamento através da metodologia de pontos aleatórios. A metodologia abordada para atestar a qualidade do mapeamento é a de validação por amostragem aleatória e estratificada (LANDIM, 2003), fazendo uso das imagens do Google Earth. A geração de pontos aleatórios para validação de mapeamento já foi utilizada por outros autores, como Silva et al. (2011) e Nascimento et al. (2013). Lopes (2009) atestou a fidelidade geométrica das imagens do Google Earth em comparação com bases de dados utilizadas em mapeamentos, estando passíveis de serem utilizadas para validação.

Diante da possibilidade de utilização da base de imagens do Google Earth para validação, o resultado da classificação foi incorporado em formato vetorial ao software ArcGIS 10.1, onde os centroides dos polígonos foram extraídos, gerando 1.114 pontos. Em seguida, os pontos foram submetidos à função subsetfeatures, do módulo Geostatistical Analyst, onde passaram por uma seleção estática aleatória de 20% dos pontos de cada classe, restando 217 pontos aleatórios.

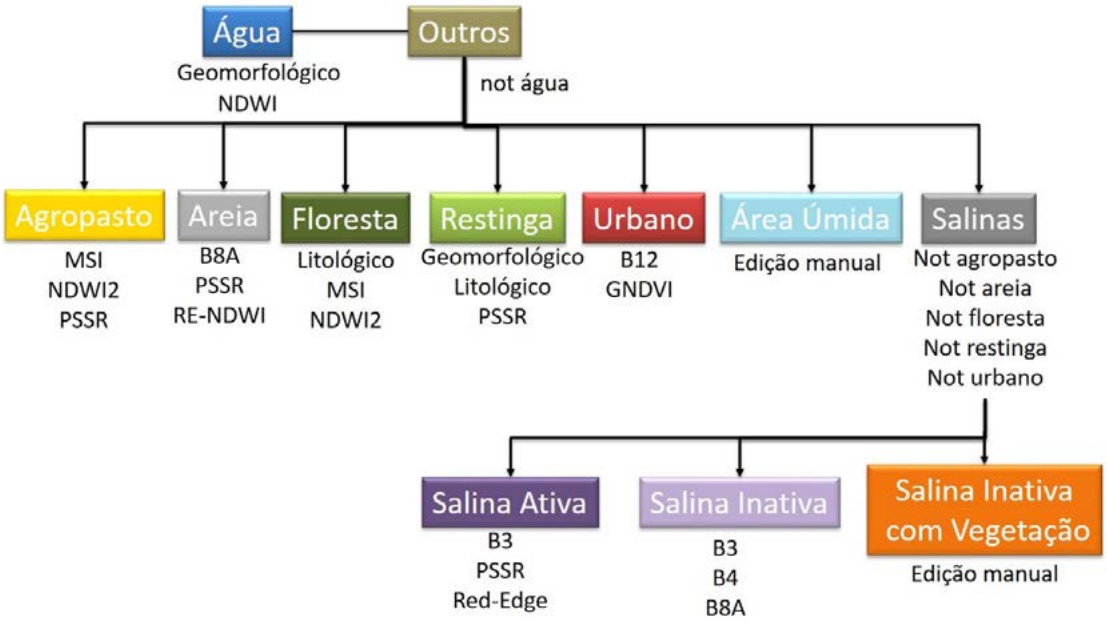


FIGURA 3 - Modelagem do conhecimento. Fonte: Os autores, 2019.

Esses pontos, que portam em seus atributos os nomes das classes a quem pertencem, foram importados no software Google Earth Pro, e sobrepostos a imagens de alta resolução do software, onde cada um foi validado (figura 4). Os pontos com usos compatíveis ou incompatíveis por classes a que pertencem foram descritos e somados em uma planilha contendo a matriz de confusão.



(a) (b)

FIGURA 4 - Exemplos de amostras validadas. Fonte: Os autores, 2019.

Através da matriz de confusão gerada pelo resultado obtido no processo de validação do Google Earth (tabela 1) é possível analisar as principais dificuldades e limitações da classificação obtida. Tal como a confusão das classes de urbano com a classe de salina, geralmente confundidos com salina inativa e inativa com vegetação. Isso ocorre devido a resposta espectral da salina ser parecida com a resposta de areia.

		PRODUTOR											
	CLASSES	Agropasto	Água	Área Úmida	Areia	Floresta	Restinga	Salina Ativa	Salina Inativa	S.Inat. Veg	Urb. Moderado	Urb. Rarefeito	Total
USUÁRIO	Agropasto	27	0	0	0	2	0	0	0	0	3	4	36
	Água	0	7	1	0	0	0	1	2	0	0	0	11
	Área úmida	2	0	8	0	0	0	0	0	1	0	0	11
	Areia	1	0	0	2	0	2	0	0	4	0	0	9
	Floresta	2	0	0	0	38	0	0	0	0	0	1	41
	Restinga	3	0	0	0	0	4	0	0	0	3	0	10
	Salina ativa	0	0	0	1	1	0	2	2	0	0	0	6
	Salina inativa	1	0	0	0	1	0	0	8	0	0	0	10
	Sal. inativa c/ vegetação	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	Urb. Moderado	3	0	0	1	0	1	0	0	0	12	7	24
	Urb. Rarefeito	1	0	0	2	0	0	0	0	0	6	25	34
	Total	40	7	9	6	42	7	3	12	7	24	37	194
	Usuário	67,50%	100,00%	88,89%	33,33%	90,48%	57,14%	66,67%	66,67%	28,57%	50,00%	67,57%	100%
	Produtor	75,00%	63,64%	72,73%	22,22%	92,68%	5,71%	11,11%	6,67%	14,29%	2,08%	73,53%	100%

TABELA 1 - Matriz de confusão gerada a partir da validação. Fonte: Os autores, 2019.

A classe de urbano rarefeito, muito se confunde com a classe de agropasto devido a sua resposta espectral parecida, os loteamentos espaçados se assemelham com as classes de agropasto, como aponta a matriz de confusão.

A exatidão do usuário está relacionada aos erros de comissão, a qual representa a relação entre o número de amostras classificadas corretamente da classe k e o número total de amostras classificadas da classe k, logo, se refere aos erros de superestimação, ou comissão. Já a exatidão do produtor representa a relação entre o número de amostras classificadas corretamente da classe k e o número total de amostras de referência da classe, logo, se remete aos erros de subestimação, ou omissão.

O índice Kappa alcançou 0,64 e o coeficiente de exatidão global alcançou um índice de 0,69 de acerto, sendo considerado por Landis (1977) substancialmente aceitável, correspondendo ao segundo nível mais alto da escala de validação.

4. Resultados

O mapeamento apresenta a distribuição de uso e cobertura da terra da planície costeira da região da Lagoa de Araruama, sendo possível inferir as áreas de maior pressão antrópica e demais usos existentes. Através do resultado obtido foi possível obter os dados quantitativos e qualitativos da distribuição do uso e cobertura da terra por suas respectivas classes de mapeamento.

Com base no mapeamento, o espelho d'água das lagoas se destacam e apresentam uma cobertura predominante na área de estudos, sendo a classe de maior dimensão, correspondendo a cerca de 52,03% da área de estudo; isso está relacionado a grande dimensão da Lagoa de Araruama, que juntamente com as demais lagunas existentes compreende uma área de cerca de 219,72 km^2.

A classe de agropasto, que corresponde as áreas de agricultura ou vegetação rasteira (gramíneas), representada por pequenas colinas, recobrem 28,94 km^2 da área mapeada, os agropastos, que representam 6,85% da cobertura total, estão distribuídas principalmente pelas planícies e sistemas de colinas, que são as feições mais presentes na área de estudos.

As áreas úmidas chegam a 1,48%, devido à existência de áreas de inundação temporária presentes ao entorno das lagunas presentes na área de estudos, somando uma área de 6,24 km². Ainda segundo o mapeamento, as áreas florestadas, que representam 11,11 km², que correspondem a 2,63% da área mapeada, sendo encontradas, em sua maioria, nas áreas mais interiores da área de estudo e em pontões rochosos situados nas praias (tabela 2).

CLASSE	AREA (KM²)	%
AGROPASTO	28,94	6,85
ÁGUA	219,72	52,03
ÁREA ÚMIDA	6,24	1,48
AREIA	7,37	1,74
FLORESTA	11,11	2,63
RESTINGA	26,10	6,18
SALINA ATIVA	23,22	5,50
SALINA INATIVA	12,73	3,02
SALINA INATIVA COM CASUARINA	13,69	3,24
URBANO RAREFEITO	31,06	7,35
URBANO MODERADO	42,14	9,98
TOTAL	422,34	100,00

TABELA 2 - Distribuição do Uso e Cobertura da Terra. Fonte: O autor, 2019.

A cobertura de salinas é bastante expressiva, estando distinguida entre três classes diferentes: salina ativa, salina inativa e salina inativa com casuarina, que é uma espécie arbórea, no Brasil é considerada uma espécie exótica muito presente nas áreas costeiras. O somatório de todas as áreas de salinas na área estudos corresponde a cerca de 50 km² de toda a área em estudos, equivalente a 12 % de toda área estudada. Isso possui importante significado para essa região, devido a tais salinas estarem situadas em todo o entorno da laguna e sujeita a ocupação e urbana e demais tipos de usos.

As áreas urbanas encontram-se distribuídas principalmente ao longo da faixa mais próxima do mar e ao longo das margens das lagoas costeiras. As ocupações são geralmente com pouca ou nenhuma verticalização, com exceção de algumas áreas do município de Cabo Frio, localizadas na praia do Forte. Por ser uma área característica de população de veraneio, a urbanização dessa região revela-se predominantemente como moderada (42,14 km²) e rarefeita (31,06 km²), distribuídas predominantemente no entorno da Lagoa de Araruama e no litoral, próximo às praias. As áreas urbanas totalizam cerca de 73,2 km², somando um percentual de 17,33% da área de estudos.

O mapeamento aponta, que a Lagoa de Araruama (figura 5) se localiza no centro da área mapeada, estando presente em grande parte da área de estudos. Além da laguna maior, chama-se atenção para as lagunas menores situadas nas áreas de depressão entre as barreiras arenosas, e que também possuem atividades de salicultura ao seu entorno.

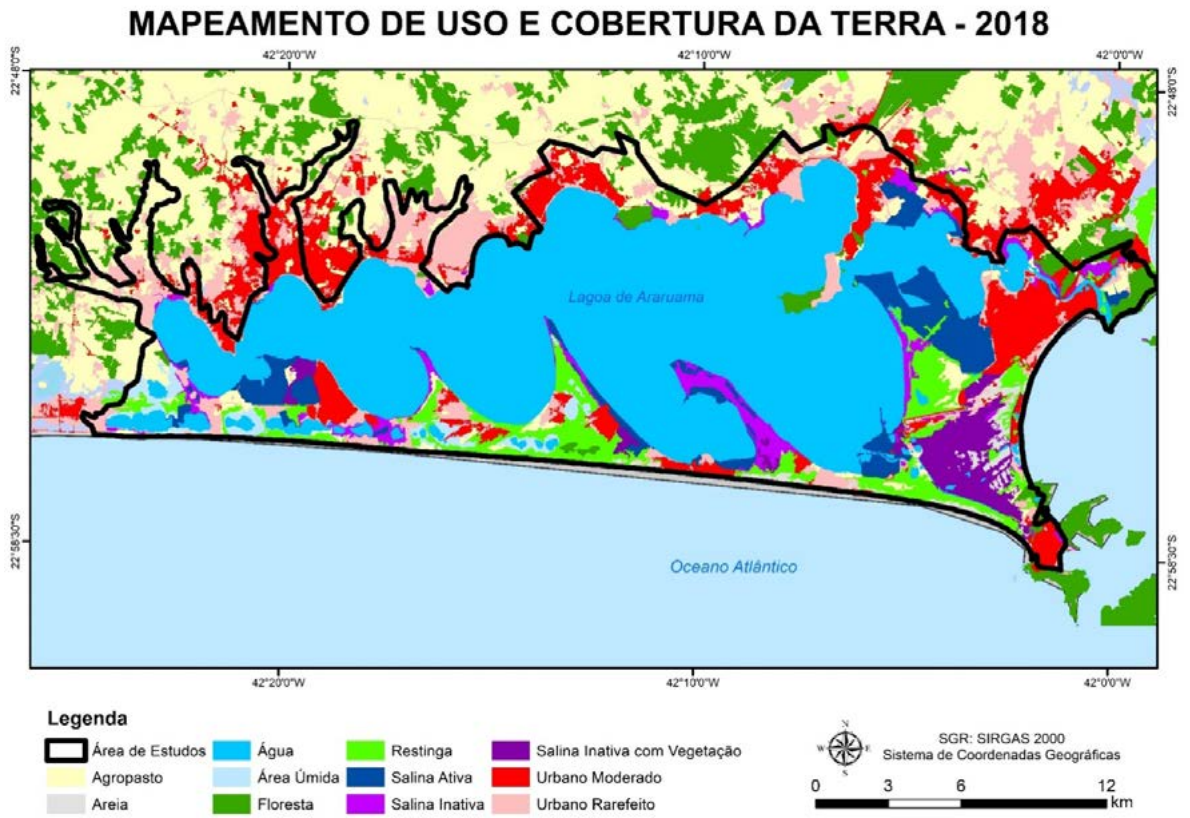


FIGURA 5 – Mapeamento de uso e cobertura da terra da planície costeira

A vegetação de restinga representa 6,18% da área, situada em unidades de conservação e contemplando uma área de 26,10 km². Já os cordões arenosos representam as faixas de praia, que se estendem por quase todo litoral e pelos campos de dunas, muito presentes na área de estudos. Os cordões arenosos, classificados como areia no mapeamento, representam 7,37 km² da área, o que resulta em 1,74% de toda superfície da representação temática.

As salinas ativas somam uma superfície de 23,22 km², ou ainda, 5,50% da área de estudos, ocorrendo sobretudo nos municípios de Araruama e Cabo Frio. Esta atividade econômica, que já foi muito importante para estes municípios, hoje encontra-se em declínio, estando em algumas áreas abandonadas. Estes casos foram classificados como salinas inativas, que se encontram fora de atividade e com superfície seca, somando cerca de 12,73 km², que corresponde a 3,02% da área. Já as salinas inativas com a presença de casuarinas em sua superfície, são encontradas principalmente na área da extinta Cia. Álcalis e possui uma superfície de 13,69 km², o que corresponde a 3,24% da área de estudos.

As salinas aparecem de forma predominante nas margens lagunares da região, sendo possível correlacionar a disposição das salinas com a ocorrência dos ventos na direção sudoeste e nordeste.

5. Considerações Finais

As geotecnologias possuem total importância para o planejamento territorial e investigações acerca da paisagem, tendo em vista que permitem a compreensão da paisagem em cenários pretéritos e atuais, permitindo a reflexão de cenários futuros.

O avanço das técnicas de processamento digital de imagens tem facilitado a obtenção de informações de forma mais rápida e eficiente. Nesse sentido, ressalta-se a importância da disponibilização dessas imagens de forma gratuita, ajudando a fomentar a análise espacial de diferentes territórios. As imagens de satélite auxiliam na interpretação e classificação de imagens de modo mais específico, possibilitando a compreensão da distribuição dos objetos em seus diferentes cenários. Especificamente, a imagem de satélite Sentinel 2 utilizada para realização do mapeamento foi de suma importância para um maior detalhamento das classes presentes na paisagem dos municípios que compõem a planície costeira.

Os resultados do mapeamento permitem compreender como ocorre a distribuição dos recursos naturais existentes na planície costeira da Lagoa de Araruama, possibilitado inferências sobre os principais dinamismos presentes nessa região.

Dentre as pressões, destaca-se as áreas urbanas, que estão dispersas ao entorno de toda extensão da Lagoa de Araruama. As áreas classificadas como urbano rarefeito ao entorno de concentrações urbanas moderadas evidenciam uma tendência de crescimento populacional. Cabe destacar que esse crescimento urbano e turístico da região tende a pressionar as áreas de restinga e as áreas de salinas inativas, que já sofrem com as ameaças antrópicas e ocupações irregulares. Assim como os sistemas lagunares, que são impactados o escoamento de resíduos, acarretando no processo de eutrofização, muito relacionado ao crescimento urbano ao entorno das lagunas.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio das agências de fomento FAPERJ e CETREINA/UERJ pela concessão de bolsas para realização dessa pesquisa.

Referências

ALTMANN, A L.; ECKHARDT, R. R.; REMPELL, C. **Evolução Temporal do Uso e Cobertura da terra – Estudo de Caso no município de Teutônia – RS -Brasil**. Revista Brasileira de Cartografia, n. 61/03 p. 273-289, 2009.

ALVES, A. R. **Modelagem numérica aplicada ao estudo da origem e evolução morfológica dos esporões da lagoa de Araruama-RJ**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, Tese de Doutorado em Ciências, 2006.

ANTUNES, M. A. H.; GLERIANI, J. M. & DEBIASI, P**. Atmospheric effects on vegetation indices of TM and ETM+ images from a tropical region using the 6S model.** In: Proceedings of the IEEE IGARSS2012, Munich, pp. 6549-6552. 2012.

BERTUCCI T.P.C.; SILVA, E.P.; JUNIOR, A.N.M.; NETO, M.C. **Turismo e Urbanização: Os problemas ambientais da Lagoa de Araruama–Rio de Janeiro**. Ambiente & Sociedade, v. 19, n. 4, 2016.

BIDEGAIN, P.; BIZERRIL, C. R. S. F. **Lagoa de Araruama: perfil ambiental do maior ecossistema lagunar hipersalino do mundo.** Rio de Janeiro: SEMADS, 2002.

CRUZ, C.B.M., VICENS, R.S., SEABRA, V.S., REIS, R.B., FABER, O.A., RICHTER, M., ARNAUT, P.K.E., ARAUJO, M. **Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica na escala 1:250.000.** Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE, 2007.

DEFINIENS. **The Principles of Definiens Cognition Network Technology**. Disponível em: http://earth.definiens.com/learn/technology. Acesso em janeiro de 2010.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128p.

FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C. **Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE**. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais.** Recife – PE.p. 001 – 009. 06- 09 de maio de 2012. Acesso

em: set. 2021.

GOMES, N. F. **Análises de Circulação Hidrodinâmica e de Transporte de Sal em um Estuário Hipersalino: Lagoa de Araruama – RJ**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009. Programa de Engenharia Oceânica, 2009.

IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra. Manuais Técnicos em Geociências**. n. 7, Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

IRELAND, S. **The Holocene sedimentary history of the coastal lagoons of Rio de Janeiro State, Brazil.** In: Sea Level Changes. TOOLEY, M. & SHENNAM, I. (eds.). Oxford: Brazil Blackwell Ltd, 1987. p. 25-66.

JENSEN, JHON R**. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphanio (Cor.) *et al.* São José dos Campos, SP. 2ª Edição. 2007.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The **Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Journal of Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

LANG, Stefan; BLASCHKE, Thomas. **Análise da paisagem com SIG.** Tradução de Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LOPES, E. E. **Proposta metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para a produção de mapas.** 2009. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

MUEHE, D. **Geomorfologia Costeira**. In: Antônio José Teixeira Guerra; Sandra Baptista da Cunha. (Org.). Geomorfologia - uma atualização de bases e conceitos. 6 ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil., 2001.

NASCIMENTO, A. F.; RUBIM, I. B.; PEREIRA, E. G. S.; BARROS, R. S.; RICHTER, M..**Classificação da cobertura da terra, utilizando os programas livres: InterImage, WEKA e QuantumGIS**. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 2258-2265. CD-ROM, On-Line. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/>. Acesso em: set. 2016

ROUSE, J.; Hass, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring Vegetation System in the Great Plainswith ERTS**. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 3010-3017. 1974.

SEABRA, V. S. & CRUZ. B. M.C. **Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio São João, RJ**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 25 (2): 411-426, mai/ago. 2013.

SEABRA, V.S. **Análise da Paisagem em apoio aos estudos de favorabilidade à recuperação florestal na Bacia Hidrográfica do Rio São João.** Tese (Doutorado em Geografia). Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. 244p.

SEABRA, V.S.; AUGUSTO, R.C. **Mapeamento dos domínios geomorfológicos do litoral leste fluminense**. In: SEABRA, V.S.; AUGUSTO, R.C. (org). Dinâmicas ambientais e geoprocessamento no litoral leste do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Autografia, 2018.

SENTINEL HUB. **Laboratory for geographical information systems, Ltd.** SINERGISE, 2018. Disponível em: https://www.sentinel-hub.com/develop/documentation/eo_products/Sentinel2EOproducts. Consultado em: 26 de julho de 2018.

SILVA, A. R.; TOMASIELLO, D. B.; PRADO, B. R.; VIEIRA, M. A.; BARBARISI, B. F.; ORTIZ, M. J. **Extração da cobertura vegetal de áreas urbanas utilizando imagens do satélite GeoEye-1**. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2011, Curitiba. São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 1576-1583. CD-ROM, On-Line. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/>. Acesso em: set. 2016.

SILVESTRE, C.P.; SILVA, A.L.C. **Lagunas Costeiras Fluminenses**. Anais do XI Simpósio Nacional de Geomrofologia – UGB – União da Geomorfologia Brasileira. Maringá – PR, 2016.

TURCQ, B., MARTIN, L., FLEXOR, J. M., SUGUIO, K., PIERRE, C. & TASAYACO-ORTEGA, L. **Origin and Evolution of the Quaternary Coastal Plain Between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil**. Environmental GeochemistryofCoastalLagoon Systems. Rio de Janeiro, 6, pp. 25-46, 1999.

ANÁLISE DO USO DE IMAGENS DE SATÉLITE SENTINEL 1 NO MAPEAMENTO DA DINÂMICA DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO DA LAGOA DA CONFUSÃO, TO

Daniel Araujo Ramos dos Santos
Universidade Federal de Goiás- IESA
Rua 103b, Setor Sul, Goiânia – GO, CEP 74080180
E-mail: daniel.a.sants@hotmail.com
Luís Felipe Soares Cherem
Universidade Federal de Goiás- IESA
E-mail: luischerem@ufg.br
Lucas Espíndola Rosa
Universidade Federal de Goiás- IESA
lukasespindola@gmail.com

Resumo

O presente trabalho avaliou o desempenho do uso de imagens do satélite Sentinel 1 no mapeamento da dinâmica fluvial da região da Lagoa da Confusão, Tocantins. Foram selecionadas seis cenas geradas no ano de 2018. Com o software SNAP 6.0, foram elaborados perfis espectrais em pontos específicos conhecidos em campo, para a identificação dos limiares de retroespalhamento, seguido de fatiamento das imagens VV e VH para a extração de zonas úmidas. A análise indica a ocorrência de picos de cheias em fevereiro, sem indicação de extravasamento dos rios. É possível aferir que as zonas úmidas se estabelecem entre dezembro e fevereiro, com dinâmica relacionável com as propriedades de saturação dos Plintossolos, que cobrem grande parte da área, com limitações na capacidade de infiltração e escoamento. O mapeamento aponta redução quase que total da condição úmida natural entre os meses de junho e outubro, com a forte influência de projetos agrícolas que usam extensas áreas para subirrigação.

Palavras-chave: Radar; Geomorfologia Fluvial; Tocantins; Áreas úmidas

1. Introdução

Conhecer o comportamento dos rios e de suas áreas adjacentes foi certamente crucial para o desenvolvimento de aglomerados humanos em todo o mundo antigo. Evidências arqueológicas apontam que noções mesmo que empíricas e pontuais sobre eventos, formas e processos dinâmicos dos rios, permitiram a formulação de estratégias de controle e uso dos recursos hídricos, algo que contribuiu significativamente para a potencialização de práticas agrícolas em larga escala. Desta forma, o estabelecimento de uma economia primária baseada no uso sazonal das planícies de inundação conduziu o florescer de diversos grupos civilizatórios, como os egípcios, persas/babilônicos, hindus e chineses (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; ZHUANG; KIDDER, 2014).

No período recente, os estudos dos ambientes fluviais no Brasil só obtiveram significativos avanços a partir de 1970, em virtude dos novos paradigmas nas geociências, com caráter aplicado, que priorizavam estudos morfométricos/descritivos, sedimentológicos e hidrológicos, além de contar com fomentos estatais, que dirigiam políticas nacionalistas de integração estrutural do território (CHRISTOFOLETTI, 1981; BRASIL, 1981, VITTE, 2012). Esta perspectiva de avaliação dos recursos naturais buscou atender em larga escala, a produção de dados primários básicos de Geomorfologia, Geologia, Pedologia, Vegetação e uso e ocupação. Assim, dados do projeto RADAMBRASIL norteavam políticas públicas e interesses do capital privado nas demandas de uso e apropriação dos grandes rios, principalmente na implementação de empreendimentos hidroelétricos e projetos agrícolas nos compartimentos de planície de inundação.

Apesar dos marcos científicos e de inovação metodológica trazidos pelos estudos descritivos e regionalistas fortemente difundidos em décadas anteriores, na atualidade, a maior parte das bacias hidrográficas no Brasil só possuem análises em escala regional, que já apresentam diversas incompatibilidades com os quadros físicos e socioambientais (SANTOS, 2016). Bayley (1995) observa que semelhantemente a países de clima temperado e desenvolvidos, países em desenvolvimento, como o Brasil, copiaram em tem aplicado modelos de uso intensivo e extensivo de áreas úmidas, com pouco ou nenhum conhecimento sobre a dinâmica natural destes ambientes, como as fases de inundação, o que pode refletir em degradação e desperdícios dos potenciais destas paisagens.

O uso de imagens de satélite, processamento digital e o acesso a multiplataformas de distribuição gratuita de dados para ambiente SIG, têm promovido uma melhor associação entre conhecimentos geomorfológicos e as geotecnologias. Desta forma, a maior capacidade de processamento, dados em abordagens em multiescalas espaciais e temporais e comparações metodológicas entre pesquisadores, têm possibilitado a diferentes profissionais, a revisão de diagnósticos com a criação de mapeamentos que podem apresentar maior acurácia e melhor custo benefício, assim como o favorecimento de pesquisas independentes com menor aporte financeiro (NOVO, 2008; FLORENZANO, 2008; CARBONNEAU; PIÉGAY, 2012 BRIERLEY; FRYIRS, 2013).

O uso de dados produzidos por sensores óticos (passivos) como o *Thematic Mapper* (TM) e o *Operational Land Imager* (OLI) do sistema LANDSAT, especificamente aplicados na interpretação de alvos terrestres como a água, são amplamente utilizados nas análises de diversas paisagens terrestre (GAO, 1996; MCFEETERS, 1996; ZANI; ROSSETTI, 2012; XIAOBIAO WANG et al., 2018). Apesar do livre acesso a um conjunto de mais de 35 anos de registros da superfície terrestre, o uso destas imagens perpassa pela avaliação de restrições devido as condições atmosféricas do local e do momento em que foi produzida, já que obstruções a reflectância dos alvos pode reduzir a qualidade da resolução espacial e radiométrica (MENESES; SANO, 2011). As regiões equatorial e tropical úmido,

com condições de chuvas intensas no verão e práticas extensivas de queimadas em meses da estação de seca, possuem os ambientes de maior perturbação pelas nuvens e fumaça, que contaminam os valores de refletância com ruídos ou efeitos de sombra na superfície e longos períodos do ano, reduzindo a janela de observação temporal dos alvos (SUGAWARA et al., 2008; UDDIN et al., 2019).

Dados dos sensores de sistemas SAR - S*ynthetic Aperture Radar* – foram de grande importância nos anos de 1980 são menos impactados pela interação das intemperes atmosféricas nas imagens produzidas (UDDIN et al., 2019). Os pulsos de ondas da faixa espectral do micro-ondas (frequência de rádio) emitidos pelo sensor no decorrer do voo, têm alta capacidade de penetração de nuvens. Estas características possibilitadas pelo uso de bandas específicas (X, C, P e L), acessam diferentes estratos de coberturas arbóreas e aquáticas (BISHOP, 2013; SERVELLO et al., 2015). A missão SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* - foi sem dúvida, os dados SAR mais conhecidos e utilizados nas geociências nas últimas décadas, por oferecerem informações topográficas de boa parte do globo, o que viabilizou importantes avanços nos estudos fluviais e ambientais (VALERIANO, 2008). Com o surgimento de iniciativas globais de agências espaciais, outros produtos derivados de SAR têm sido disponibilizados de forma gratuita, como dados do satélite Alos (sensor Palsar) (ENGLHART et al., 2011), e do Sentinel 1 (UDDIN et al., 2019).

A partir de pesquisa bibliográfica, notou-se que os poucos trabalhos que têm utilizado dados SAR em estudos de ambientes fluviais no Brasil, concentram-se na região amazônica, sendo praticamente inexistentes pesquisas com este tipo de informação no bioma Cerrado e áreas adjacentes. Desta forma, o presente trabalho buscou fazer a avaliação do desempenho das imagens do satélite Sentinel 1, no mapeamento da dinâmica fluvial da região da Lagoa da Confusão (Figura 1), no ano de 2018.

Este trabalho buscou testar a viabilidade metodológica do uso de dados SAR do satélite Sentinel 1 no mapeamento de áreas úmidas em uma região de clima tropical com expressivos impedimentos atmosféricos nos meses de maior intensidade de precipitação (novembro a abril). A área delineada abrange porções da zona de transição entre os biomas de Cerrado e Floresta Amazônica, com contato na borda leste da ilha do Bananal. Com aumento significativo do uso extensivo da planície de inundação nos últimos 40 anos, pela implementação de monoculturas temporárias, pesquisas de cunho básico sobre o cenário recente dos compartimentos geomorfológicos podem ser importantes indicadores de comportamento da dinâmica natural de inundação e retração das águas, e possíveis influências de atividades econômicas.

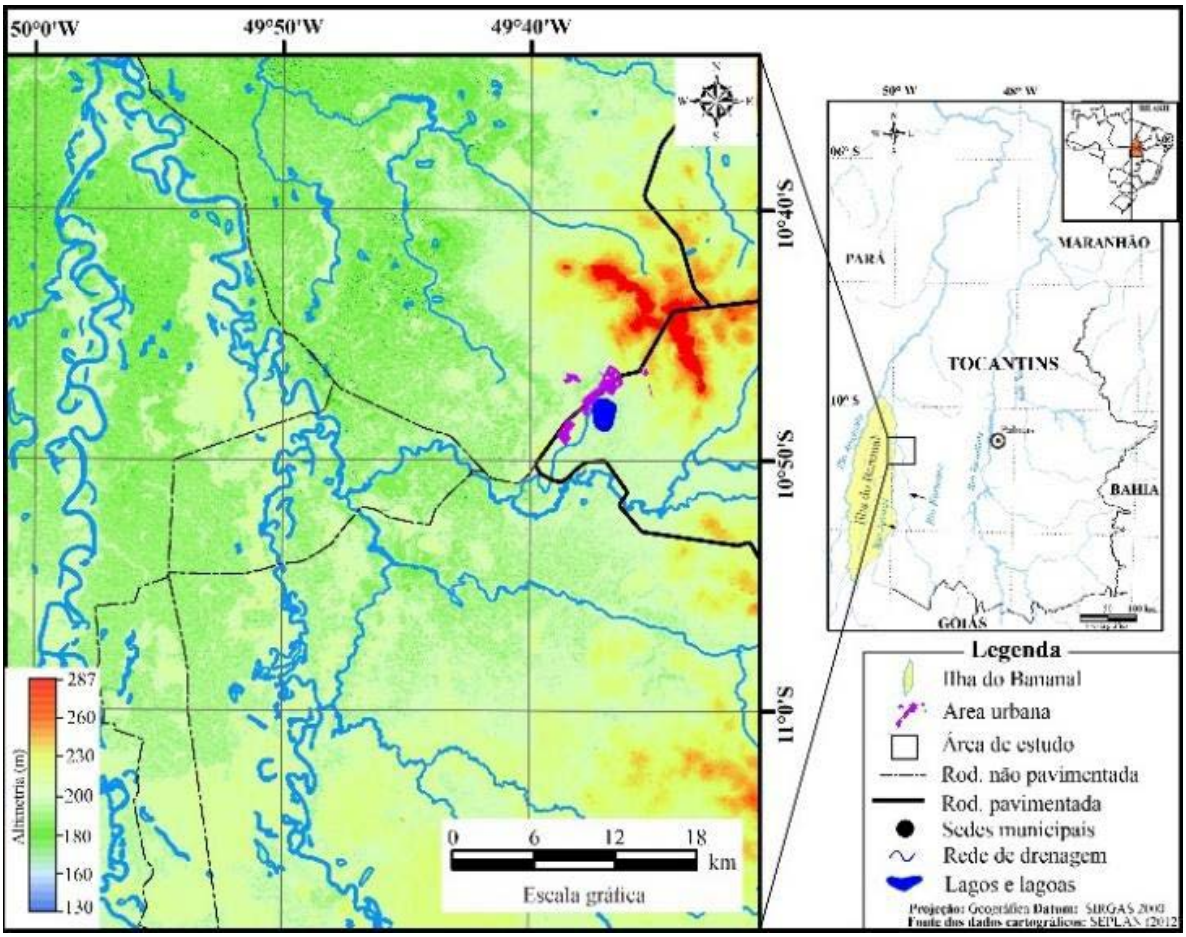


FIGURA 1: Localização e Informações topográficas da área de estudo.

1.1 Área de estudo

A área de estudo definida para a análise está localizada na porção sudoeste do estado do Tocantins, e envolve partes dos municípios de Lagoa da Confusão, Santa Rita do Tocantins e Dueré. O retângulo envolvente definido situa-se entre os paralelos 11° 08' 42" S e 10° 33' 56" S e meridianos 50° 01' 16" W e 49° 30' 49" W (Figura 1). O recorte envolve uma parte da área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Javaés e de seu principal afluente, o rio Formoso, que fluem paralelamente no sentido norte-sul, e respondem a drenagem de uma porção significativa do médio curso da bacia do rio Araguaia. Esta área amostral apresenta ambientes de destaque em biodiversidade faunística e florística de ambiente de transição Cerrado-Amazônia. No quadro econômico, destaca-se o uso das planícies de inundação que comportam grandes projetos de irrigação por inundação e sub-irrigação, inicialmente financiados pelo PRODECER (Programa de Desenvolvimento do Cerrado) nos anos de 1980. Novas iniciativas de fomento têm ampliado a capacidade de produção nas últimas décadas, com PRODOESTE e o MATOPIBA, viabilizando recursos públicos para a abertura de novas áreas, elevando o controle da inundação natural dos rios da região (SOUZA.; BARROS, 2019). Destaca-se também ações exploração mineral de jazidas de Ferro, Calcário e Cristal de Quartzo na região (SEPLAN, 2012; SANTOS, 2016).

2. Materiais e métodos

Para a realização da pesquisa, foram adotados e adaptados procedimentos metodológicos descritos em trabalhos que utilizaram imagens SAR no mapeamento de alvos dinâmicos na superfície, como SERVELLO et al. (2015), que identificaram assinaturas de retroespalhamento de alvos, para a classificação de uso do solo no estado do Acre. Também o trabalho de Ferreira (2018), que mapeou as áreas úmidas no estado de Roraima. A partir destas análises, elaborou-se um fluxograma (Figura 2), com as etapas e procedimentos realizados: 1) levantamento, 2) processamento e composição de banco de dados 3) Processamento e análise 4) Modelo de inundação.

Foram realizados também o levantamento de informações fisiográficas da área de estudo, como dados vetoriais e relatórios técnicos de Geomorfologia e Pedologia, gerados pela Secretaria de Planejamento do estado do Tocantins (SEPLAN); dados geológicos do Serviço Geológico do Brasil (SGB), da folha Santa Teresinha (SC 22-Z-A), na escala de 1:250.000; dados de precipitação, coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), gerados na estação de Porto Nacional, TO, única estação com série histórica disponível dentro das cenas processadas.

As imagens Sentinel 1 foram coletadas gratuitamente no site da *Alaska Sattelite Facility* (ASF, 2019), que disponibiliza os dados do modo *interferiometric Wide Swath* (IW) e produto *Ground Range Detected (GRD),* em nível 1 de processamento da banda C, que possui polarização dual V (VV, VH). Foram selecionadas imagens geradas no ano de 2018, com intervalos de dois meses: fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro. Os dados foram pré-processados no *Software Sentinel Application Platform* (SNAP 6.0), desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pela ESA. Conforme a figura 2, foram aplicados correções nativas deste *software* (do conjunto S1TBX): 1) a aplicação de arquivo de orbita, que busca refinar as informações de posição e velocidade do satélite; 2) a calibração radiométrica, que modifica as informações de amplitude e intensidade dos valores, para pixels condizentes aos valores de retroespalhamento, e desta forma, a imagem modificada possibilita a identificação e diferenciação de alvos em séries temporais; 3) a aplicação da ferramenta de geocodificação e correção de Terreno (*range-Doppler Terra Corretion*), que ortoretifica as imagens polarizadas a partir de dados derivados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Os dados do satélite Sentinel 2 foram adquiridos na plataforma de download *LandViewer*, uma interface de web que permitiu a seleção de imagens com menor percentual de cobertura de nuvens no ano de 2018, sendo duas no período de chuvas (fevereiro e abril), e duas do período de seca (junho e setembro). Os dados foram pré-processados no *software* Qgis 3.6, por meio da ferramenta SCP plugin, com aplicação de correção atmosférica, conversão em 16 bits e criação de diversas composições RGB.

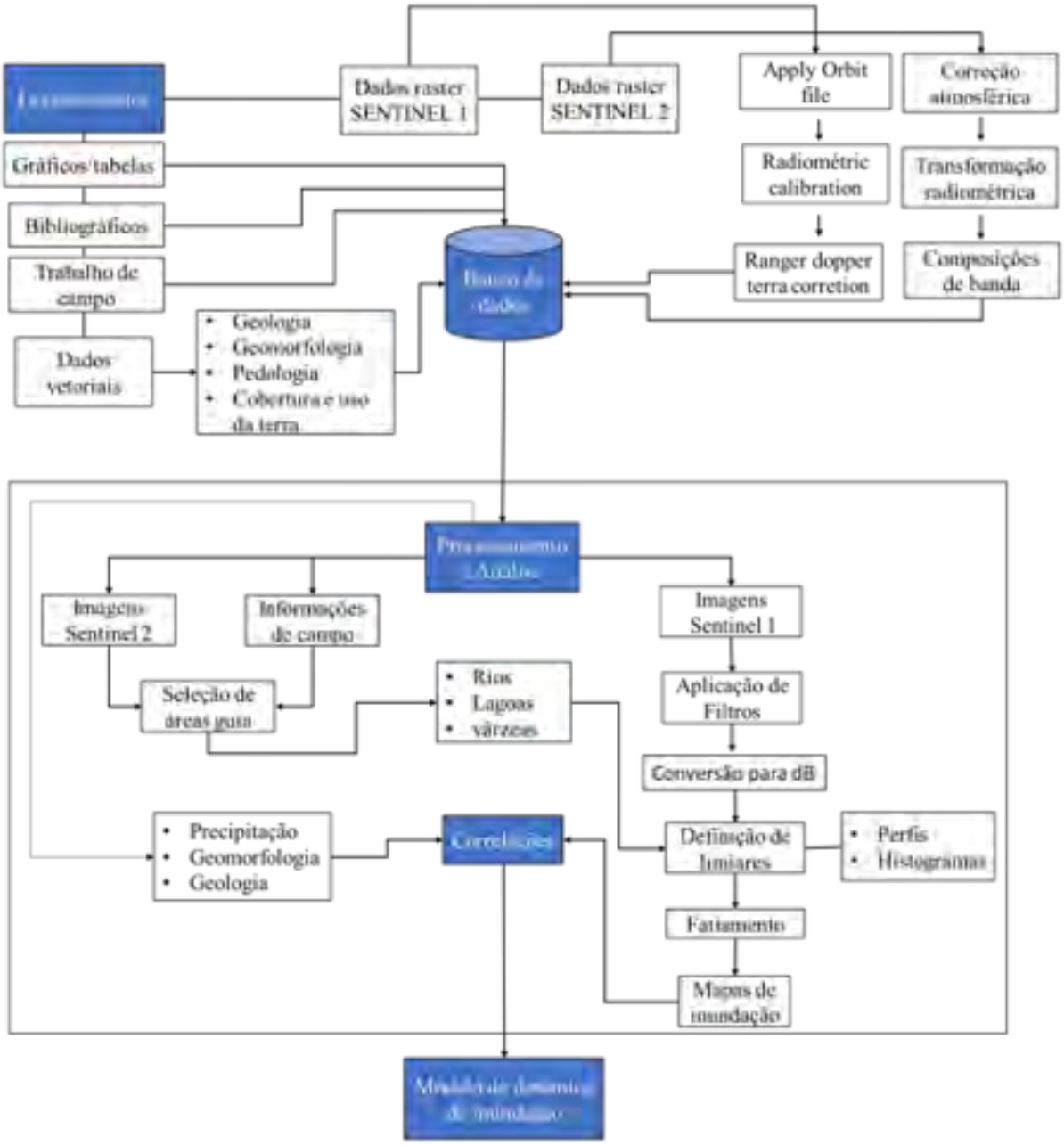


Figura 2: Fluxograma com descrição dos procedimentos metodológicos adotados.

Segundo e Meneses e Sano (2011) e Ferreira (2018), as imagens SAR possuem ruídos gerados pelas características geométricas dos alvos registrados e incapacidade de leitura do sensor ativo. O ruído do tipo *speckle* é apresentou-se nas imagens, gerando características granulares, e segundo estes autores, pode gerar interferências construtivas ou destrutivas, respectivamente pixels mais claros ou mais escuros, que destoam da média dos vizinhos, situação que pode dificultar o fatiamento e interpretação do coeficiente de retroespalhamento. Desta forma, diversos trabalhos sugerem o uso de filtros adaptativos na redução de ruídos. Aplicou-se nas imagens pré-processadas o *filtro Lee*, ferramenta bastante utilizada em imagens SAR, com objetivo de realçar as feições de interesse e preservar as bordas (contato entre feições) por meio de convolução da imagem original em uma janela de 7x7 (pixels).

Com a formação do banco de dados, passou-se para a fase de processamento e análise, com a determinação de pontos amostrais que auxiliaram o controle do fatiamento de áreas úmidas, como lagoas e rios. Assim, utilizou-se informações de registros de trabalhos de campo e algumas localidades, cuja as condições hidrogemorfológicas foram descritas e monitoradas por Santos (2016) e Pereira (2016). Estes relatos, junto com a observação da série de imagens do Sentinel 2 contribui também na determinação destes pontos de controle. No SNAP, foram elaborados perfis longitudinais transversais sobre aos pontos marcados, sendo feito a coleta dos valores de retroespalhamento.

No processamento (Figura 2), as imagens SAR filtradas foram convertidas de números flutuantes (32 bits) para decibéis (dB), conforme aponta SERVELLO *et al.* (2015), para determinação dos limiares de retroespalhamento espelhado, que corresponde a resposta espectral de ambientes úmidos (MENESES; SANO, 2011; FERREIRA; 2018). Os valores médios limitadores usados no fatiamento de ambientes úmidos foram -20 dB para imagens VH e -13dB imagens VV. A partir dos valores máximos e mínimos identificados sobre os alvos, as bandas polarizadas foram fatiadas na calculadora raster do SNAP (*Band math*). As imagens binárias geradas (1 = área úmida; 0 = sem saturação de água), foram transformadas em vetores pela operação de reclassificação, quantificação e análise estatística no Qgis, através do plugin *GroupStats*. Na calculadora do Qgis, aplicou-se a operação de soma da série temporal, o que permitiu ainda uma melhor definição das áreas susceptíveis aos pulsos de inundação durante o ano avaliado.

Os dados de áreas inundadas foram organizados em uma planilha, que permitiu a geração de gráficos comparativos e resumos estatísticos descritivos. Também foi feita a análise de correlação espacial dos *layers* gerados, por meio de sobreposição de informações no software Qgis. O Gráfico apresentado na figura 3 sintetiza os dados de área por banda polarizada, e relaciona com as informações mensais de precipitação acumulada em 2018, e os valores estabelecidos na normal climatológica mais recente na estação de Porto Nacional (1980-2010) (Figura 3).

3. Resultados e discussões

3.1 Descrições gerais

A área de estudo selecionada possui 3.591 km^2 e perímetro de 240 km. Estes ambientes de acumulação apresentam relevo predominantimente plano e suave, com aplitude topográfica (262m -131 m) de 131 m. A maior parte da área corresponde a depósitos sedimentares do Quaternário, com genêse associada a dinâmica de deposição fluvial (SANTOS, 2016). Frasca e Lima (2010) apresentaram o mapeamento destes depósitos, organizados em três grandes conjutos: 1) depósitos Aluvionares, originados da migração lateral dos rios, com a formação de planícies de meandros, 2) Formação Araguaia com fáceis arenosa e laterítica; 3) Coberturas detrito-lateríticas, material areno-argiloso, com horizonte concrecionário e ferruginoso inconsolidado..

As porções mais elevadas a leste da área (entre as cotas 220 e 287 m) correspondem a unidade geológica Couto Magalhães, de idade neoproterozoica (700 milhões), que reunine predominantemente rochas como Metassiltitos, Metargilitos e Filitos. Ainda nesta formação, rochas cabornáticas dolomiticas são aflorantes nas proximidades de Lagoa da Confusão, na forma de morros residuais entre as coberturas aluvionares (FRASCA; LIMA, 2010; PEREIRA, 2016).

Três classes de subordens de solos são definidas na área de estudo. Os PLINTOSSOLOS correspodem a maior parte da cobertura pedológica (87,5%), sendo os PLINTOSSOLOS PÉTRICOS (25%) predominantes na porção oeste, sobre a formação Couto Magalhães, e os PLINTOSSOLOS HÁPLICOS (FX), recorrentes

na planície de inundação, sobre os pacotes sedimentares da formação Araguaia. Os horizontes plínticos presentes nestas subordens, com espessura de 1 a 2 m (PEREIRA, 2016), atuam como barreiras físicas, que impossibilitam maior mobilidade da água as para camadas inferiores, e juntamente a baixa declividade do terreno, estabelecem saturação rápida das camadas superficiais (OLIVEIRA, 2014).

Os GLEISSOLOS HÁPLICOS (GX) é a ordem pedológica que se desenvolve junto as planícies aluviais dos rios, com horizonte de diagnóstico glei (hidromórfico) e camadas mosqueadas de ox-redução de ferro, e devido a condições estruturações prismáticas, estabelecem ambientes mal drenados (PEREIRA, 2016).

3.2 Análise das imagens

O clima da região é caracterizado como úmido com moderada deficiência hídrica, apresentando duas estações bem definidas: inverno com estiagem de 4 a 5 meses sem precipitação, ocasionando as secas dos rios; e o verão com chuvas com início em setembro, intensificando-se até abril do ano seguinte, com precipitação acumulada de 1700 - 1800 mm anuais (SANTOS, 2016).

O mês que apresentou os maiores valores de área mapeada nas duas polarizações foi fevereiro de 2018, que acumulou uma precipitação de 267mm. Este valor ficou abaixo do esperado para o período, quando comparado a normal climatológica (333mm). Entre os meses de fevereiro e abril, com a redução dos níveis de precipitação, ocorreu também a diminuição de áreas úmidas. A polarização VH apresentou redução de 30% (243 km² para 171 km²), enquanto que a imagem VV possuía 44% de área.

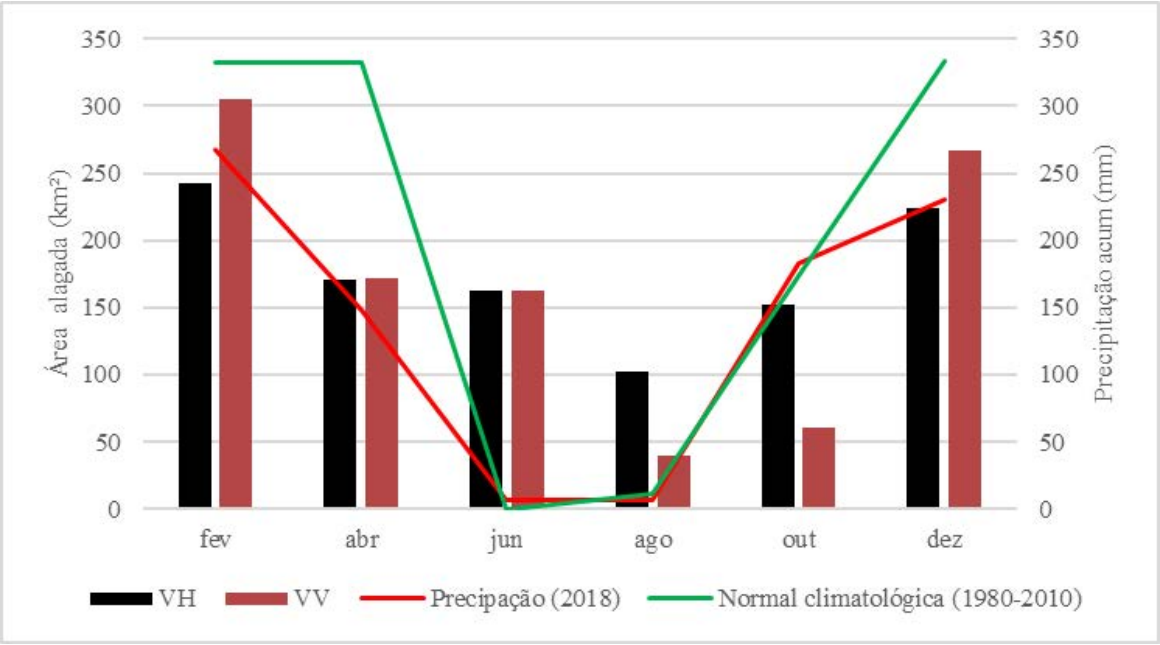


FIGURA 3: Dados de áreas de inundação mapeados (barras) e precipitação (linhas) da estação de Porto Nacional, TO.

O período entre abril e junho apresentou áreas úmidas com praticamente os mesmos valores nas duas polarizações, com uma redução de 5%. Entre junho e agosto, os dados da imagem VV já apresentam forte regressão de 75%, o que corrobora com o registro quase zero de chuvas neste período, e apresenta os menores valores de área na série temporal observada (figura 3). Quando comparado a fevereiro, a redução em agosto chegou a 265 km² na imagem VV e 140 km² na VH.

Com as primeiras chuvas, a partir de setembro, as bandas analisadas apresentam retorno de áreas úmidas, sendo VH com 55 km² e 60 km² em VV. Entre outubro e dezembro, um novo ciclo de chuvas se consolida, com precipitação registrada de 174 mm, valor próximo ao esperado para este período na normal climatológica (180mm/mês). Ainda neste período, nota-se aumento geométrico de área nos dados VH (50%), que acompanha a tendência do período anterior, e aumento irregular de 300% na imagem VV.

As imagens geradas para cada período avaliado, foram somadas na calculadora raster do Qgis, e assim, obteve-se mapas que indicam o grau de permanência da influência hídrica sobre a superfície. Desta forma, foi possível identificar: 1) áreas sem ocorrência de inundação ou saturação de solo; 2) áreas que apresentam saturação dinâmica de águas entre dois e quatro meses no ano; 3) áreas com dinâmica aquática perene. Os resultados da soma dos dois tipos de polarização de imagens (figura 4), apresentaram uma correlação positiva, com R^2= 0,99. Conforme destacado por SERVELLO et al. (2015), também se observou maior sensibilidade da polarização VV na identificação de ambientes aquáticos perenes.

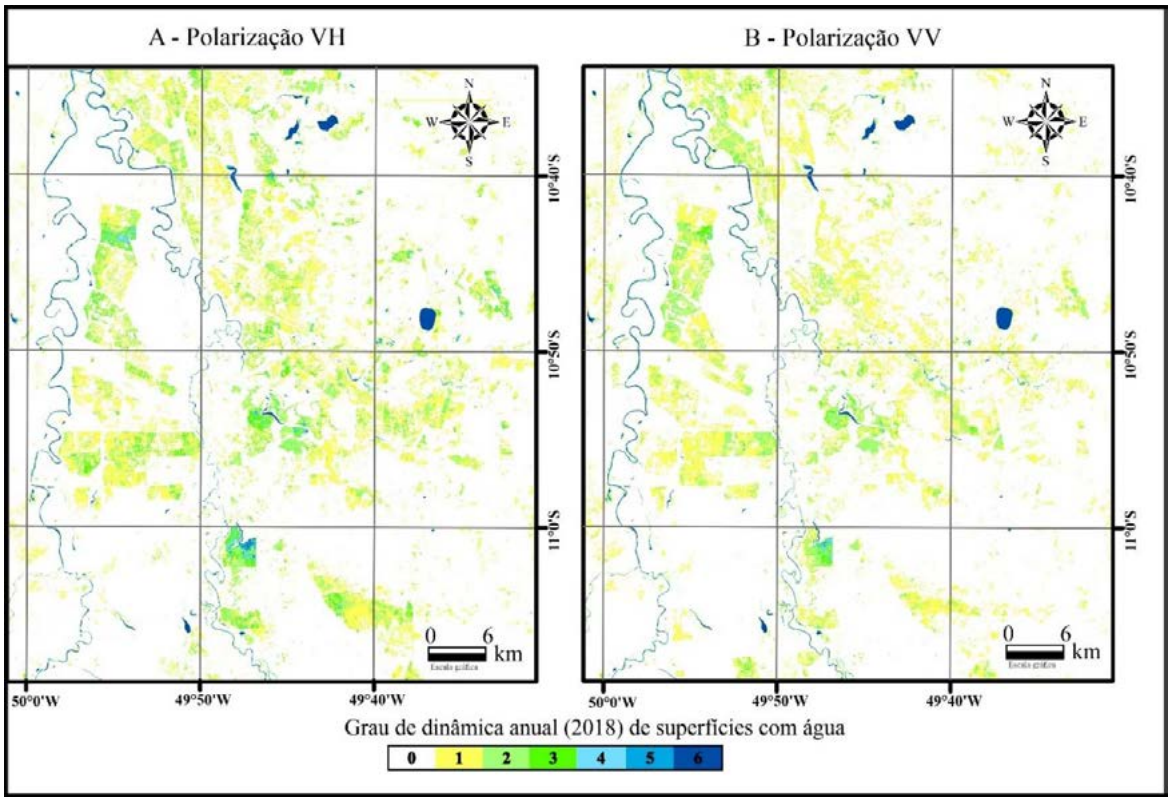


FIGURA 4: Mapas com a espacialização da dinâmica anual de cobertura aquática (2018) por polarização.

A polarização VV indica que 83% da área mapeada não está sujeita a períodos de inundação (grau 0). As áreas com grau 1 e 2 e 3, foram consideradas ambientes com mudanças nas condições hídricas de forma sazonal, relacionados a menor e maior precipitação mensal. Foram predominantemente observadas sob as superfícies geomorfológicas da planície (planícies de fluxo impedido), com cota inferior a 180 m, em áreas de Plintossolos háplicos, com baixa drenagem e declividade (SANTOS, 2016). Assim, entende-se que estes ambientes apresentam valores de umidade do solo elevados devido a saturação dos horizontes superficiais, com impossibilidades de percolação da água para horizontes inferiores, devido ao caráter plíntico e litoplíntico constantes nesta ordem pedológica (OLIVEIRA, 2014; PEREIRA, 2016).

Áreas de inundação controladas por projetos agrícolas foram mais recorrentes no grau 2 e 3, e apesar de apresentarem confusão espectral com lâminas aquáticas, foram possíveis de serem identificados a partir da interpretação das feições geométricas, retangulares e poligonais, além de informações de campo e sobreposição as imagens do Sentinel 2. Os dados referentes a agosto e setembro apresentaram saturação hídrica nestas áreas, o que corrobora com períodos de plantio e colheita de culturas temporárias irrigadas.

As áreas que apresentam valores entre 5 e 6 foram considerados sistemas hídricos perenes, como rios e lagoas. A partir da aproximação em zoom sobre algumas porções mapeadas dos canais, foi possível observar zonas de permanência e recuo de água durante o ano na calha dos grandes rios, como observado a formação de ilhas e barras sedimentares (com retroespalhamento oposto ao da lâmina d'água). Nestas observações de detalhe não foi possível identificar na série determinada a conectividade direta entre o excedente fluvial do canal com a planície aluvial. Esta dinâmica natural será melhor observada e caracterizada em trabalhos sequenciais.

Os dados em zonas dos rios e lagoas corroboram com outras pesquisas, como de Pereira (2016), Santos (2016) e Rodrigues et al. (2017), que observaram que as lagoas da região apresentam perenidade no decorrer do ano, situação oposta até nos rios e grande porte, conservando a maior parte de lâmina d'água.

4. Considerações finais

O presente trabalho buscou avaliar o potencial de uso das imagens do satélite Sentinel 1 no mapeamento da dinâmica fluvial da região da Lagoa da Confusão, TO. Desta forma os resultados preliminares neste ensaio, apresentaram-se promissores, sendo possível considerar que:

As imagens polarizadas VV e VH da Banda C que foram selecionadas para o estudo apresentaram alta correlação estatística e espacial, com valores de retroespalhamento espelhado de corpos hídricos e ambientes úmidos coerentes com áreas observadas em campo e no registro de imagens ópticas. A observação da série temporal montada, indica que a polarização VV apresentou melhores valores da influência hidrica no período de chuvas, e menores valores na estação seca. Já VH, abrangeu áreas além das zonas aluviais, com menores taxas de redução entre periodos, conservando mais áreas teóricamente com maior umidade durante a estiagem.

Os dados apontam que a dinâmica de inundação pode está fortemente controlada pelas condições de rápida saturação do solo, com diminuição acentuada das porções úmidas em um curto período de tempo. Os dados espacializados nos mapas de dinâmica de cobertura aquática, apontam que pouco mais de 10 km² das superfícies mapeadas apresentam constância nas condições fluviais no período de um ano, sendo a maiores partes constituídas por rios que secam e cortam seu fluxo. Assim, a maior porção da área de estudo não apresenta saturação hídrica, e 14% entre as zonas úmidas mapeadas, apresentam rápidas mudanças no decorrer das estações climáticas.

Referências bibliográficas

BAYLEY, P. B. Understanding large river: floodplain ecosystems. **BioScience**, v. 45, n. 3, p. 153-158, 1995.

BISHOP, M. P., Remote sensing and GIScience in geomorphology: Introduction and overview. In: J. Shroder (editor in chief), M.P. Bishop (ed.), **Treatise on Geomorphology**. Vol. 3. Remote Sensing and GIScience in Geomorphology. Academic Press, San Diego: 2013. p. 1–24.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**: Folha SC.22 Tocantins: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL. Série: Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro, v. 22, 520 p., 1981.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and river management:** applications of the river styles framework. John Wiley & Sons, 2013.

CARBONNEAU, P.; PIÉGAY, H. **Fluvial remote sensing for science and management.** John Wiley & Sons, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. v. 1, São Paulo, Edgard Blücher, 1981.

ENGLHART, S.; KEUCK, V.; SIEGERT, F. Aboveground biomass retrieval in tropical forests—The potential of combined X-and L-band SAR data use. **Remote sensing of environment**, v. 115, n. 5, p. 1260-1271, 2011.

FERREIRA, G. H. S. Identificação de áreas inundáveis na porção sul de Roraima com auxílio de imagens de radar. 2018. 75 f., il. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia:** Conceitos e tecnologias atuais. 1. ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

FRASCA, A. A. S; LIMA, H. A. **Carta geológica folha SC. 22-Z-D - Gurupi**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Goiânia, 2010. Escala: 1:250.000.

GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, v.58, p.257-266, 1996.

JUNK, W. J. Áreas inundáveis: um desafio para limnologia. **Acta Amazonica**, v.10, n.4, p. 775-795. 1980.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International journal of remote sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

MENESES, P., R; SANO, E., E. Sensor Radar de abertura sintética. IN: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2011.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**, 2ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, v. 308, 2008.

OLIVEIRA, K. B. M. Estudo dos fluxos hídricos do entorno da Lagoa da Confusão - TO. 2014, 196 f. **Dissertação** (mestrado em Ciências do Ambiente) - Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, 2014.

PEREIRA, G. C. Contribuições à geomorfologia da Lagoa da Confusão – TO. 2016. 125f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Nacional, 2016.

RODRIGUES, W. B.; MORAIS, F.; PASCHOAL, L. G. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) calculado para estações chuvosas e secas na bacia do Córrego Barreiro, Lagoa da Confusão–TO. SBGFA - **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 254-263, 2017.

SANTOS, D. A. R. A rede de drenagem e seu significado geomorfológico: anomalias de drenagens e tectônica recente na bacia do rio Formoso, Tocantins. 2016, 157f. **Dissertação** (Mestrado), Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2016.

SERVELLO, E. L.; SANO, E. E.; PANTOJA, N. V. Sentinel-1 SAR: efeito de filtros espaciais no estudo do uso do solo amazônico.

In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais**.... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 5173-5179.

SOUZA, L.; BARROS, J. Agronegócio e ambiente no Cerrado tocantinense: um panorama dos municípios com base em indicadores. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 13, n. 1, p. 124-149, abr. 2019.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. Oficina de Textos, 2017.

SUGAWARA, L. M.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M. Viabilidade de uso de imagens do Landsat em mapeamento de área cultivada com soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1777-1783, 2009.

UDDIN, K.; MATIN, M. A.; MEYER, F. J. Operational flood mapping using multi-temporal sentinel-1 SAR images: a case study from Bangladesh. **Remote Sensing**, v. 11, n. 13, p. 1581, 2019.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA:** guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. Acesso em: 17 de outubro de 2010. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia_enx.pdf>.

VITTE, A. C. A construção da geomorfologia no Brasil. **Revista brasileira de geomorfologia**, v. 12, 2012.

ZANI, H.; ROSSETTI, D. F. Multitemporal Landsat data applied for deciphering a megafan in northern Amazonia. **International Journal of Remote Sensing** (Print), v. 33, p. 6060-6075, 2012.

ZHUANG, Y.; KIDDER, T. R. Archaeology of the Anthropocene in the Yellow River region, China, 8000–2000 cal. BP. **The Holocene**, v. 24, n. 11, p. 1602-1623, 2014.

ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS PERIURBANAS POR MEIO DE MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO: O CASO DA BACIA DO CÓRREGO PAU D'ALHO

Leonardo da Silva Thomazini
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Unesp, Presidente Prudente
R. Roberto Símonsen, 305 - Pres. Prudente - SP, CEP: 19060-900
E-mail: l.thomazini@unesp.br
Cenira Maria Lupinacci
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Unesp, Rio Claro
Av. 24 A, 1515 - Bela Vista, Rio Claro - SP, CEP: 13506-700
E-mail: cenira.lupinacci@unesp.br

Resumo

O avanço científico e tecnológico, consequentemente da técnica e da economia, tem proporcionado mudanças significativas na paisagem, em especial no relevo. As alterações naturais, que antes ocorriam no tempo geológico, passam a ocorrer no tempo de vida humano, intensificando a morfodinâmica. Entre os espaços de maior transformação antrópica, destacamos o urbano, em especial as áreas periurbanas, estudadas pela geomorfologia urbana. Uma das formas de se compreender as mudanças do relevo é por meio do mapeamento geomorfológico, capaz de identificar as feições geomorfológicas e os processos erosivos. Assim, este trabalho tem por objetivo analisar os processos erosivos em áreas periurbanas através do mapeamento geomorfológico, tendo como objeto de estudo a bacia hidrográfica do Córrego Pau D'alho, localizado no município de Bauru, do estado de São Paulo. Com isso, foram identificados as feições geomorfológicas e o desenvolvimento dos processos erosivos intensificados pela urbanização

Palavras-chave: Geomorfologia urbana; Degradação ambiental; Mapa geomorfológico.

Introdução

O desenvolvimento tecnológico e científico presenciado a partir da segunda metade do século XX, e intensificado nos últimos anos, gerou uma nova dinâmica na transformação do espaço.

Tais mudanças provocam impactos à natureza, gerando o interesse de diversas ciências, como a ecologia, a engenharia e a arquitetura, objetivando a identificação, compreensão e análise dos efeitos das ações humanas.

Na ânsia de respostas aos fenômenos oriundos das ações antrópicas, a pesquisa geográfica encontra respaldo também nos estudos geomorfológicos, por estes se preocuparem com os processos morfodinâmicos do relevo, relacionados ao curto tempo de alteração. Este processo se destaca no contexto histórico atual, de desenvolvimento tecnológico e científico, se impondo, muitas vezes, sobre a escala de tempo geológico (SUERTEGARAY; NUNES, 2001).

O potencial da ação humana em transformar o meio natural ocorre devido a alteração dos fluxos energéticos na relação dos elementos de um sistema, quer seja pelo aumento do fluxo hídrico, pela retirada da vegetação ou mesmo pela implementação de atividades econômicas. A isto, Ross (2009) salienta que:

A ação humana, ao apropriar-se do território e de seus recursos naturais, causa grandes alterações na paisagem natural com um ritmo muito mais intenso que aquele normalmente produzido pela natureza. As intervenções humanas alteram as intensidades dos fluxos energéticos e, com isso, geram impactos na natureza (ROSS, 2009, p.53).

Entre os componentes da natureza susceptíveis à ação antrópica, o relevo destaca-se por apresentar características diversas, capazes de influenciar os tipos e formas de ocupação humana, quer seja na orientação do traçado das rodovias, na implantação das cidades, bem como nos tipos de atividades agropecuárias (ROSS, 2009). Deste modo, o relevo pode facilitar ou dificultar os usos que o homem faz sobre o mesmo.

A urbanização constitui-se em uma das mais intensas formas de alteração da paisagem através das ações antrópicas. Isto se deve ao fato de que, para a instalação das estruturas urbanas, o homem tem desmatado, alterado o curso dos rios e alterado as feições do relevo, a fim de proporcionar uma melhor condição de ocupação. Em consequência, a concentração populacional e a intensificação das atividades sociais geram resíduos poluentes capazes de prejudicar a saúde humana, tornando intrínseco a relação entre instalação e expansão das cidades com modificações ao meio ambiente (MOTA, 2011).

A rapidez das transformações é tão significativa que muitos fenômenos geomorfológicos passam a ser considerados no tempo de vida humano (PELOGGIA, 1998). Este curto espaço de tempo em que se refletem as consequências das ações humanas passam a ter respaldo na Geomorfologia Urbana, preocupada em compreender a relação existente entre os fatores do meio físico e os impactos provocados pela ocupação humana (JORGE, 2011, p. 131), com a identificação das novas morfologias tecnogênicas e a busca do "conhecimento das potencialidades e limitações do meio físico, diante das intervenções antrópicas" (RODRIGUES; GOUVEIA, 2013, p. 70). Para isto, tal "conhecimento deve levar em consideração que cada sistema físico e seus subsistemas, apresentam características singulares, e, por isso, responde de forma diferenciada às diversas modalidades de intervenção antrópica" (RODRIGUES E GOUVEIA, 2013, p. 70).

Estudos que visam identificar o modelado antrópico do relevo, correlacionando os processos com as ações humanas, se desenvolvem em diversos centros de pesquisas, como no trabalho de Krapivina e Ryashchenko (2008), os quais apresentam formas tecnogênicas do relevo, como erosões lineares, na cidade de Bratsk (Rússia); no trabalho apresentado por Kukharik et al. (2020) é proposto uma classificação uma classificação do relevo tecnogênico no sudoeste da Bielorrússia.

No deserto de Sonoran, Arizona (EUA), Jeong e Dorn (2018) estudaram o desenvolvimento de processos erosivos decorrentes das transformações territoriais, constando um elevado aumento das erosões onde houve a expansão da urbanização. Já o mapeamento geomorfológico foi utilizado por Cama et al. (2020) na identificação da suscetibilidade à erosão do solo da bacia Meskay (Etiópia), afluente do rio Nilo, ao considerar que a erosão do solo é um dos problemas globais mais importantes, com sérios efeitos na agricultura e na qualidade da água.

A análise integrada do meio, ou seja, a abordagem dos sistemas físicos e sociais, indicam uma abordagem holística do objeto estudado. Deste modo, a investigação científica das ações humanas sobre a natureza encontra respaldo teórico-metodológico na Teoria Geral dos Sistemas, introduzida na geomorfologia nos anos de 1960 (CHOLEY, 1962) permitindo, segundo Fuini (2011), superar dicotomias ao estruturar a análise nas formas das organizações físicas, das ideias, valores e cultura.

Diante disso, este trabalho tem por objetivo, analisar o desenvolvimento dos processos erosivos em áreas periurbanas, através do mapeamento geomorfológico. A fim, de alcançar tal objetivo, foram realizados mapeamentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do córrego Pau D'alho, localizado no município de Bauru, estado de São Paulo.

O uso das bacias hidrográficas como objeto de estudo justifica-se pela sua capacidade de delimitação territorial:

[...] a abordagem relacionada com a análise integrativa, na escala local ou regional, representa exemplo da aplicabilidade da concepção holística. Essa concepção abrange a totalidade do sistema, servindo como exemplo o planejamento de bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 2008, p.427).

Assim, a bacia hidrográfica é uma unidade espacial valiosa para se estudar as transformações da paisagem, relacionando os aspectos naturais com os antrópicos, por ser nesta onde se manifestam os resultados dos agentes modeladores. Além disso, constata-se uma tendência internacional de usar as bacias hidrográficas como unidade de planejamento (MOTA, 2011).

Área de estudo

O desenvolvimento da sistemática proposta se deu a partir do estudo da bacia hidrográfica do Córrego Pau D'alho, localizada na cidade de Bauru, no Centro-Oeste paulista. Situada em uma posição geográfica privilegiada, no coração do estado de São Paulo, Bauru foi presenteada com a instalação de três importantes linhas férreas no início do século XX, a Noroeste do Brasil, Companhia Paulista e a Estrada de Ferro Sorocabana, constituindo assim, em um entroncamento ferroviário.

Atualmente, constitui-se em uma cidade média, de grande importância regional para o comércio e com indústrias de abrangência mundial. Mesmo com o sucateamento da ferrovia e a expansão da rodovia, sua localização continua marcando sua função logística dentro do estado, possuindo umas das principais rodovias (rodovia Marechal Rondon, SP-300) que liga o centro-oeste paulista à capital e ao aeroporto Moussa Tobias, o qual possui voos diários das principais companhias aéreas do país.

Por estar nos limites urbanos, a bacia do córrego Pau D'alho constitui-se em uma bacia periurbana, a qual tem demonstrado elevada dinâmica das atividades humanas, quer seja pelas práticas comerciais alavancadas pela sua localização favorável ao escoamento de mercadorias, como pela expansão urbana, mediante a valorização territorial ocasionada pelas melhorias estruturais urbanas.

Contudo, a urbanização, que se caracteriza por ser de média e baixa renda, avança sobre um relevo historicamente marcado pelo desenvolvimento de processos erosivos, como sulcos, ravinas e voçorocas, agravando a condição social nos bairros ali existentes. Assim, a infraestrutura urbana se mostra deficitária em comparação com as exigências da população, apresentando ruas não asfaltadas e moradias em áreas irregulares e sem saneamento básico.

A bacia do córrego Pau D'alho possui uma área de aproximadamente 13,27 km^2, (Figura 1), sobre formações geológicas pertencentes ao Grupo Bauru, localizada no compartimento geomorfológico do Planalto Ocidental Paulista, o qual se insere na Bacia Sedimentar do Paraná.

Segundo o IPT (1981b), o Planalto Ocidental apresenta entalhamento médio dos vales, inferior a 20m, colinas amplas com extensos interflúvios, na ordem de 1.750 e 3.750m, vertentes de perfis retilíneos e convexos com declividades médias, predominando os valores entre 2 e 10%, topos aplainados e drenagem de baixa densidade, com padrão subdentrítico e vales abertos.

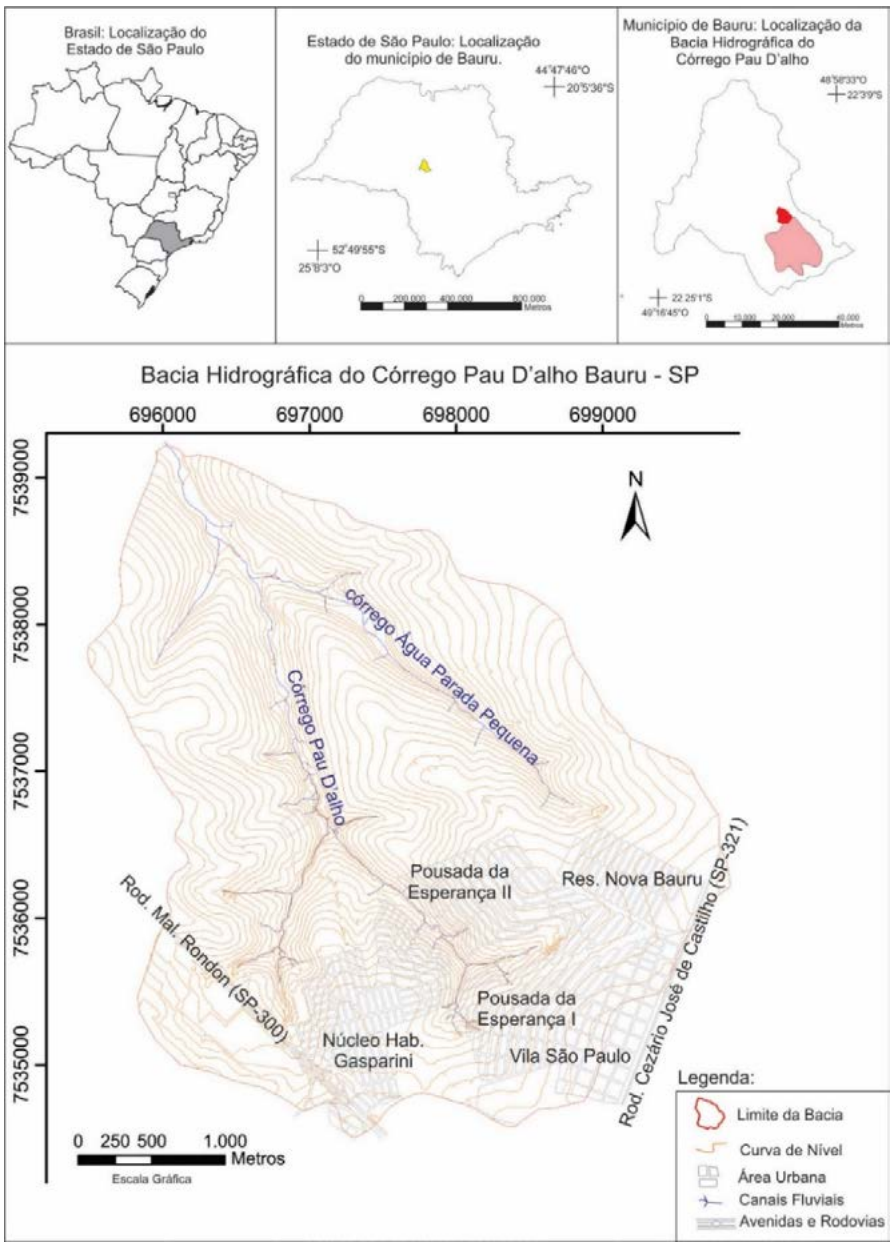


FIGURA 1: Localização da área de estudo.
Fonte: Base cartográfica.

O substrato geológico desta porção do território do estado de São Paulo vincula-se a Bacia Sedimentar do Paraná, que, segundo o IPT (1981b), constitui uma unidade geotectônica estabelecida sobre a Plataforma Sul-Americana, a partir do Devoniano, ou até mesmo do Siluriano.

Segundo o mesmo autor (p.46), "a subsidência dessa bacia, mesmo com caráter oscilatório, permitiu a acumulação de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e sills de diabásio" que, juntamente com uma inclinação homoclinal das camadas paleozoicas e mesozoicas em direção ao interior da bacia, já no Cretáceo Superior, permitiram a formação de um grande grupo geológico, o Grupo Bauru, recobrindo as lavas basálticas do Planalto Ocidental, do Grupo São Bento, a oeste do Estado de São Paulo.

Tais condições geológicas refletem-se tanto nas características do relevo como nos tipos de solos da área estudada. Desta forma, de acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado São Paulo (ROSS e MOROZ, 1997), a cidade de Bauru, inserida no compartimento geomorfológico do Planalto Ocidental Paulista, apresenta solos do tipo Latossolo Vermelho – Amarelo, que ocorre de forma generalizada, e Argissolo Vermelho – Amarelo, comumente localizado nas vertentes mais inclinadas, ambos possuindo textura média à arenosa.

Diante das condições litológicas, verifica-se no município de Bauru o predomínio de solos muito desenvolvidos, com alteração pronunciada dos minerais primários, característicos de clima quente e úmido. Assim, Almeida Filho (2000) descreve o solo bauruense, na maior parte do território, como Latossolos Vermelho Escuro, textura média e Argissolos Vermelho, textura arenosa-média.

Segundo Cavaguti (1993, apud ALMEIDA FILHO, 2000, p.72) "constatou-se maior tendência à erosão linear em solos Argissolos [sic] que em Latossolos, embora as boçorocas de maior dimensão tenham se desenvolvido em Latossolos". Isso ocorre porque os Latossolos são bem desenvolvidos, estáveis e bem drenados, mas quando sofrem atividades excessivas de ocupação irregular, perdem seus microagregados causando maiores desgastes, surgindo assim às voçorocas.

Diante de tal fato, os problemas urbanos e ambientais da bacia do Córrego Pau D'alho, justificam sua escolha como objeto de estudo para o desenvolvimento do material cartográfico proposto.

Metodologia

As cartas geomorfológicas constituem-se em documentos complexos, pois devem abarcar não somente as formas do relevo como também sua estrutura geológica, cronológica, morfográfica e até as características morfométricas da área (TRICART, 1965). Assim, para a elaboração da carta geomorfológica "procura-se em um único documento, registrar as características do relevo relacionadas ao sistema morfológico e processo-resposta" (CUNHA, 2001, p.62).

Dessa forma, buscando abarcar os aspectos que constituem uma carta geomorfológica, foi utilizada a base cartográfica vetorizada, em escala de 1:10.000, a qual forneceu diversas informações morfométricas, tal como a elevação do terreno. Ainda, para a obtenção das informações sobre a morfografia, utilizaram-se fotografias aéreas, datadas de 2010/2011, cedidas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitana S/A (EMPLASA), na escala de 1:25.000, mas com resolução de 1m, o que permitiu uma visualização de detalhe, quando inseridas no *software* ArcGis e georreferenciadas na escala de trabalho (1:10.000)

Os trabalhos de interpretação, por meio da técnica de estereoscopia, e mapeamento das características geomorfológicas foram realizados na plataforma de edição do referido *software.* Para isso, utilizou-se o *software* Stereo Photo Maker, de licença gratuita, para realizar a composição dos pares esterescópicos, de acordo com as orientações de Souza e Oliveira (2012) e em seguida, a partir do método anáglifo e com o auxílio dos óculos especiais de lentes coloridas, realizou-se a interpretação das feições geomorfológicas, de forma digital no ArcGis.

Os símbolos (Figura 2) utilizados para a identificação das feições geomorfológicas foram baseados nas orientações de Tricart (1965), Verstappen e Zuidam (1975), Rodrigues (2005) e Zanatta (2014), com as necessárias adaptações a fim de melhor representar as características da área estudada. De Rodrigues (2005) foi utilizada a simbologia referente aos cortes e aterros topográficos, referenciando as ações antrópicas no modelado do relevo, a qual foi denominada de *Degraus Antrópicos.* Já de Zanatta (2014), foi adaptado o símbolo para as

bacias de contenção das águas pluviais, as quais, geralmente, se encontram nas margens das estradas, e também a simbologia referente às erosões nas bordas das drenagens.

A construção da simbologia seguiu as orientações de Paschoal; Conceição e Cunha (2010), cujo trabalho sistematiza o processo de elaboração dos símbolos na própria plataforma Gis, facilitando inseri-los na área de edição, na qual se encontra a base cartográfica e os pares estereoscópios das fotografias aéreas.

ELEMENTOS	DENOMINAÇÃO			SÍMBOLO	FONTE DO SÍMBOLO
Formas de Vertente e Interflúvios	Vertentes	Côncava			Verstappen e Zuidam (1975)
		Convexa			Verstappen e Zuidam (1975)
		Retilínea			Verstappen e Zuidam (1975)
		Irregular			Verstappen e Zuidam (1975)
	Colo topográfico				Verstappen e Zuidam (1975)
	Linha de cumeada				Tricart (1965)
	Feições erosivas	Sulcos			Tricart (1965)
		Ravinas			Tricart (1965)
		Voçoroca			Tricart (1965)
		Borda do canal fluvial			Adaptações de Zanatta (2014)
		Difusa			Verstappen e Zuidam (1975)
	Topografia e morfometria	Curva de nível			Tricart (1965)
		Ponto cotado		550	Tricart (1965)
		Caimento topográfico			Tricart (1965)
Ações das Águas Correntes	Feições de drenagens	Canal fluvial			Tricart (1965)
		Canal pluvial			Tricart (1965)
	Área de acumulação de planície e terraço fluvial				Tricart (1965)
	Modelado de entalhe	Rupturas topográficas	suave		Tricart (1965)
			abrupta		Tricart (1965)
			Com afloramento de lençol		Zanatta (2014)
		Fundo de vale	Em V		Verstappen e Zuidam (1975)
			Plano		Verstappen e Zuidam (1975)
Modelado Antrópico	Degraus antrópicos				Adaptações de Rodrigues (2005)
	Bacia de contenção				Adaptações de Zanatta (2014)
	Terraços agrícolas				Verstappen e Zuidam (1975)

FIGURA 2: Símbolos geomorfológicos, com seus respectivos autores.
Fonte: Organizado pelo autor.

Após a elaboração da carta geomorfológica, foram realizados trabalhos de campo a fim de reambular as feições mapeadas. Contudo, cabe ressaltar, que este material cartográfico é passível de modificações, pois, à medida que a pesquisa avança e novas análises são realizadas, novas interpretações, que melhor descrevem a área, podem surgir.

Como a área de estudo se encontra em uma região de expansão peri-urbana e a base cartográfica apresenta algumas anomalias nas curvas de nível decorrentes da ocupação urbana, foi importante mapear os efeitos antrópicos no relevo e separá-los dos naturais. Assim, como os símbolos das rupturas naturais são os mesmos para os degraus antrópicos, foi preciso diferenciá-los por meio da

cor, sendo que as rupturas de cor vermelha representam os efeitos antrópicos no relevo e as pretas as naturais, padronizando assim, as feições antrópicas com a cor vermelha, também utilizada nas bacias de contenção.

Além do mais, diante da falta de informações geológicas detalhadas, impossibilitando a identificação precisa dos limites entre as Formações Adamantina e Marília, as características litológicas da bacia do Pau D'alho foram consideradas apenas na discussão dos dados obtidos e não constam na carta geomorfológica.

Deste modo, a carta geomorfológica tem se mostrado de suma importância para a análise das características físicas da área, bem como para a avaliação da influência antrópica sobre a mesma, sendo significativa para a realização do objetivo proposto e, com as técnicas adotadas, adequando, a elaboração do mapeamento geomorfológico, aos avanços tecnológicos.

Resultado e discussões

A Carta Geomorfológica (Figura 3) permitiu a identificação das feições morfológicas características da área de estudo, bem como dos processos erosivos associados à urbanização.

Nas médias vertentes, é comum a presença de rupturas topográficas, geralmente abruptas, com afloramento do lençol freático, criando drenagens de pequena extensão, aumentando a densidade de drenagem e intensificando a dissecação do relevo, além de aumentarem a declividade, demonstrado pelas curvas de nível. Estas características quando associadas com as atividades econômicas, como a pecuária e a agricultura temporária, contribuem para o desenvolvimento de sulcos erosivos, como observado na média bacia do córrego Pau D'alho, inclusive em vertentes retilíneas.

Nas áreas urbanas, devido a impermeabilização do solo e construção de lotes, tais afloramentos são encobertos, inviabilizando seus mapeamentos, mas as rupturas topográficas permanecem, modificando o traçado urbano, como observado nas áreas de nascentes, no contato com as franjas urbanas.

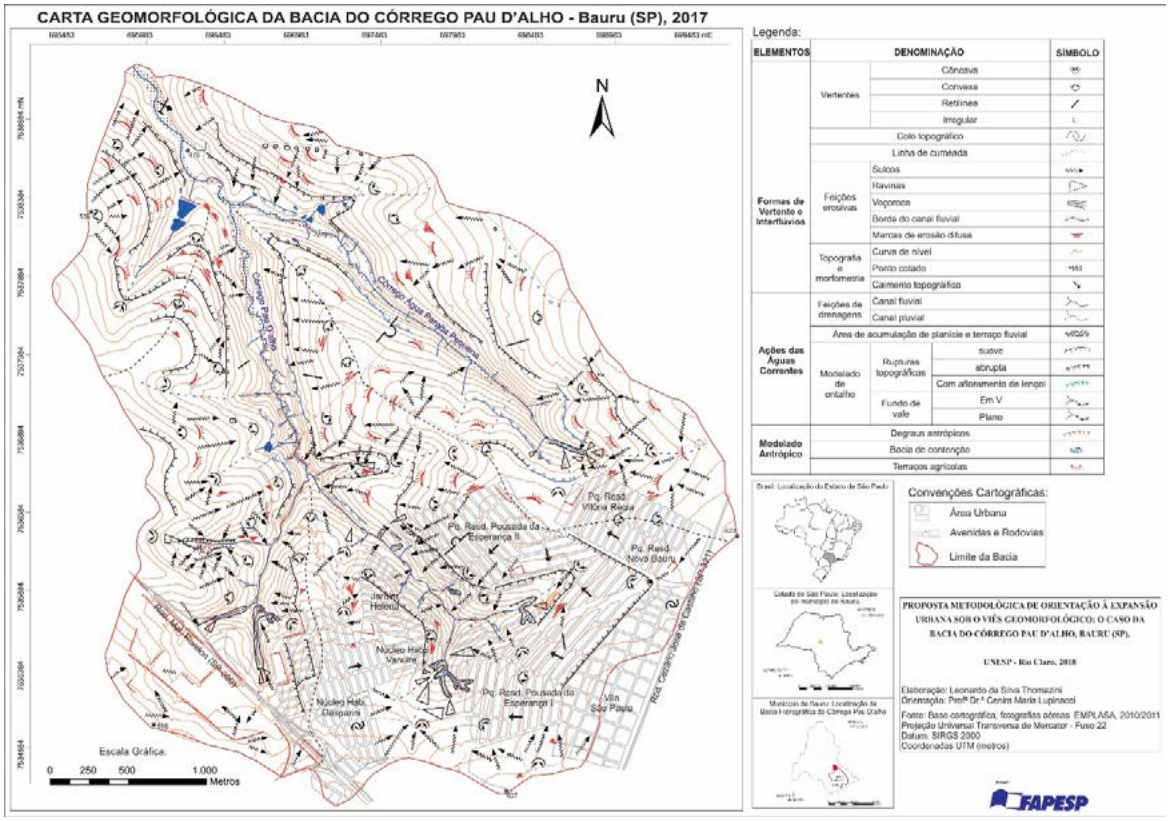


FIGURA 3: Carta Geomorfológica da bacia hidrográfica do córrego Pau D'alho.
Fonte: Organizado pelos autores.

Nas altas vertentes, são identificadas rupturas topográficas suaves, marcando a transição do topo-vertente, observadas nas bordas da bacia. Nas regiões onde a urbanização se sobrepôs ao relevo, estas rupturas podem ser observadas e mapeadas nos traçados das ruas, condicionando os loteamentos e avenidas.

O mapeamento das feições antrópicas, tais como degraus, bacia de contenção e terraços agrícolas, se fez necessário para a exemplificação do quão alterado é esta área. Por ser uma região periurbana, a interação entre as atividades urbano-industrial e agrárias proporciona a implementação de diversos modelados antrópicos, na tentativa de contenção e minimização dos processos erosivos. Contudo, o aumento da declividade em baixa vertente, as longas rampas, as características físicas da área e o afloramento dos lençóis suspensos, criam condições para o desenvolvimento de feições erosivas, que vão desde sulcos a voçorocas, mesmo com a presença dos terraços agrícolas (Figura 4), criados para a contenção dos processos erosivos, como demonstrado pela carta geomorfológica.



FIGURA 4: Localização e demonstração dos sulcos erosivos em vertentes com terraços agrícolas. Fonte: Carta geomorfológica e fotografias aéreas (EMPLASA).

A ineficiência dos terraços agrícolas em conter o desenvolvimento de processos erosivos também é observada na margem esquerda do córrego Pau D'alho, no setor do baixo curso (Figura 4)

Em algumas áreas do médio curso do Pau D'alho e da Água Parada, observa-se áreas de acumulação de planícies e terraços fluviais (Aptf, Figura 3), podendo chegar a 65m de uma margem a outra. Os sedimentos desses setores têm origem nas áreas a montante, onde a ação denudativa é mais intensa e se desenvolvem diversos processos erosivos, depositando o material em tal planície devido à diminuição da declividade. No médio curso, onde a declividade é maior que no baixo curso, a acumulação de sedimentos demonstra o desequilíbrio sistêmico da bacia, o qual é intensificado pelas alterações antrópicas sobre o relevo.

Ainda, esta área é marcada pela erosão das margens do córrego, devido ao aumento significativo da carga hídrica, originado pela urbanização e pelo despejo do esgoto tratado no alto curso pela estação de tratamento do Departamento de Água e Esgoto do município (Figura 5).

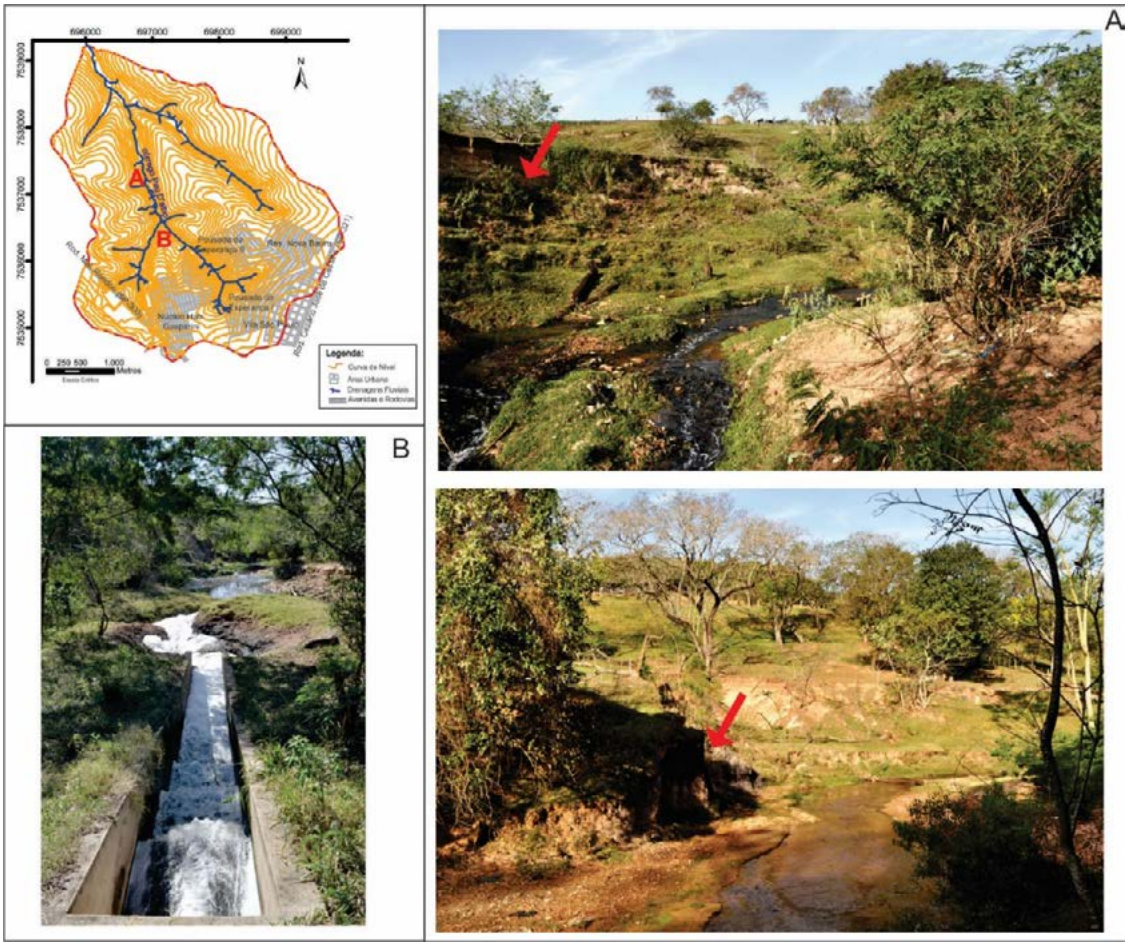


FIGURA 5: Localização e demonstração da A) Erosão das margens do córrego Pau D'alho; B) Despejo do esgoto tratado.
Fonte: Base cartográfica e fotos do autor.

Nas áreas do alto curso e nascente, são mapeados diversos processos erosivos, indicando intensa atividade denudativa, como demonstrado pela carta geomorfológica, compondo o cenário com sulcos, ravinas e voçorocas (Figura 3). À essa dinâmica morfológica, soma-se a expansão urbana, com o aumento da concentração do escoamento superficial, e o pisoteio do gado. Este último, contribuindo para o processo denudativo do relevo, principalmente onde há forte energia do relevo e fragilidades geomorfológicas, como as rupturas topográficas com afloramento do lençol freático.

No setor sudoeste da bacia tem-se a rodovia Marechal Rondon, importante eixo de ligação do interior à capital paulista, e a instalação de indústria, comércio e serviços, abrangendo também o bairro Gasparini. Esse padrão de uso da terra leva a concentração do escoamento superficial, orientado pelos arruamentos, indicando a influência da impermeabilização do solo na intensificação da dinâmica hídrica de superfície.

Este escoamento é canalizado para umas das nascentes do córrego Pau D'alho, próximas à Rodovia Mal. Rondon (SP-300), contribuindo para o desenvolvimento das voçorocas existentes no local (Foto 3).

Deste modo, a urbanização e a rodovia Mal. Rondon (SP-300) intensificam a concentração do escoamento superficial e canalizam-no às nascentes, as quais desprovidas de mata ciliar nas APP's, como observado *in loco,* contribuem para o surgimento das ravinas e voçorocas (Foto 3).

No setor sudeste da bacia, abrangendo as áreas dos conjuntos habitacionais Pousada da Esperança II, Nova Bauru e Vila São Paulo, área de expansão urbana onde as estruturas não estão totalmente consolidadas, identifica-se um escoamento superficial um pouco mais difuso, mas continuando a concentrá-lo nas nascentes, desprovidas de mata ciliar.

Na vila São Paulo, as áreas drenadas pelo afluente Água Parada Pequena, canalizam o escoamento superficial (Figura 3) para as suas nascentes, o qual é intensificado pela rodovia Cezário José de Castilho, contribuindo para o desenvolvimento de diversos sulcos, ravinas e voçoroca (Figura 3). Mesmo não estando sob o uso urbano diretamente, o escoamento superficial intensificado pela impermeabilização do solo e concentrado pelos arruamentos, exerce forte pressão sobre as áreas adjacentes, onde os solos não estão impermeabilizados, desenvolvendo processos erosivos e contribuindo para a formação das erosões de cabeceira, como as voçorocas, ratificando as pressões que as ações antrópicas exercem nas áreas adjacentes à sua atuação.

Esta dinâmica também ocorre nas áreas próximas às rodovias, ao sul da bacia, mesmo sendo alta vertente e topo, a concentração do escoamento superficial orientado pelas rodovias e pelas amplitudes altimétricas entre o limite das sub-bacias com suas respectivas drenagens, imputam, a tais áreas, elevada energia no escoamento superficial. Nas áreas adjacentes, de média vertente (como por exemplo, próximas aos bairros Gasparini, Pousada da Esperança I e Vila São Paulo) desenvolvem-se sulcos erosivos e ravinas (Figura 3).

O desenvolvimento de sulcos e ravinas em médias vertentes, associado com as rupturas topográficas e os afloramentos de lençol, indicam uma infiltração diferencial entre as camadas pedológicas e geológicas, onde a infiltração que é maior nas camadas superficias, diminui quando atinge a camada com maior porcentagem de argila, favorencendo o escoamento horizontal de subsuperfíce, o qual provoca a desestabilização do terreno e propicia o desenvolvimento de tais processos erosivos

Considerações finais

Diante das características físicas da área de estudo, observa-se que a urbanização avançou sobre topos levemente convexados, interflúvios alongados e vertentes suaves; morfologias que teoricamente não são suscetíveis ao desenvolvimento dos processos erosivos. No entanto, estes são justificados pelas práticas de uso do solo, o urbano, capaz de transformar as formas de relevo, imputando nova dinâmica à bacia.

Os processos erosivos lineares, puderam ser correlacionados com a urbanização, à medida que esta intensifica a concentração do escoamento superficial, retira a cobertura vegetal e ocupa áreas de maior fragilidade.

A intensidade da interferência antrópica no modelado do relevo pode ser compreendido na presença das ravinas e voçorocas de cabeceiras, próximas as áreas de expansão urbana, qualificando a dinâmica da relação entre o uso urbano, o escoamento superficial e as erosões. Neste sistema, identifica-se os sulcos nos arruamentos não pavimentados que desaguam em ravinas, já nas áreas periféricas do urbano, as quais se conectam nas voçorocas.

A identificação dos sulcos foi importante por ser o processo erosivo inicial que surge, ainda, no urbano, indicando as áreas de maior fragilidade, uma vez que eles compreendem a dinâmica denudativa do relevo dentro do processo evolutivo. Já a identificação das voçorocas permite compreender o estágio mais avançado das erosões lineares, que do ponto de vista do planejamento, auxiliam na expansão urbana, indicando áreas restritas à urbanização e que necessitam de intervenção de controle e revitalização.

Deste modo, o mapeamento geomorfológico da área periurbana permitiu identificar os processos erosivos provocados e intensificadas pela urbanização, servindo como um material de suporte as políticas públicas e de planejamento quanto a tomada de decisões, tendo em vista que o urbano se expande sobre a área da bacia.

É notório, também, que a carta geomorfológica não se faz fim, mas compreende importante parte de possíveis outros mapeamentos, que juntos possibilitam o olhar holístico, tais como a morfometria e o uso e ocupação da terra.

Contudo, a elaboração da carta geomorfológica atingiu o objetivo proposto, ao propiciar o entendimento das relações espaciais que envolvem os processos erosivos, contribuindo para trabalhos futuros.

Agradecimentos

Agradeço ao Fapesp, pelo financiamento da pesquisa, sob o processo 2014/07017-9; o Programa de Pós-graduação da UNESP, campus Rio Claro; e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, campus Presidente Prudente.

Bibliografia

ALMEIDA FILHO, G. S. **Diagnósticos de processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos no município de Bauru – SP**. 2000. 221 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp, Campinas, 2000

CAMA. M. *et al.* A Probabilistic Assessment of Soil Erosion Susceptibility in a Head Catchment of the Jemma Basin, Ethiopian Highlands. **Geosciences**. n. 7 v. 10. 2020

CHORLEY, R. J. **A geomorfologia e a teoria dos sistemas. Notícias Geomorfológicas**. Campinas, v. 11, n. 21. 1971

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008

CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. 128 f.: il. + mapas. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

FUINI, L. L. A Abordagem Sistêmica e a Questão da Dicotomia Físico/Social na Ciência Geográfica. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. XV, n. 1, p. 45 – 51, jan. 2011

IPT**. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**: escala 1: 1.000.000. São Paulo - SP: IPT, 1981b (caderno 5)

JEONG, A.; DORN, R. I. Soil erosion from urbanization processes in the Sonoran Desert, Arizona, USA. **Land Degradation & Development.** n. 2, v. 30, p. 226-238. 2018

JORGE, M. do C. O. Geomorfologia Urbana: conceitos, metodologias e teorias. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 117 – 142.

KRAPIVINA, I. I.; RYASHCHENKO, T. G. The natural – technogenic relief-forming processes on the territory of the city of

Bratsk. **Geography and Natural Resources**. n. 29, p. 63-68, 2008

KUKHARIK, E. *et al.* Features of technogenic morphogenesis on the territory of South-western Belarus. EDP Sciences. 2020. Disponível em: <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/72/e3sconf_icbte2020_01008.pdf> Acessado em: 07/06/2020

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. 4ª ed. Fortaleza: Abes, 2011

PASCHOAL, L. G., CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L. Utilização do ArcGis 9.3 na elaboração de simbologia para mapeamentos geomorfológicos: uma aplicação na área do complexo argileiro de Santa Gertrudes/SP. In: **VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Recife, p:1-13.2010.

PELOGGIA, A. A. **O Homem e o Ambiente Geomorfológico**. São Paulo: Xamã, 1998

RODRIGUES, C. Morfologia Original e Morfologia Antrópica na Definição de Unidades Espaciais de Planejamento Urbano: Exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 17, p. 101 – 111. 2005

RODRIGUES, C; GOUVEIA, I. C. M.-C. Importância do fator antrópico na redefinição de processos em áreas urbanizadas do meio tropical úmido: exemplos na grande São Paulo. In: GUERRA. A. J. T; JORGE, M. do C. O (Org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 66 - 94

ROSS**. Ecogeografia do Brasil**: Subsídios para Planejamento Ambiental. 1º reimpressão. São Paulo: Oficina de Textos, 2009

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**: escala 1: 500.000. São Paulo – SP, 1997

SOUZA, T. de A., OLIVEIRA, R. C. de. Avaliação da potencialidade de imagens tridimensionais em meio digital para o mapeamento geomorfológico. **Revista Geonorte**. Ed. Especial, v. 2 n. 4, p. 1348 – 1355, 2012

SUERTEGARAY, D. M. A; NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física na Geografia. **Terra Livre**, São Paulo, n. 17, p. 11-27. 2011

TRICART, J**. Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965.

VERSTAPEN, H. T.; ZUIDAM, R. A. van **ITC System of geomorphological survay. Netherlands**, Manuel ITC Textbook, v. VII, Chapter VII, 1975

ZANATTA, F. A. S. **Diagnóstico visando planejamento ambiental da alta bacia do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP)**. 2014. 140f. Dissertação (Mestrado em geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2014.

ANÁLISE INTEGRADA DA GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA COMO SUBSÍDIO À SUSCETIBILIDADE EROSIVA NA BACIA DO VALÃO DO D'ANTA – CAMBUCI (RJ)

Monara da Silva Santos
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária da UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 21941-909
E-mail: monarasantos09@gmail.com
Laís Rosa Guimarães
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária da UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 21941-909
E-mail: laisguimaraes1107@gmail.com
Paloma Figueredo Lisboa
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária da UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 21941-909
E-mail: palomalisboa94@gmail.com
Lucas Rodrigues Dias
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária da UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 21941-909

E-mail: lucasrd@ufrj.br
Giselle Ferreira Borges
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária da UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 21941-909
E-mail: giborgesgeouff@gmail.com
André de Souza Avelar
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária da UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 21941-909
E-mail: andreavelar@acd.ufrj.br

Resumo

Fez-se uma comparação entre aspectos geológicos e unidades geomorfológicas da bacia do Valão do D'Antas, município de Cambuci (RJ). O mapa geológico foi feito na escala 1:25.000, pelo método usual de observação direta em campo e medição de estruturas com bussola de geólogo. Foram identificadas quatro classes litológicas: Gnaisse Calcissilicática, Mármore, Quartzito e Ortognaisse. O mapa geomorfológico foi feito totalmente por método digital, também na escala 1:25.000, com uso de MDT, análises de declividade e Topographic Position Index (TPI). Foram feitas interpretações em fotografias aéreas (1:30.000) na complementação geomorfológica. Foram geradas seis classes geomorfológicas: Topos, Escarpas, Alta Encosta, Média Encosta, Sopé de Encosta e Fundo de Vale. Observou-se predomínio de Média Encosta e Sopé de Encosta, assim como a orientação de relevo relacionada às estruturas geológicas. Os processos erosivos concentraram-se na litologia Gnaisse Calcissilicático e Mármore.

Palavras-chave: Lito-estruturas, Processos erosivos, Dissecação de encostas

1. Introdução

As mudanças ambientais ocorridas no Antropoceno são acentuadas e capazes de influenciar o modelado do relevo em escala local ou de detalhe, sendo assim, se faz necessário estudos acerca dos processos erosivos para compreender, solucionar e mitigar possíveis desastres naturais. Sendo assim, por meio de um estudo integrado através de uma interface de diferentes áreas do saber é possível tanto contribuir de maneira sistemática para os estudos do planejamento ambiental multidisciplinar (GUERRA; MARÇAL, 2010), mas também exercer uma seguridade social (ARGENTO, 1998). Essa simbiose, portanto, contribui para a análise da natureza como um todo, sem que haja uma dissociação do sujeito ser humano do objeto natureza, como ocorre em diferentes estudos científicos.

Além de geoespacializar e buscar compreender melhor os fenômenos, alguns mapeamentos surgem da necessidade de prever possíveis os acontecimentos futuros e a busca por soluções para manter o estado de equilíbrio (ARGENTO, 1998). Dessa forma, por meio da cartografia e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), os estudos em geomorfologia têm evoluído, entretanto, existe uma incongruência, pois esse tipo de mapeamento é elaborado com diferentes e aliado a isso há a falta de padronização de legendas e diferentes escalas utilizadas, estruturação hierárquica e simbologia cartográfica (LIMA et al, 2014).

De modo geral, a geomorfologia deve se basear em estudos acerca da gênese e origem do relevo com ênfase na altimetria, declividade e hipsometrias (Tricart 1965, *apud* Amaral *et al.* 2006). Essa linha de estudo é importante para o mapeamento geomorfológico (ROSS, 1992), devendo seguir os 6 táxons de acordo com a fisionomia das formas e hierarquização da gênese , da gênese e idade dos relevos. Lima (2014) aponta que esse tipo de construção é muito comum no Brasil como o RADAMBRASIL (escala 1:1.000.000) e o Manual Técnico de Mapeamento Geomorfológico do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (IBGE, 1995, 2009). Em contrapartida, para o presente estudo, foi adotado uma metodologia de mapeamento geomorfológico funcional, isto é, não levando em consideração apenas os tipos de formas, mas sim as diferentes graus de declividades e vertentes do relevo e os tipos de movimentos de massa encontrados em cada uma das classes (COELHO NETTO *et al.* 2007).

A associação da geomorfologia com a geologia tem sido destacada por inúmeros autores, uma vez que, em sua essência, os mapas geomorfológicos refletem os mapeamentos geológicos, onde são utilizados para o registro de litologias, estruturas e suporte às feições topográficas. Além disso, os mapas geológicos são úteis para o entendimento da evolução geológica de uma determinada área da crosta terrestre. As rochas juntamente com suas estruturas podem ser consideradas frutos de processos evolutivos no decorrer do tempo.

Os mapeamentos geológicos possuem grande relevância para o entendimento da geomorfologia de uma área, uma vez que, as rochas são o principal material para a formação dos solos. Sendo assim, se faz necessário o estudo geológico para entender a formatação atual de uma área, além de seu relevo. Ou seja, um mapa geológico indica não somente a distribuição espacial das rochas, como podem auxiliar o entendimento de diversos problemas contemporâneos. Sendo assim, a combinação de mapeamentos geológicos e geomorfológicos podem amparar e embasar tomadas de decisões no mérito de uso e ocupação do solo, bem como, analisar possíveis fatores e áreas de riscos naturais.

A fim de compreender a dinâmica e a geomorfologia da área, é preciso conhecer o contexto geológico bem como os eventos tectônicos que acarretaram na configuração do relevo atual. O cenário tectônico da área de estudo deste trabalho é marcado por três momentos evidenciados na porção sudeste brasileira. Tais eventos são os de: a) amalgamação do supercontinente Gondwana e geração da Faixa

Ribeira; b) a quebra deste supercontinente resultando então na abertura do Oceano Atlântico e c) o sistema de riftes do sudeste do Brasil gerado através da reativação tectônica da margem sudeste brasileira. Dado esse contexto, geologicamente, o município de Cambuci está inserido no Terreno Oriental do segmento central-Norte da Faixa Ribeira que teve sua evolução no Neoproterozóico/Cambriano, durante a Orogênese Brasiliana (630-495 Ma) (Heilbron *et al.*1995). Esta confere lineamentos relacionados à zona de cisalhamento Paraíba do Sul e, a partir disso, podemos compreender as estruturas geológicas atuais existentes.

Apesar da importância de mapas geomorfológicos e geológicos para compreender a dinâmica do relevo, no estado do Rio de Janeiro esses mapeamentos não estão em uma escala de detalhe que favoreça o estudo de áreas mais específicas. No âmbito do Programa de Informações para Gestão Territorial (GATE), coordenado pelo Departamento de Gestão Territorial (DEGET/CPRM), Dantas (2000) elaborou um mapeamento geomorfológico do estado do Rio de Janeiro em escala 1:250.000 e, posteriormente, o CPRM – RJ desenvolveu mapas em escala de semidetalhe (1:25.0000), entretanto, alguns municípios não foram contemplados com esse mapeamento. Em relação à geologia, existe o mapeamento geológico do estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2001) em escala de 1:400.000, porém também não é capaz de elucidar questões mais detalhadas e específicas como ocorre na bacia hidrográfica em estudo.

Nesse sentido, este estudo se valida na região da bacia do rio Valão do D'Anta em Cambuci (RJ) devido às atividades pretéritas cafeeiras na região e, atualmente, com a pecuária extensiva que acabaram por exaurir os solos e a qualidade ambiental deste município. Se reforça a necessidade de estudos de erosão e mapeamentos mais detalhados para que seja possível identificar áreas de degradação e, dessa maneira, elaborar um planejamento ambiental mais eficaz e multidisciplinar. Sendo assim, mapeamentos geomorfológicos e geológicos são de extrema importância para compreendermos as formas atuais, pois são produto do somatório de uma série de eventos tectônicos e erosivos que compõem o relevo atual da área de estudo.

Deste modo, o trabalho tem como objetivo geral analisar as relações geológica/geomorfológicas como subsídio à identificação e compreensão dos processos erosivos ao redor da bacia hidrográfica em questão. Como objetivos específicos temos: 1) a análise do mapeamento geomorfológico da área de estudo em escala 1:25.000; 2) a análise do mapeamento da área de estudo em escala 1:25.000; e 3) correlacionar os processos erosivos com a geologia da área de estudo.

2. Área de Estudo

Cambuci é um município do estado do Rio de Janeiro que teve sua ocupação por indígenas Puris e, posteriormente, uma reocupação a partir das sesmarias destinadas ao cultivo do café. Assim como o restante da região noroeste fluminense, a decadência do ciclo do café fez com que Cambuci sofresse uma estagnação econômica que levou o município a estabelecer relações e trocas com as demais sedes municipais, acarretando em uma marginalização do processo de integração municipal. Assim como a região no entorno, Cambuci sofre com problemáticas ambientais desde os plantios de café, como o esgotamento da Mata Atlântica e, mais recentemente, com a atividade pecuária, que leva à exaustão pelo pisoteio bovino e consequente erosão dos solos. Para Soffiati (2015), as problemáticas sociais estão intimamente ligadas às questões ambientais e, desse modo, o esgotamento ambiental de Cambuci é um ponto crítico a ser analisado.

Os escorregamentos de massa podem ser induzidos, gerados pelas atividades do homem que modifica as condições naturais do relevo por meio de cortes para a construção de moradias, aterros, lançamentos concentrados

de águas sobre as vertentes, estradas e outras obras e esta realidade pode ser observada em maior ou menor grau em todas as bacias hidrográficas que sofreram ocupação antrópica. Não obstante, a bacia hidrográfica do Valão do D'Anta (Figura 1), inserida no sudeste do país, é um exemplo desta situação. Esta exerce função vital para os moradores e os ecossistemas da região. Entretanto está envolta a uma complexa problemática sobre ações humanas deletérias e suas consequências sobre a cobertura vegetal, as encostas, os usos múltiplos das águas, perpassando desde a alteração da sua morfologia fluvial, modificação de sua fitogeografia, até o processo de degradação da qualidade hídrica.

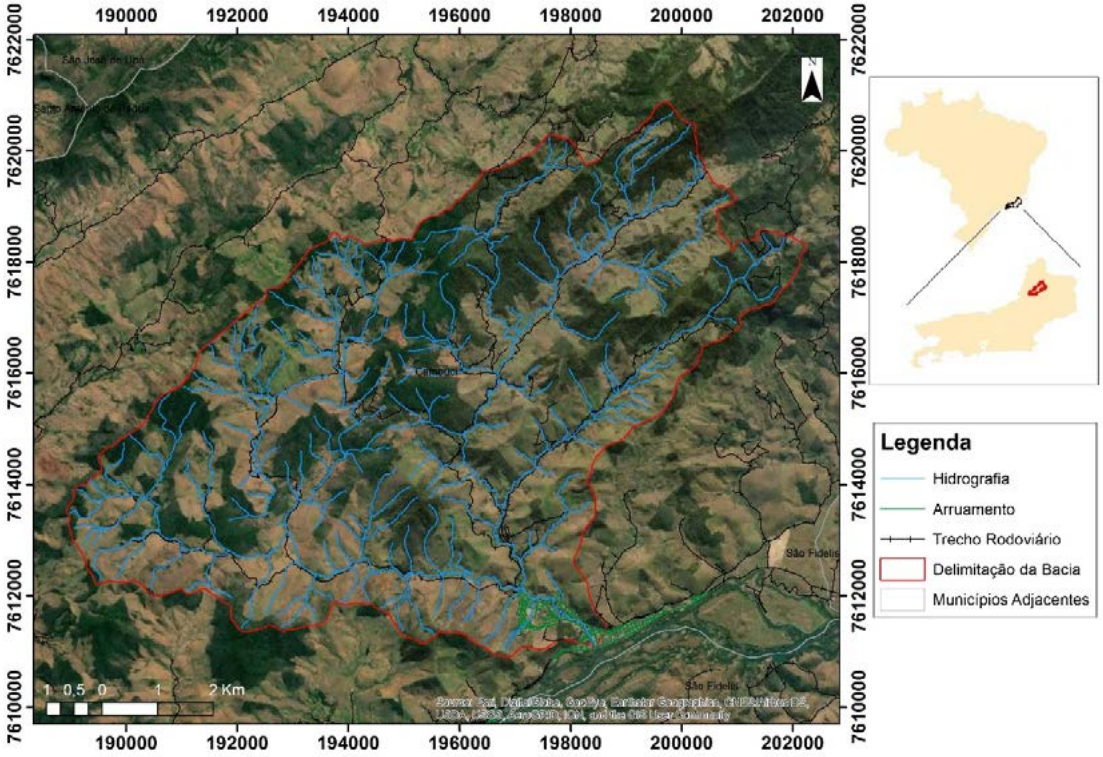


FIGURA 1: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Valão do D'Anta.
Fonte: autores 2020.

Localizada na região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Esta bacia drena parte importante do município de Cambuci, onde o núcleo urbano se localiza entre o baixo curso e a foz, o rio Paraíba do Sul. A bacia apresenta uma área de aproximadamente 70,7 km^2, onde vivem cerca de 14.829 habitantes (IBGE, 2010). A decadência do café como produto básico da economia regional levou à estagnação relativa da sede municipal, criando um vazio econômico crítico, e cada área do município passou a se relacionar com as sedes municipais vizinhas, deixando a cidade de Cambuci à margem do processo de integração municipal. No entanto, a implantação de pequenas indústrias foi responsável pelo surgimento de expansão urbana em direção ao Valão do D'Anta (TCE-RJ, 2003).

Em linhas gerais, o Norte-Noroeste Fluminense assemelha-se bastante com o Médio Vale do rio Paraíba do Sul, apresentando um extenso relevo colinoso, seccionado por frequentes alinhamentos serranos de direção estrutural WSW-ENE e maciços montanhosos, cujo cenário é marcado por pastagens subaproveitadas. A mata atlântica também foi devastada para implantação da monocultura cafeeira, já no início do século XX. Entretanto, algumas características singulares individualizam esse domínio do Médio Paraíba, em especial, o clima mais seco, com estiagem

mais prolongada entre os meses de abril a setembro, com totais anuais entre 900 e 1.400 mm/ano, onde o clima da região é o tropical quente e úmido, com as estações seca no inverno e chuvosa no verão bem definidas (Dantas, et al, 2005).

Sobre as unidades geológicas da região, podemos destacar a Unidade Italva e a Unidade Itaperuna. A primeira, é caracterizada principalmente pela presença de mármores, que são um produto industrial importante na região, particularmente nas localidades de Italva, Euclidelândia e Cordeiro-Cantagalo. Encontram-se tectonicamente imbricados com granada-biotita-sillimanita gnaisses quartzo-feldspáticos, a quartzo-anfibólio-clinopiroxênio gnaisses (rochas calcissilicáticas). E a segunda, é constituída essencialmente de paragranulitos, rochas calcissilicáticas (às vezes predominantes), fusões quartzo-feldspáticas e, mais raramente, quartzitos e mármores (Silva e Cunha, 2001).

Por sua vez, os solos da região do município de Cambuci variam entre o Podzólico Vermelho-escuro eutrófico e o Podzólico Vermelho-amarelo eutrófico. Ocorrem em áreas bastante expressivas do Noroeste Fluminense. São os solos dominantes nas áreas de relevo montanhoso e forte ondulado dessa região, sendo estes bem drenados e bastante utilizados para pastagem, apesar de sua boa fertilidade e potencial uso agrícola (CARVALHO FILHO et al, 2001).

Estas condicionantes geoambientais da bacia representam características físicas no qual seu conjunto provoca significativas alterações na qualidade e manutenção ecológica. Desta forma, a bacia hidrográfica do Valão do D'Anta desempenha papel importante para o município de Cambuci.

3. Procedimentos Metodológicos

3.1. Mapeamento Geomorfológico

A elaboração do geomorfológico 1:25.000 ocorreu através da sobreposição dos mapeamentos de *Topographic Position Index* (TPI), Declividade, fotos aéreas e análise em conjunto através do mapa de Relevo Sombreado, de imagens orbitais *WorldView* III, ano 2014. Posteriormente as análises foram feitas no sistema de informação geográfica (SIG) *Arcgis* 10.2.2.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado como base deste estudo foi do Projeto RJ 25, este mapeamento forneceu um MDE com tamanho de célula (*cell size*) de 10x10, que foi útil para maior precisão na criação dos mapeamentos. Entretanto, optou-se por reamostrar (*Resample*) as células para 20x20 com convolação cúbica (*cubic convolution*), tendo em vista que, ao usar as células 10x10, os mapeamentos apresentavam grandes polígonos quadriculados, o que foi considerado um erro na geração dos produtos. Todos os mapeamentos subsequentes foram feitos com o MDE reamostrado em 20x20 com convolação cúbica.

O *Topographic Position Index* (TPI) é um algoritmo cada vez mais usado para medir posições de inclinação topográfica e automatizar classificações de relevo (DE REU et al, 2013). A forma de obtenção dos parâmetros foi feita a partir da opção *Annulus*, onde o raio menor (*inner radius*) foi de 10 metros e o raio maior (*outer radius*) foi de 80 metros, sendo estes valores obtidos a partir de testes com diferentes raios e análise das imagens geradas. O TPI gerou então um arquivo onde foram classificados em três diferentes domínios: Fundo de Vale, Vertente e Topo.

O mapa de declividade foi gerado através da ferramenta *Slope* com valores de saída em graus (*degree*). Os parâmetros de classes escolhidos foram 0-10° (somente deposição), 10-20° (erosão superficial e *creep* ou rastejo), 20-35° (aumento da erosão superficial e deslizamento rotacional) e >35° (afloramentos de rocha, queda de blocos e deslizamento translacional). Estes valores foram embasados em trabalho pretérito de Coelho Netto et al (2007).

Após a geração do TPI e Declividade, estes foram reclassificados para que, em seguida, fossem transformados em arquivos do tipo vetor (*Raster to Polygon*). A vetorização possibilitou a sobreposição destes arquivos *shapefile*. A coluna do TPI com valores de Fundo de Vale, Vertente e Topo foi combinada com a coluna de Declividade com valores de 0-10°, 10-20°, 20-35° e >35°. Isto resultou numa terceira coluna com os parâmetros geomorfológicos e, por fim, numa quarta coluna com valores em A, B, C, D, E e F. O esquema pode ser visualizado abaixo (Quadro 1):

QUADRO 1
Combinação dos valores de TPI e Declividade

Fundo de Vale	0-10°	Fundos de vale com deposição fluvial	A
	10-20°	Sopés de encosta e fundos de vale com deposição coluvionar	B
	20-35°	Média encosta com declividades entre 20 a 35 graus	C
	>35°	Média encosta com declividades acima de 35 graus	D
Vertente	0-10°	Fundos de vale com deposição fluvial	A
	10-20°	Sopés de encosta e fundos de vale com deposição coluvionar	B
	20-35°	Média encosta com declividades entre 20 a 35 graus	C
	>35°	Média encosta com declividades acima de 35 graus	D
Topo	0-10°	Escarpas e alta encosta com declividades acima de 35 graus	E
	10-20°	Escarpas e alta encosta com declividades acima de 35 graus	E
	20-35°	Topos	F
	>35°	Média encosta com declividades acima de 35 graus	D

Fonte: autores

Uma vez gerado o Geomorfológico foi realizada a checagem dos dados para aferir se as classes levantadas pela sobreposição condizem com o terreno da bacia do Valão do D'Anta. Para tal, foi elaborado o mapa de Relevo Sombreado e a análise visual em conjunto deste com o mapa Geomorfológico.

O mapeamento de Relevo Sombreado foi obtido através da ferramenta *Hillshade* com Azimuth em 315 e Altitude em 45. Em seguida, sobrepôs-se o Relevo Sombreado em transparência de 50% (*Properties > Display > Transparency*) com o *shapefile* do Mapeamento Geomorfológico. A análise visual possibilitou a aferição da eficácia do mapeamento.

Fez-se ainda um procedimento similar ao sobrepor imagens *WorldView* III da área de estudo e a sobreposição do *shapefile* do Mapeamento Geomorfológico com transparência de 50%. Por fim, mas não menos importante, foram averiguados diversos pontos da estereoscopia das fotografias aéreas com o intuito de confirmar os dados ou achar possíveis erros no mapeamento.

3.2. Metodologia Mapeamento Geológico

A elaboração do geológico 1:25.000 foi dividida em três fases: pré-campo, campo e trabalho de escritório. A fase pré-campo, foi feita através de pesquisa bibliográfica, no qual elementos importantes da geologia regional foram identificados com base na literatura. Durante a fase de campo ocorreram visitas a área de estudo para o reconhecimento dos conjuntos litológicos e das estruturas presentes no local, bem como, a coleta de amostras para análise posterior. Para o agrupamento e coleta de dados foram utilizados caderneta de campo, martelo geológico, bússola, lupa 10x, câmera fotográfica, GPS Garmin portátil. Na fase de escritório foram reunidos, analisados e espacializados todos os dados de campo e confrontados com os dados fornecidos pela literatura. Com a interpretação desses dados foi possível confeccionar o mapa geológico na escala 1:25 000 através do software Arcgis 10.2.2 por meio de vetorização manual.

3.3. Sobreposição Geomorfológico-Geológico

A sobreposição dos mapeamentos Geomorfológico e Solos foi elaborada a partir da ferramenta *Union* com o intuito de parear os polígonos de ambos os mapeamentos e extrair informações para a análise. O mesmo procedimento foi feito de forma separada para a classe Erosão, proveniente de um levantamento prévio da área de estudo, com fins didáticos. Correções foram feitas de fragmentos de polígonos com áreas inferiores a 0,25 hectare através da ferramenta *Eliminate*, esta área foi designada levando em consideração o tamanho da célula usada em 20x20m e a escala do mapeamento em 1:25:000. Utilizou-se ainda a ferramenta Excel 2013 para manejar os dados gerados e confeccionar os gráficos referentes aos dados comparados.

4. Resultados e Discussões

A análise do mapeamento geomorfológico mostrou que as classes Média Encosta (47,0%) e Sopés de Encosta (29,3%) possuem a maior representação espacial, uma vez que são formas típicas dos domínios de colinas convexo-côncavos que ocorrem no vale do Rio Paraíba do Sul, marcados por topos relativamente diminutos e fundos de vale estreitos (Figura 2). Isto fica também evidente através da representação espacial dos Fundos de Vale (9,7%). Somados, os setores de encosta representam 83,4% do relevo da área estudo, enquanto as classes topográficas relacionadas aos cumes e declividade: Topos (5,2%), Escarpas (4,5%) e Altas Encostas (4,3%), compreendem 16,6% do total da área de estudo.

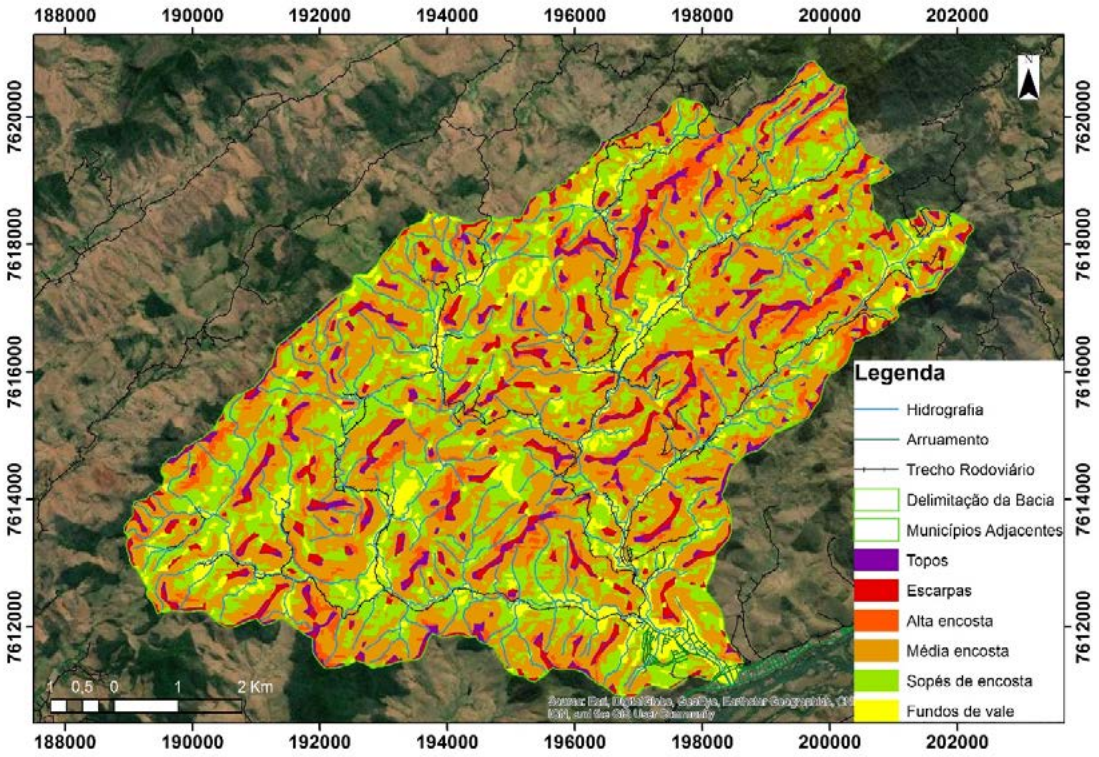


FIGURA 2: Mapa Geomorfológico Funcional da Bacia Hidrográfica do Valão do D'anta
Fonte: IBGE (RJ 25); Autores

O mapeamento geológico da bacia ficou reduzido devido à dificuldade de acesso às áreas mais elevadas e íngremes, assim como, devido à necessidade de mais trabalhos de campo para sua conclusão. Entretanto, isto não impediu que a análise fosse feita através da superposição dos mapeamentos, tendo em vista que a análise se limitou a delimitação da área de menor tamanho (Figura 3).

A partir dos dados de campo foram identificadas até o momento quatro litologias de caráter metamórfico: Quartzito contendo traços de muscovita e granada, bem cristalizado e granulometria média; Ortognaisse de granulação grossa, composta por quartzo, feldspato e traços de biotita e granada; Gnaisse calcissilicático de granulação fina e com presença de carbonatos, quartzo, hornblenda e pouca biotita e Mármore branco, maciço e com textura granoblástica. Além disso, foram encontrados veios de sílica, deslocamento de camadas e brechas indicando a existência de duas falhas ortogonais à zona de cisalhamento do Rio Paraíba do Sul, ou seja, com orientação principal no sentido NW-SE. Deste modo, tem-se as seguintes classes e suas representações espaciais: OrtoGnaisse (32,2%), Mármore (22,5%), Gnaisse Calcissilicático (17,7%), Quartzito (1,5%) e Não Mapeado (26,1%).

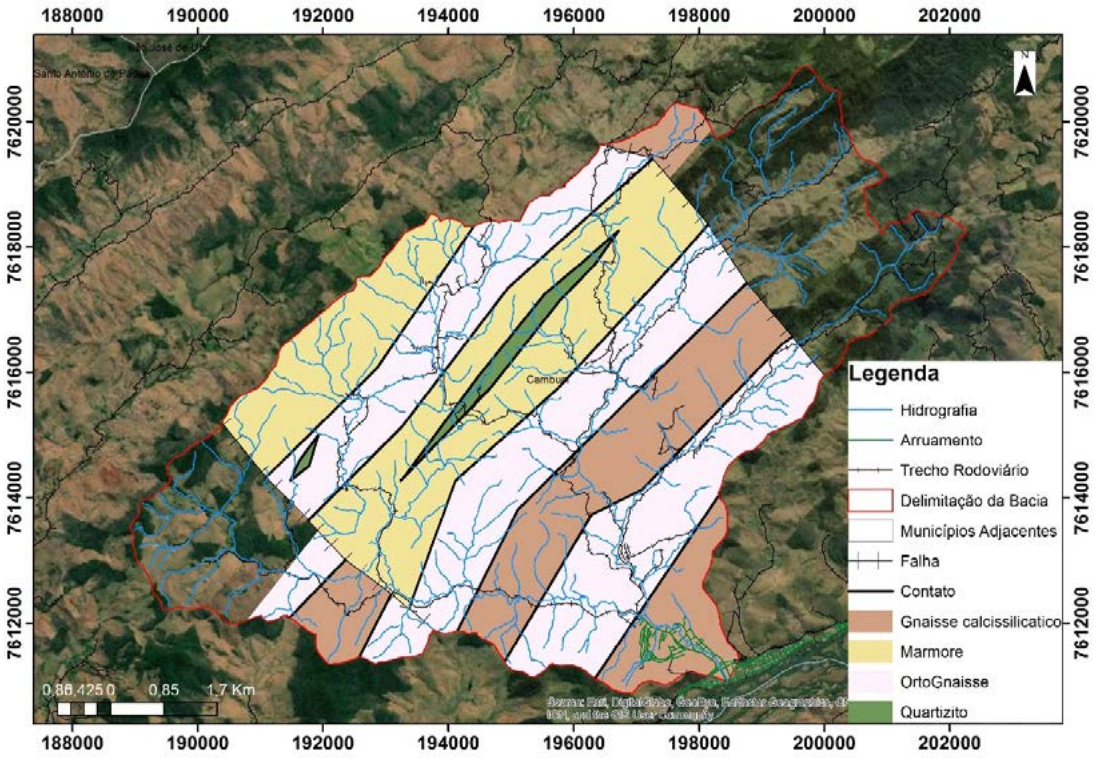


FIGURA 3: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Valão do D'anta
Fonte: IBGE (RJ 25); Autores

A partir da comparação entre os mapas geológico e geomorfológico é possível perceber a existência de um alinhamento dos topos e escarpas marcados por um controle lito-estrutural seguindo o *"trend"* principal NE-SW (Figura 2). Este alinhamento está de acordo com o contexto geotectônico e é coincidente com as foliações regionais associadas às zonas de cisalhamento do baixo vale do rio Paraíba do Sul. Outro fator relevante para aferir o controle lito-estrutural desta bacia de drenagem são os próprios canais em padrão treliça, que possuem também orientação NE-SW até serem capturados para um canal principal e ou ao desaguarem no rio Paraíba do Sul.

Outra análise comparativa entre os mapas geomorfológico e geológico permitiu observar a predominância dos setores de Média Encosta e Sopé de Encosta, podendo ser explicado pela topografia já bastante dissecada do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. O entalhe fluvial dissecou os fundos de vale principais e permitiu a geração de encostas íngremes e com

expressivo comprimento. Esta evolução ocorreu principalmente ao longo do período Quaternário devido ao ajuste fluvial do rio Paraíba do Sul às variações do nível do mar durante este período. Após este ajuste fluvial, os tributários do rio Paraíba do Sul seguiram a adaptação ao nível de base regional provocado pelo rebaixamento durante o Quaternário. Tal evidência é ressaltada através da interpretação da figura 4, que expressa essa explicação e mostra que para todas as litologias da bacia há o predomínio das classes de Média Encosta e Sopé de Encosta. O fato de ocorrerem mantos de intemperismo espessos na bacia, faz com que a composição litológica tenha menor efetividade para orientação do relevo, cabendo maior participação das estruturas geológicas.

FIGURA 4: Gráfico Geomorfológico - Geológico
Fonte: Autores

Como podemos observar na figura 5, a maior quantidade dos processos erosivos ocorrem na área abrangida pelo Gnaisse Calcissilicático (48,2%) e Mármore (25,9%). Acredita-se que juntamente com a declividade do relevo, as foliações metamórficas dos Gnaisse Calcissilicáticos e a orientação dos grãos do mármore exercem influência ativa nos processos erosivos, visto que, grande parte dos solos são saprolíticos e ainda mantém parte da estrutura original da rocha matriz.

FIGURA 5: Gráfico Erosão - Geológico
Fonte: Autores

Seguindo a mesma lógica, o quartzito disporia de menores áreas de processos erosivos, visto que sua estrutura é maciça e carece de orientação mineral. No entanto, a área de abrangência do quartzito é pouco expressiva para uma análise minuciosa, o que poderia explicar a falta de processos erosivos nesta litologia. Já as ocorrências no Ortognaisse mostraram-se reduzidas ao que se refere aos processos erosivos, possivelmente ligados à fraca foliação e estrutura maciça da rocha. Posteriormente deverão ser feitos novos estudos e análises petrográficas das litologias coletadas durante o campo.

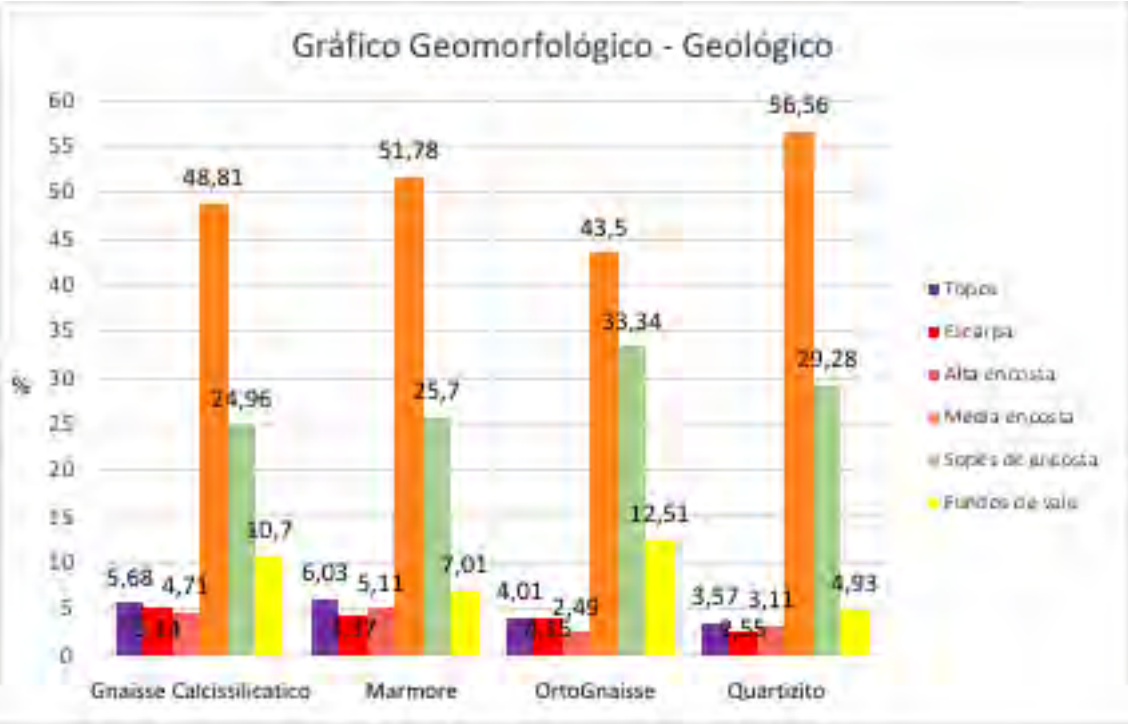
5. Conclusões

A bacia do Valão do D'Antas apresentou condições geomorfológicas bastante similares ao domínio de colinas convexo-côncavas do baixo curso do rio Paraíba do Sul, evidenciando o predomínio das classes de Média Encosta e Sopé de Encosta.

Este predomínio está associado a expressiva dissecação do rio Paraíba do Sul no Quaternário, com reflexo na geração de encostas íngremes e alongadas. Uma parte destas encostas estão alinhadas em conformação de cristas que seguem a orientação das estruturas geológicas, assim como os rios tributários da bacia que compõe o padrão treliça muito evidente.

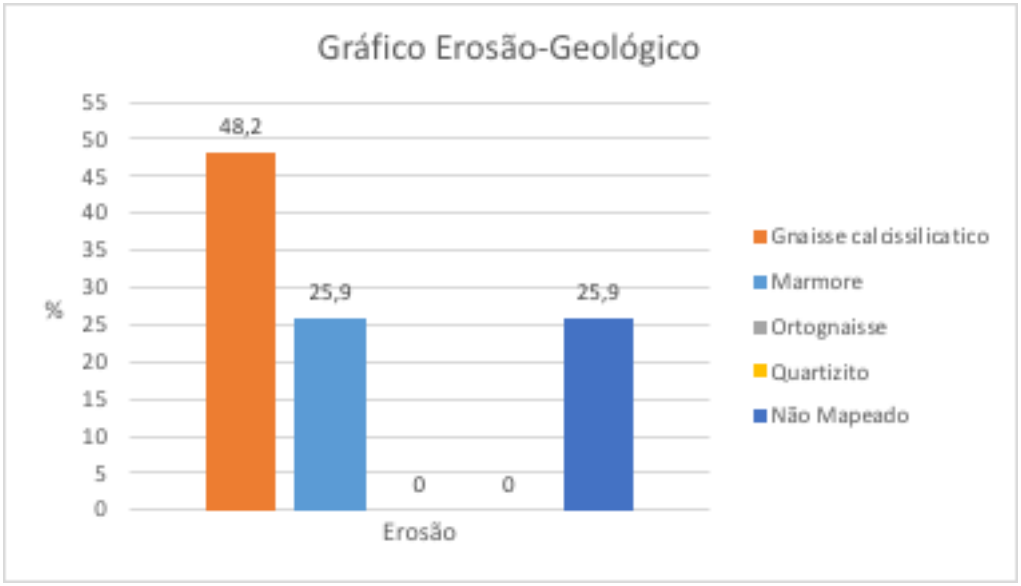
As diferentes litologias se encontram bastante intemperizadas e recobertas por saprolitos espessos, isso impede que haja um controle litológico no aparecimento das formas de encosta. Praticamente todas as classes do mapeamento geomorfológico se distribuem homogeneamente nas quatro classes do mapeamento geológico.

Os processos de erosão mostraram-se mais associados ao Gnaisse Calcissilicático e ao Mármore, indicando influências mineralógicas para suscetibilidade erosiva verificada na bacia estudada.



Agradecimentos

Agradecemos aos participantes do Laboratório Interdisciplinar de Estudos Geoambientais (LIEG) pelas valiosas discussões afim de aprimorar o presente trabalho. Não menos importante, agradecemos ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e AGEVAP pela concessão de auxílio financeiro para a elaboração do projeto.



Referências

ARGENTO, Mauro S. F. Mapeamento Geomorfológico. Capítulo 9, IN: GUERRA, A. J T. e CUNHA, S. B. Geomorfologia Uma Atualização de Bases e Conceitos. 3° Edição. Bertrand editora. Rio de Janeiro, 1998.

CARVALHO FILHO, Amaury de *et al.* Projeto Rio de Janeiro: estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM, 2001. Escala 1:500.000. Programa de Informações para Gestão Territorial – GATE.

COELHO-NETTO, Ana Luiza *et al.* Landslide susceptibility in a mountainous

geoecosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The role of morphometric subdivision of the terrain. Geomorphology, v. 87, n. 3, p. 120-131, 2007.

DANTAS, M. Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro. CPRM, Brasília, 2000.

Dantas, M. E., Shinzato, E., MEDINA, A. I. D. M., SILVA, C. R. D., Pimentel, J., Lumbreras, J. F., ... & CARVALHO FILHO, A. D. (2005). Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro.

DE REU, Jeroen *et al.* Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. Geomorphology, v. 186, p. 39-49, 2013.

GUERRA, Antonio José Teixeira; MARÇAL, Mônica dos Santos. (ORG.). Geomorfologia Ambiental. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 189 p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Manual técnico de geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 112 p.

HACK, John Tilton. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. Bobbs-Merrill, 1960.

LIMA, F. J. ; LIMA, G. G. ; CORREA, A. C. B. ; MARÇAL, M. S. . Mapeamento geomorfológico em escala de semi-detalhe e a flexibilização de manuais de mapeamento: breves considerações a partir de um estudo de caso - setor subúmido do planalto sedimentar do Araripe/CE/Brasil. Ensaios de Geografia, v. 3, p. 61-78, 2014.

MARQUES, Jorge S. Ciência Geomorfológica. Capítulo, IN: GUERRA, A. J T. e CUNHA, S. B. Geomorfologia Uma Atualização de Bases e Conceitos. 3° Edição. Bertrand editora. Rio de Janeiro, 1998.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão Taxonômica do Relevo. Revista do Departamento de Geografia – USP. EDUSP Editora. N° 6, Pg: 17 – 30. 1992.

SILVA, Luiz Carlos; CUNHA, Hélio Canejo da Silva. Geologia do estado do Rio de Janeiro. Organizadores. CDROM. CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2001.

SOFFIATI, Arthur. "Florestas, pererecas e peixinhos", Revista Visão Socioambiental [on-line]. Disponível em: <http://www.visaosocioambiental.com.br/site/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1>. Acesso em: 15 dez. 2019.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO TOMÉ, ALFENAS/MG

Guilherme da Silva Rios
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)
Instituto de Ciências da Natureza (ICN)
Av. Jovino Fernandes Sales, 2.600 - Alfenas/MG - 37133-840
E-mail: guilherme.rios@sou.unifal-mg.edu.br
Raiane Cristina Pereira
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)
Instituto de Ciências da Natureza (ICN)
Av. Jovino Fernandes Sales, 2.600 - Alfenas/MG - 37133-840
E-mail: raiane.pereira@sou.unifal-mg.edu.br
Marcelo de Oliveira Latuf
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)
Instituto de Ciências da Natureza (ICN)
Av. Jovino Fernandes Sales, 2.600 - Alfenas/MG - 37133-840
E-mail: marcelo.latuf@unifal-mg.edu.br

Resumo

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é um dos principais mecanismos adotados para análises hidrológicas e ambientais, objetivando-se melhor a compreensão de suas dinâmicas local e regional, além de apoiar o gerenciamento dos recursos hídricos. Enquadra-se neste contexto, a bacia hidrográfica do rio São Tomé, localizada ao Sul de Minas Gerais, abrangendo três municípios e sendo responsável pelo abastecimento urbano de Alfenas/MG. Desta maneira, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar morfometricamente tal bacia, por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A bacia foi subdividida em 42 sub-bacias para obtenção dos parâmetros morfométricos em maiores detalhes, por meio de modelo digital de terreno oriundo de cartas topográficas na escala 1:50.000. Como resultados, a área de drenagem foi estimada em 262,24km² e o perímetro de 136,68km e coeficiente de compacidade superior a 1,5 demonstrando que a bacia apresenta baixa suscetibilidade a enchentes.

Palavras-chave: Morfometria, Modelo digital de elevação, SIG, Recursos hídricos.

Introdução

A irregular distribuição da água no planeta influi em um panorama de abundância e escassez em diversas regiões pelo mundo (TUNDISI, 2008). Sua utilização engloba desde o consumo humano, animal, vegetal, à utilização industrial e sofre degradação expressiva devido ao seu uso inadequado (GARCIA, 2011). Esse cenário corrobora para uma perda quali-quantitativa do recurso e, consequentemente, para o aumento dos custos de tratamento e manutenção deste (TUNDISI, 2011).

Com base nesse pressuposto, as medidas de gerenciamento dos corpos hídricos, tornam-se cada vez mais complexas e necessárias, de maneira a conter a crise estabelecida e buscar alternativas para uma integração de interesses socioambientais junto aos órgãos públicos, que garantam os usos múltiplos da água (BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTHUL, 2010)

Nesse sentido, a bacia hidrográfica, entendida como sendo "[...] uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída" (TUCCI, 1997, p.40) se expressa como a unidade territorial para realização e aplicação de políticas públicas para proteção e conservação dos recursos hídricos, no que tange a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (BRASIL, 1997).

Em determinados recortes territoriais, a bacia hidrográfica demanda a atenção para certas características ambientais, sociais e econômicas, pois sua área geográfica é formada por cursos d'água e seus afluentes, direta ou indiretamente, que direcionam a ocupação humana que se utiliza de tal recurso.

O estudo com o enfoque em bacias hidrográficas urbanas e rurais é necessário quando se busca o equilíbrio entre a exploração e a sustentabilidade. A ocupação da bacia hidrográfica expressa-se, na maior parte dos casos, de maneira desordenada, promovido pela expansão das áreas agrícolas e expressiva urbanização pelo crescimento populacional acelerado (ROCHA, 2014).

Um dos instrumentos mais utilizados para a análise de bacias hidrográficas é o levantamento morfométrico. Christofoletti (1981) constatou que os índices morfométricos podem ser fragmentados em quatro níveis de abordagem, no estudo de bacias hidrográficas e são eles: hierarquia fluvial, análise linear, análise areal e análise hipsométrica. Em nosso trabalho, optou-se em dar enfoque às análises linear e areal.

A análise linear compreende os índices e relações da rede hidrográfica, onde os cálculos são realizados ao longo dos cursos d'água. Segundo Christofoletti (1979), parâmetros lineares "são englobados a propósito da rede hidrográfica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento". Alguns parâmetros podem ser destacados, tais como: comprimento médio dos canais de cada ordem, comprimento total dos canais, taxa de bifurcação, comprimento do rio principal e gradiente dos canais.

Na análise areal das bacias hidrográficas englobam "vários índices nos quais intervêm medições planimétricas, além de medições lineares" (CHRISTOFOLETTI, 1979). Podem ser utilizados parâmetros tais como: a área da bacia, o comprimento da bacia, a relação entre o comprimento do rio principal e área da bacia, densidade de drenagem, forma da bacia, densidade de segmentos da bacia, relação entre áreas das bacias, frequência de canais de primeira ordem e coeficiente de manutenção (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Tais caracterizações possuem ampla aplicabilidade, como no caso dos indicadores para previsão do grau de vulnerabilidade da bacia a fenômenos como inundações, erodibilidade do solo dentre outros (CARDOSO, 2006).

Nesse sentido, a evolução tecnológica propiciou a utilização de procedimentos automáticos na delimitação, bem como, na extração de dados de bacias hidrográficas. Tal utilização visa minimizar os possíveis erros causados pela subjetividade do intérprete, além de tornar expressivamente mais rápido os processos de manuseio de dados envolvendo escalas maiores.

Técnicas envolvendo tais processos foram geradas e aprimoradas, baseando-se em ferramentas como o Sistema de Informação Geográfica e o Modelo Digital de Terreno (MDT). Latuf et al. (2010) descrevem o MDT como sendo "uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região de interesse na superfície terrestre, neste caso, a altitude".

Desta maneira, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar a bacia hidrográfica do rio São Tomé, a partir da estimativa de parâmetros morfométricos por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG), a fim de destacar diferenças entre os recortes territoriais de análise entre a bacia e suas sub-bacias.

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio São Tomé está localizada no sul do Estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1) e abrange os municípios de Alfenas, Serrania e Machado. A área possui cerca de 262 km², sendo as principais vias de acesso, a Rodovia Vital Brasil (BR-267), a Rodovia Waltemar Miguel (MG-879) e a Rodovia Deputado Navarro de Oliveira (MG-179).

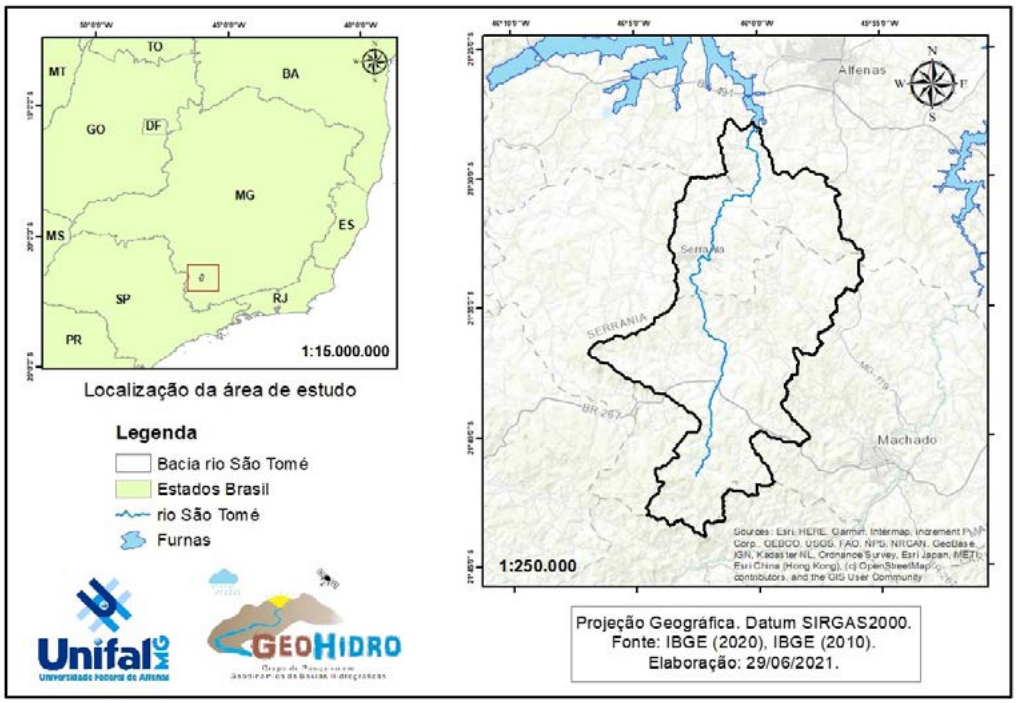


FIGURA 1: Localização da bacia do rio São Tomé.
Fonte: Arquivo dos autores.

A bacia pertence à bacia hidrográfica do reservatório de Furnas e possui expressiva importância do ponto de vista ambiental e social para toda área envolvente, pois além de proporcionar o abastecimento urbano das cidades de Alfenas, que possui segundo o último censo 68.419 habitantes (IBGE, 2010), enquanto Serrania possui 7.542 (IBGE, 2010), está diretamente ligada no contexto econômico da região, que depende do reservatório e seus afluentes para o turismo, abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação e piscicultura.

A área apresenta geologia variada, dividindo-se em três formações: Complexo Amparo (CA) e Complexo Guaxupé (CG) e Sedimentos Aluviais (AS). A geomorfologia divide-se em Superfícies Rebaixadas de Patamares Colinosos, Mares de Morros e Terraços Fluviais. As classes de solo dominantes são os Latossolos Vermelhos, Argissolos Vermelho, Argissolos Vermelho Amarelo, Gleissolos e Neossolos Litólico (JUSTINO, 2013).

Apresenta diversidade de uso e cobertura da terra, destacando-se o cultivo de café, cana de açúcar, atividade pecuária e agricultura temporária (JUSTINO, 2013). A vegetação típica da região é formada por Floresta Estacional Semidecidual Ombrófila Mista e Cerrado (RADAMBRASIL, 1983).

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, enquadra-se no tipo Cwa, ou seja, subtropical moderado úmido: com a temperatura média do mês mais frio oscilando entre 13,4 e 17,5ºC e a do mês mais quente entre 21,3 e 24ºC. O inverno caracteriza-se por 2 a 4 meses secos. A precipitação média anual é de 1.513mm, apresentando o período de chuvas de outubro a março, e um período de estiagem de abril a setembro (NAZARETH, 2014).

Materiais e métodos

A base cartográfica e as análises foram realizadas a partir da base de dados disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:50.000. Foram utilizadas as cartas: Alfenas (FOLHA SF-23-I-I-3), Areado (FOLHA SF-23-V-D-I-4), Campestre (FOLHA SF-23-V-D-IV-2) e Machado (FOLHA SF23-I-III-1), registradas por meio de 17 pontos de controle distribuídos ao longo de cada uma das cartas, adotando a raiz do erro médio quadrático (RMSE) como parâmetro decisório da acurácia do registro, em virtude da adoção do limiar de 0,3mm da escala da carta, equivalente a 15m de erro máximo por ponto de controle.

Posteriormente, obteve-se as feições digitalizadas das curvas de nível, rede hidrográfica, reservatório de Furnas e pontos cotados, por meio da vetorização em tela, utilizando-se a ferramenta *Editor* do software ArcGIS® 10.6.1.

Para um estudo mais detalhado, a bacia hidrográfica do rio São Tomé foi dividida em sub-bacias e analisadas individualmente. Para geração automática das mesmas foi utilizado o modelo proposto por Jenson et al. (1988), no qual descrevem todas as etapas a serem seguidas. A geração automática das sub-bacias hidrográficas, utilizou-se a extensão *ArcHydro* do ArcGIS® 10.6.1. Tal processo foi gerado a partir de um MDT no formato *raster*, possibilitando a aquisição de dados como: direção de fluxo, fluxo acumulado, definição da rede de drenagem no formato *raster*, segmentação da drenagem e delimitação de bacias.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) foi obtido a partir de curvas de nível com equidistância vertical de 20m, hidrografia e pontos cotados contidos nas cartas topográficas do IBGE, com resolução espacial de 10m.

Existem diversos métodos para produção de MDT's a partir de curvas de nível, que podem ser distinguidos pela maneira como tentam afeiçoar a superfície, usando a informação das curvas (CHAGAS, 2010). No presente estudo utilizou-se o método baseado no ajustamento da superfície, através do módulo *Topo To Raster*, baseado no método de interpolação TOPOGRID advindo do ArcINFO®, para a geração de modelos de terreno hidrologicamente consistentes.

Os parâmetros morfométricos utilizados foram divididos em três categorias: parâmetros básicos (contendo a área de drenagem, perímetro e declividade média da bacia), parâmetros derivados (densidade de drenagem e densidade Hidrográfica) e parâmetro de forma (coeficiente de compacidade), como demonstrado no Tabela 1.

TABELA 1
Relação: parâmetro x equação

Parâmetro	Equações
Área de drenagem (A)	Área em km²
Perímetro (P)	Perímetro em km
Declividade média da bacia (Dm)	Declividade mínima/máxima
Densidade de drenagem (Dd)	Lt/A (HORTON, 1945)
Densidade Hidrográfica (Dh)	Nr/A (CHRISTOFOLETTI, 1974)
Coeficiente de compacidade (Kc)	0,28 (P/√ A) (VILLELA MATTOS 1975)

Fonte: Arquivo dos autores.

Para a delimitação da bacia e sub-bacias, obteve-se inicialmente, o dado de direção do fluxo, "que consiste em indicar, a partir de uma célula principal, para onde ela deverá seguir, de acordo com a declividade das células vizinhas" (SILVA, 2013). Logo após, obteve-se o fluxo acumulado, que é gerado a partir da direção do fluxo, onde considera-se "o número de células que drenam para cada célula de uma grade de entrada, formando dessa maneira os rios" (SILVA, 2013).

Esses dados possibilitam a definição da rede de drenagem numérica, utilizando-se do método D8, onde a declividade de uma linha, então unida à célula central e a cada uma de suas vizinhas é calculada e o fluxo direciona-se à célula vizinha onde a declividade é maior (O'CALLAGHAN et al., 1984). Tais ferramentas encontram-se disponíveis também na extensão *ArcHydro* do software ArcGIS 10.6.1®. Assim, optou-se pela análise de acúmulo em 30.000 células, onde são necessários 30.000 *pixels* para que a rede de drenagem numérica forme o ponto de nascente, levando em consideração que a resolução do MDT utilizado é de 10m, com o intuito de ajuste à hidrografia mapeada. A partir disso, as 42 sub-bacias foram divididas automaticamente, através do algoritmo elaborado por Jenson et al. (1988).

Utilizou-se ainda neste estudo, a técnica de análise de conglomerado (*cluster analysis*) por meio do software RStudio 1.3.1073 (R CORE TEAM, 2020), utilizando-se dos métodos de Distância Euclidiana e Ward (BERALDO; SALDANHA, 2016), com o intuito de regionalizar a variável morfométrica de densidade de drenagem na bacia do rio São Tomé. Esta técnica permite a separação de grupos estatisticamente homogêneos entre si e, por outro lado, diferentes entre grupos (BATTISTI; SMOLSKI, 2019), auxiliando na detecção de características distintas das variáveis analisadas.

Resultados e discussão

A partir do processamento e análise dos dados de Modelo Digital de Elevação, desenvolvido pelo método supramencionado, foi possível obter a delimitação da bacia hidrográfica do rio São Tomé, assim como a modelagem de toda a rede de drenagem que compõe esta bacia.

Foi aferido que a bacia hidrográfica do rio São Tomé possui uma área de 262,24km², abrangendo um total de três municípios. Os parâmetros morfométricos obtidos na bacia hidrográfica em estudo podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 2
Relação: parâmetros morfométricos empregados.

Parâmetros morfométricos	Unidade	Valor
Área de drenagem	km²	262,24
Perímetro	km	136,68
Comprimento total de rios	km	428,01
Densidade de drenagem	km/km²	1,63
Número de rios	Unidade	724
Densidade de rios	Und/km²	2,76
Altitude máxima	m	1.307,39
Altitude mínima	m	768,52
Amplitude altimétrica	m	538,86
Altitude média	m	939,58
Declividade máxima	%	104,32
Declividade mínima	%	0,00
Declividade média	%	17,77
Índice de compacidade	Adimensional	2,36

Fonte: Arquivo dos autores.

Dentre os parâmetros que abrangem o relevo, a altitude é um fator de fundamental importância, pois indica as variações topográficas da bacia. No presente trabalho observou-se uma amplitude altimétrica de 539m (Figura 2A), caracterizada por elevadas variações de altitude, sendo a altitude máxima de 1.307m nas áreas de nascente (próximo à cidade de Machado-MG) e a altitude mínima de 768m na foz do rio (reservatório de Furnas), ficando a altitude média em 939m sendo que as maiores elevações foram encontradas no alto curso da bacia, mais especificamente na região extremo Sul (Figura 2B). A altitude média influencia diretamente na quantidade de radiação que a bacia recebe e, consequentemente, na evapotranspiração, temperatura e precipitação (TONELLO et al., 2006).

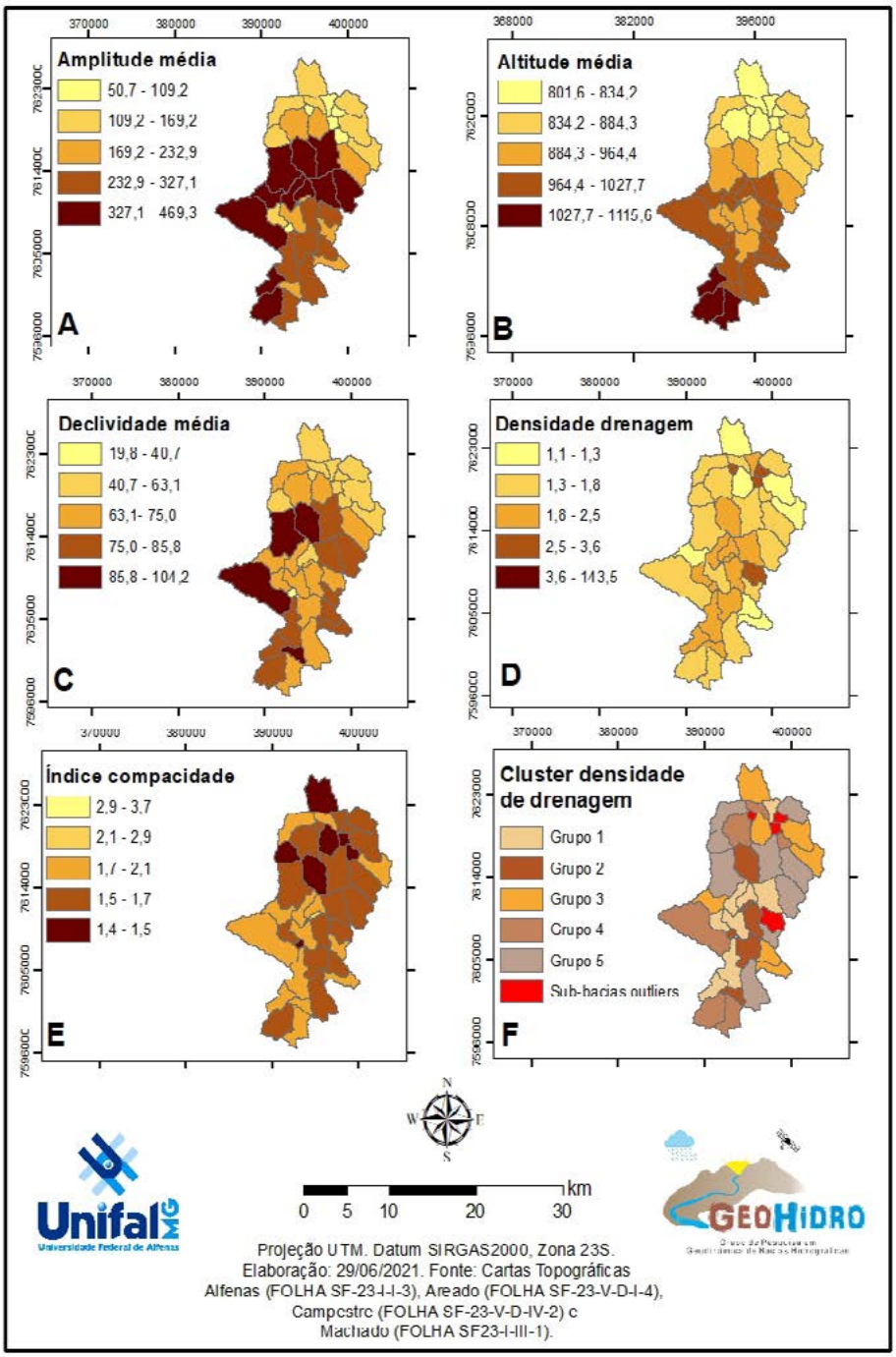


FIGURA 2: Mapas temáticos com informações morfométricas.
Fonte: Arquivo dos autores.

O mapa de declividade (Figura 2C) apresenta áreas com declividade média superior a 22% em trechos de alto e médio curso. As áreas que apresentaram menor declividade estão localizadas no baixo curso, que variam entre 8% e 18%. A declividade média de uma bacia hidrográfica é relevante no planejamento, não só para com o cumprimento da legislação estabelecida, mas também para garantir de modo efetivo as intervenções do homem no meio, pois possui importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo.

A classe de solo e intensidade de chuvas, associado à ausência de cobertura vegetal, e maior declividade, acarretará uma velocidade de escoamento superficial elevada, levando a uma menor quantidade de água armazenada no solo, podendo resultar em erosões, carreamento de sedimentos, inundações dentre outras. Com isso, a menor oportunidade de infiltração e maior suscetibilidade à erosão dos solos ou a gravidade dos picos de enchentes, dependem da velocidade com que ocorre o escoamento superficial, que está fortemente vinculado às formas do relevo.

Com relação ao parâmetro de densidade de drenagem foi obtido o valor de 1,63km/km2 para a bacia do rio São Tomé (Figura 2D). Villela e Mattos (1975) alegam que esse índice pode variar de 0,5km/km2 (bacias com drenagem relativamente baixas) a 3,5 ou mais (bacias com drenagem expressivas), evidenciando que a bacia em estudo apresenta capacidade de drenagem mediana. Na divisão em sub-bacias, fica evidente que a área não é homogênea e, portanto, necessita de maior atenção em determinados trechos.

Para Cardoso et al. (2006), o parâmetro do coeficiente de compacidade (Kc) associado à análise de outros índices, pode mensurar a susceptibilidade a enchentes depende da proximidade do valor obtido da unidade, isto é, quanto mais próximo de 1, maior será o risco de ocorrências de enchentes. Deve-se notar que o Kc se traduz pela relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de uma circunferência de um círculo de área igual à da bacia.

O valor máximo de Kc encontrado entre as sub-bacias é de 1,5 (Figura 2E), indicando que, em condições normais de precipitação, são pouco suscetíveis a enchentes, visto que tais valores encontrados apontam que a bacia possui formato irregular.

Com relação à análise de conglomerado, resultou-se na separação de cinco grupos distintos, com relação à variável densidade de drenagem na bacia do rio São Tomé (Figura 3). Desta forma, é possível a realização da análise morfométrica por sub-bacia, evidenciando diferenças estatísticas entre os grupos.

A densidade de drenagem da bacia foi de 1,63km/km^{-1} (Tabela 2) já mencionado, porém quando se analisa de forma compartimentada por sub-bacias, houve a identificação de valores entre 1,1km/km^{-1} a 143km/km^{-1}. Isto revela que a análise por sub-bacia deve ser feita adotando critérios, a exemplo, da análise de dados discrepantes (*outliers*), pois o método automático pode delimitar sub-bacias com áreas expressivamente pequenas, o que resulta em uma densidade de drenagem alta.

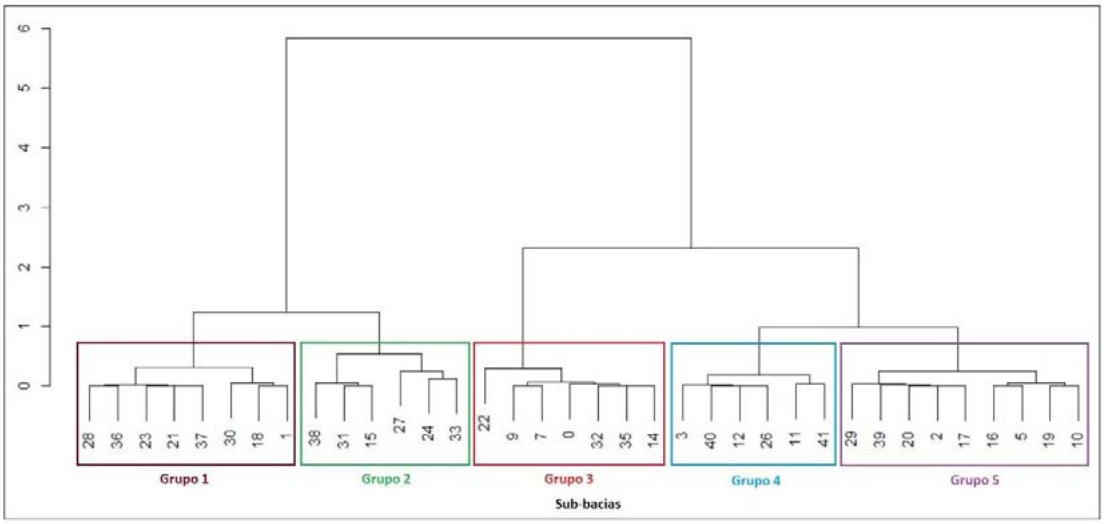


FIGURA 3: Dendograma resultante da análise hierárquica da variável densidade de drenagem.
Fonte: Arquivo dos autores.

Após remoção de sub-bacias com dados *outliers* (n = 6), estimou-se a média da densidade de drenagem por grupos, obtendo-se os valores de 1,95 km/km² (n = 8), 2,23 km/km² (n = 6), 1,31 km/km² (n = 7), 1,75 km/km² (n = 6) e 1,57km/km² (n = 9), respectivamente aos grupos de 1 a 5. Desta forma, nota-se que o grupo 2 obteve a maior densidade de drenagem média na bacia, enquanto o grupo 3, apresentou a menor densidade de drenagem média.

Considerações finais

A delimitação automática de bacias hidrográficas é uma metodologia de utilização simples, que pode ser aplicada em outras áreas, porém necessita de atenção especial no início do processo de determinação e definição das curvas de nível, pontos cotados e rede de drenagem.

A drenagem da bacia apresenta padrão pouco sinuoso formado por cursos d'água e tributários de relevância para a população local, que utiliza da água para sua subsistência, bem como para a utilização de irrigação para o plantio, dessedentação animal, piscicultura dentre outros.

A morfometria diferenciada entre as sub-bacias, principalmente em termos de declividade, exposição do terreno e declividade média do curso d'água principal, indica um provável comportamento hidrológico também diferenciado, o que evidencia a necessidade de um manejo específico de cada uma dessas sub-bacias.

Quanto à análise de conglomerado relacionado ao parâmetro de densidade de drenagem, abrem-se novas perspectivas de estudos na bacia, bem como na área de geomorfologia fluvial, em virtude da busca pela regionalização de parâmetros em bacias hidrográficas, com o intuito de auxiliar no diagnóstico, bem como em medidas de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Referências

BATTISTI, I. D. E.; SMOLSKI, F. M. S. **Software R: curso avançado em Estatística com R da UFFS**. Chapecó: UFFS, 2019, Disponível em: < https://smolski.github.io/livroavancado/index.html>.

BERALDO, A. F.; SALDANHA, R. F. Estatística V: Análise Multivariada: **Apostila de curso em Análise Multivariada**. 2016. Disponível em: <http://www.ufjf.br/antonio_beraldo/cursos/analise-multivariada>. Acesso em: 15 dez. 2016.

BICUDO, C.E.de M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B., orgs. Águas do Brasil: análises estratégicas. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**.

CARDOSO, C. A. *et al.* Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore,** v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CHAGAS, C. S. *et al.* Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974, 109-121p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo. Editora Edgard Blucher,1981. 313p.

GARCIA, Y. M. **Aplicação do Código Florestal como Subsídio para o Planejamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego do Palmitalzinho-Regente Feijó-São Paulo**. Trabalho de conclusão (Bacharelado-Geografia), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia-Presidente Prudente:[sn], v. 145, 2011.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology, **Geological Society of America Bulletin,** n. 56 pp. 275–370, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo** Brasileiro de **2010**.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering And Remote Sensing**, vol. 54, n. 11, p. 1593-1600, nov. 1988.

JUSTINO, R. C. *et al.* **Mapeamento do uso da terra e da cobertura vegetal da microbacia hidrográfica do rio são tomé, sul de Minas Gerais**. Dissertação (Graduação em Geografia) – Instituto Ciências da Natureza, Geografia bacharelado, Universidade Federal de Alfenas. Alfenas, 2013.

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. Técnicas de sensoriamento remoto. **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**, 2011.

NAZARETH, E. R. de; FERREIRA, M. F. M.. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA DO RIBEIRÃO SÃO THOMÉ–SERRANIA–MG. **I Simpósio Mineiro de Geografia**, Alfenas-MG, v. 1 pag. 77, 2014.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer vision, graphics, and image processing**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984.

OLIVEIRA LATUF, M. de; SOUZA ALMEIDA, R. de; ARAÚJO, N. S. P. de. MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA A DELIMITAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: bacia do rio de Ondas. **Anais,** X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2010.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/. 2020.

RADAMBRASIL. **Levantamento dos recursos naturais: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Folhas SF. 23 / 24, Rio de Janeiro/Vitória**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1983. 780p.

ROCHA, R. M. *et al.* Caracterização morfométrica da microbacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 276-287, 2014.

SILVA, J. R.; MOURA, A. C. M. Delimitação automática de microbacias hidrográficas no município de Ouro Preto-MG. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, INPE, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais**, v. 13, p. 4496-4502, 2013.

TONELLO, K. C. *et al.* Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Recursos hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABHR, 1997.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **A Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, p. 245, 1975.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO TRICOLOR – PR

William Henrique Kurunczi Ferreira
Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina.
Rodovia Celso Garcia Cid - PR 445 Km 380 - Campus Universitário – Centro de Ciências Exatas.
CEP: 86.057-970, Caixa Postal 10.011, Londrina – Paraná, Brasil.
E-mail: william_kferreira@hotmail.com
Marciel Lohmann
Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina.
Rodovia Celso Garcia Cid - PR 445 Km 380 - Campus Universitário – Centro de Ciências Exatas.
CEP: 86.057-970, Caixa Postal 10.011, Londrina – Paraná, Brasil.
E-mail: marciel@uel.br

Pâmela da Silva Gaedke
Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina.
Rodovia Celso Garcia Cid - PR 445 Km 380 - Campus Universitário – Centro de Ciências Exatas.
CEP: 86.057-970, Caixa Postal 10.011, Londrina – Paraná, Brasil.
E-mail: pamela_gaedke@hotmail.com
Rafael Pietroski Galvão
Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina.
Rodovia Celso Garcia Cid - PR 445 Km 380 - Campus Universitário – Centro de Ciências Exatas.
CEP: 86.057-970, Caixa Postal 10.011, Londrina – Paraná, Brasil.
E-mail: rafaelpietroskigalvao@hotmail.com

Resumo

A análise morfométrica de bacias hidrográficas se faz fundamental para a realização de estudos ambientais e para o manejo de seus recursos naturais, pois podem servir de base na identificação de riscos e de vulnerabilidades presentes na bacia. Desta maneira, o presente trabalho teve como objetivo central analisar os principais parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor - PR, localizada na Mesorregião do Centro Ocidental Paranaense, bem como compreender as dinâmicas envolvidas no relevo da área e sua extensa rede de drenagem. Os resultados dos índices seguem a bibliografia de Christofoletti (1980) e outros, onde explicitam os critérios lineares, areais, hipsométricos e de fatores hierárquicos aplicados a estudos morfométricos de uma bacia hidrográfica. Dessa forma, os resultados encontrados apontam um predomínio do escoamento superficial frente à infiltração, fornecendo subsídios que possam contribuir para uma melhor gestão ambiental e territorial da área.

Palavras-chave: Análise ambiental; Índices morfométricos; Ordenamento territorial; Planejamento ambiental.

1. Introdução

Segundo Christofoletti (1980), a bacia hidrográfica é definida pelo conjunto de canais de escoamento interrelacionados que captam e drenam a água da chuva e sedimentos de uma determinada área por um rio ou sistema fluvial. A bacia ocupa uma área onde a quantidade de água é determinada pela precipitação total e seu regime, à evapotranspiração e suas devidas perdas e à infiltração. O autor ainda elucida a importância que as características físicas influenciam nos padrões de drenagem, de forma que os arranjos espaciais dos cursos fluviais dependem da atividade morfogenética, ou seja, da disposição das camadas rochosas, resistência litológica, diferenças de declividade e evolução geomorfológica da região (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 102).

Ainda sobre o conceito de bacia hidrográfica, Teodoro et al. (2007), além de outros autores, fazem a associação de uma abordagem sistêmica, de maneira em que as bacias são entendidas como um sistema aberto, que recebe energia através de agentes climáticos e perde esta energia por meio do escoamento para as partes mais baixas do relevo, em direção a uma saída comum, o exutório do rio. Dentro desta perspectiva sistêmica, (LIMA, 2008, p. 138) afirma que "qualquer modificação no recebimento ou na liberação de energia, ou modificação na forma do sistema, acarretará em uma mudança compensatória que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico".

Devido a este caráter integrativo, as bacias hidrográficas são vistas como um recorte espacial ideal ao planejamento territorial e ambiental, sendo trabalhadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação, visando a gestão de seus recursos (VILAÇA et al., 2009). Sendo assim, na Geomorfologia, os estudos que compreendem as drenagens fluviais são importantes, pois evidenciam os processos morfogenéticos a partir dos cursos d'água como agentes ativos na esculturação da paisagem terrestre. Desta maneira, para a realização de estudos ambientais em bacias hidrográficas, a análise morfométrica se destaca como um importante meio de análise quantitativa do relevo, possibilitando a compreensão da configuração espacial do conjunto das vertentes e drenagens (GUERRA; CUNHA, 2003).

Posto isto, de acordo com Christofoletti (1980), a análise morfométrica de bacia hidrográficas seguem um conjunto metodológico de maior enfoque nas informações físicos-naturais, possibilitando a obtenção de dados importantes na caracterização de uma área de estudo, com parâmetros para análises areal, linear e hipsométrica. Sendo assim, o uso de índices morfométricos como um todo, contribuem ao entendimento da dinâmica de uma bacia, além de servir como referencial ao planejamento ambiental e na tomada de decisões.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise dos componentes físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor, sendo esta uma extensa bacia localizada na porção Centro Ocidental do Estado do Paraná, por meio dos parâmetros morfométricos, buscando assim, compreender sua dinâmica fluvial e também contribuir com a gestão de seus recursos.

2. Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor localiza-se na mesorregião Centro Ocidental Paranaense entre as coordenadas geográficas 24°15' 59" e 24° 41' 18" de latitude Sul, 52° 59' 56" e 52° 19' 8" de longitude Oeste. Também é classificada como uma sub-bacia do rio Piquiri e compreende área parcial de 8 municípios, sendo eles Boa Esperança, Campina da Lagoa, Juranda, Luiziana, Mamborê, Nova Cantu, Roncador e Ubiratã, os quais apresentam uma estimativa de população somada de 81.326 habitantes para o ano de 2020, segundo o IBGE. A localização

e disposição da bacia, além de sua compartimentação em alto, médio e baixo cursos, podem ser observados pelo mapa da Figura 1.

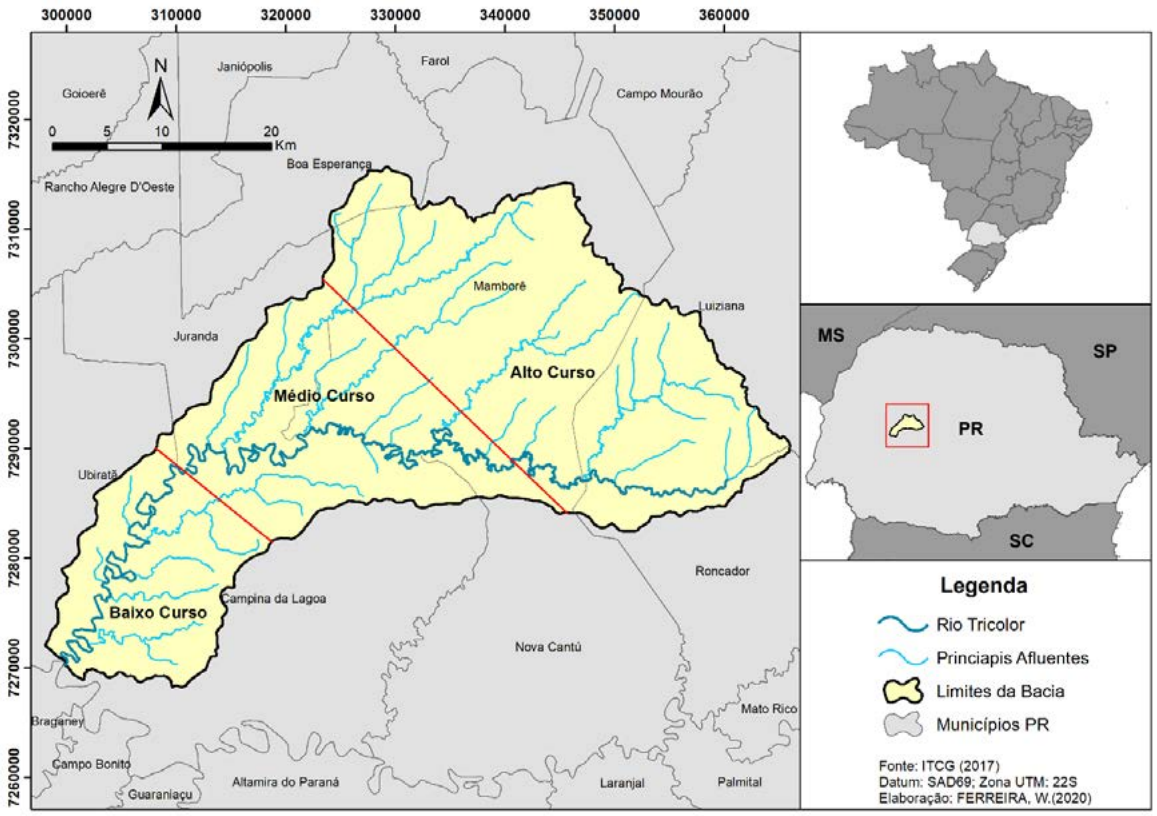


FIGURA 1: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor – PR.

Se tratando da Geomorfologia local, a bacia em estudo está inserida dentro da grande unidade estrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, situada no Terceiro Planalto Paranaense, com a maior parte de sua área na subunidade morfoescultural do Planalto de Campo Mourão, o qual se caracteriza por apresentar classe de declividade predominante menor do que 6% e formas de vertente sobretudo de topos aplainados, vertentes retilíneas e côncavas na base e vales em calha. Entretanto, em seu baixo curso, a bacia se encontra inserida na subunidade do Planalto do Alto/Médio Piquiri, o qual apresenta o predomínio de classes de declividade maiores, principalmente entre 12 a 30%, cujo as formas predominantes são de topos alongados e isolados, vertentes convexas e convexo-côncavas e vales em "U" aberto (MINEROPAR, 2006).

Levando em consideração as características de Geologia local, grande parte da área bacia pertence a formação litológica Serra Geral do Grupo São Bento, sendo esta caracterizada pelos extensos derramamentos de rochas ígneas, principalmente de basaltos de idade jurássica-cretácica, entre 140 a 230 M.a atrás, além de algumas porções ao Norte da bacia que pertencem a formação Caiuá do grupo Bauru, constituída por depósitos de ambientes eólico e fluvial, com arenitos finos a médios de estratificação cruzada de grande porte do período Cretáceo, entre 65 a 140 M.a atrás (MINEROPAR, 2001).

Em relação a pedologia, com base no levantamento realizado pela Embrapa no de 1999 para o Estado do Paraná em escala 1:600.000, são observados na bacia solos dos grupos Argissolos Vermelhos Distróficos; Latossolos Vermelhos Distroférricos, Distróficos e Eutroférricos; Neossolos Litólicos Eutróficos; além de

Nitossolos Vermelhos Eutroférricos e Distroférricos.

No tocante ao clima, tendo como base a classificação climática de Köppen, a região em que a bacia está inserida apresenta os tipos Cfb (alto e médio cursos) e Cfa (baixo curso), ambos entendidos como parte dos Climas temperados chuvosos e moderadamente quentes, sendo úmidos em todas as estações e com verões quentes ou moderadamente quentes (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA, 2007).

3. Materiais e Métodos

Para a caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor, foi tomado como base na produção dos mapas temáticos e para a realização dos cálculos, arquivos shapefiles disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dados altimétricos de curvas de nível com 20m de equidistância e de pontos cotados do Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG, 2017), além de bases sobre rede de drenagem do Instituto Água e Terra do Paraná (IAT) em levantamentos de escala 1:50.000.

Tais dados foram trabalhados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) fundamentados em abordagens metodológicas expostas por Strahler (1974) e Christofoletti (1980), além de outros autores, promovendo assim, a delimitação da bacia hidrográfica, mapas de hipsometria e declividade, a determinação da hierarquia fluvial e consequentemente a classificação de seus cursos d'água, a elaboração do perfil longitudinal do rio principal e a realização de perfis topográficos a partir da compartimentação da bacia em baixo, médio e alto cursos.

De acordo com Christofoletti (1980), os parâmetros morfométricos utilizados para análise e classificação das bacias hidrográficas podem ser organizados em três tipos principais, sendo eles:

a) Análise Linear da Rede Hidrográfica: onde são englobados os índices e relações da rede hidrográfica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento;

b) Análise Areal da Rede Hidrográfica: abrange índices nos quais intervêm medições planimétricas e lineares;

c) Análise Hipsométrica da Rede Hidrográfica: compreendendo índices focados no estudo das inter-relações existentes em determinada unidade horizontal de espaço e sua distribuição e proporção em relação às variações altimétricas.

Sendo assim, todos os cálculos e fórmulas utilizados podem ser observadas no Quadro 1.

QUADRO 01
Fórmulas e parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor - PR.

Parâmetro	Fórmula	Descrição
a) Análise Linear da Rede Hidrográfica		
L - Comprimento do rio principal (km)	*L*	Distância da nascente mais distante até a foz (Km)

Cmc - Comprimento Médio dos canais por ordem (km)	$Cmc = \frac{C_n}{N_n}$	Cn - comprimento total dos canais *N*n - número total dos canais de cada ordem
Eps - Extensão do percurso superficial (km)	$Eps = \frac{1}{2.Dd}$	*Dd* - densidade de drenagem
Isin - Índice de sinuosidade (adimensional)	$I_{sin} = \frac{L}{Lt}$	*L* - comprimento do rio principal *Lt* - comprimento do eixo da bacia
Lm – Comprimento médio dos rios (km)	$Lm = \frac{Lu}{Nu}$	*Lu* - extensão total dos rios (km) *Nu* - número total de rios (quantidade)
b) Análise Areal da Rede Hidrográfica		
A – Área da bacia (m² ou km²)	*A*	Refere-se a toda área drenada pelo conjunto de sistema fluvial.
Ff – Fator forma da bacia (adimensional)	$Ff = \frac{A}{L^2}$	*A* - área *L* - comprimento do eixo da bacia
Kc – Índice de compacidade (adimensional)	$K_c = \frac{P}{2\sqrt{A}.\pi}$	*P* - perímetro *A* - área
Dr – Densidade de rios (rios/km²)	$Dr = \frac{N}{A}$	*N* – número de nascentes *A* – área da bacia
Dd – Densidade de drenagem (km/km²)	$Dd = \frac{Lt}{A}$	*Lt* – comprimento total dos canais *A* – Área da bacia
Cm – Coeficiente de manutenção (m²)	$Cm = \frac{1}{Dd}.1000$	*Dd* – densidade de drenagem
c) Análise Hipsométrica da Rede Hidrográfica		
Hm – Amplitude altimétrica máxima da bacia (m)	$Hm = AN - AF$	*AN* – Altitude do ponto mais alto do divisor topográfico *AF* - Altitude da foz
Rr – Relação de relevo (m)	$Rr = \frac{Hm}{Lb}$	*Hm* – amplitude topográfica máxima *Lb* – comprimento da bacia
Ir – Índice de rugosidade (adimensional)	$Ir = H.Dd$	*H* – amplitude altimétrica *Dd* – densidade de drenagem
Tt – Textura topográfica (adimensional)	$Rr = \frac{1{,}6582462}{Dd^{1{,}115}}$	*Dd* – densidade de drenagem

Fonte: SOARES; SOUZA (2013, p. 25).
Org. FERREIRA, W. (2020).

Considerando agora a produção do mapa referente à declividade de terreno da bacia hidrográfica, foi adotado como referência o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, produzido pela Embrapa no ano de 2016, o qual define 6 classes de classificação de relevo, sendo elas:

- Plano: com declividades variáveis de 0 a 3%;
- Suave ondulado: com declividades variáveis de 3 a 8%;
- Ondulado: com declividades variáveis de 8 a 20%;
- Forte ondulado: com declividades variáveis de 20 a 45%;
- Montanhoso: com declividades variáveis de 45 a 75%;
- Escarpado: com declividades acima de 75%;

4. Resultados e Discussões

A Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor apresenta um padrão de drenagem principal classificada como dendrítica, também conhecida como arborescente que, de acordo com Christofoletti (1980, p. 103), assemelha-se à configuração de uma árvore. Este padrão caracteriza-se por ramificações irregulares de cursos d'água em todas as direções, com os afluentes formando ângulos variados com o curso principal, sendo um padrão tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme ou em estruturas sedimentares horizontais.

Ainda segundo Christofoletti (1980, p. 109), a análise morfométrica de bacias hidrográficas tem por início a ordenação dos canais fluviais, com o objetivo de se estabelecer a hierarquia fluvial. Depois de tal processo, é realizada a análise sobre a hipsometria e a declividade da bacia, seguida pela análise de seus aspectos lineares, areais e hipsométricos, definidos na metodologia. Sendo assim, os mapas e quadros contidos na Figura 2 apresentam a espacialização e valores de comprimento médio e total de rios, além de valores de área das classes de hipsometria e declividade da bacia em estudo, enquanto o Quadro 2, demonstra os parâmetros morfométricos.

A Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor possui área de 1.436,03 km^2, com 770 rios em sua composição, totalizando 1.502,14 km de comprimento. A partir de seus rios pode-se realizar a hierarquização dos mesmos, que consiste no processo de se classificar um determinado curso d'água no conjunto total da bacia, a fim de facilitar a análise dos estudos morfométricos (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 106). Desta forma, de acordo com a classificação de Strahler (1974), onde os rios sem tributários são considerados rios de primeira ordem que, a partir de sua confluência, dão origem a um rio de segunda ordem, que por sua vez, originam rios de terceira ordem e assim por diante.

Posto isto, observando o mapa e a tabela da Figura 2 referentes a hierarquia fluvial, a bacia em estudo pode ser classificada como de quinta ordem. Sendo assim, dos 770 rios presentes na bacia, 612 deles são primeira ordem, com extensão total de 775,53 km; 123 rios são de segunda ordem, com 238,57 km de extensão; 28 rios de terceira ordem, com 181,6 km; 6 rios de quarta ordem, com 142,26 km; e, em relação ao rio principal, de quinta ordem, tem-se 164,18 km de comprimento.

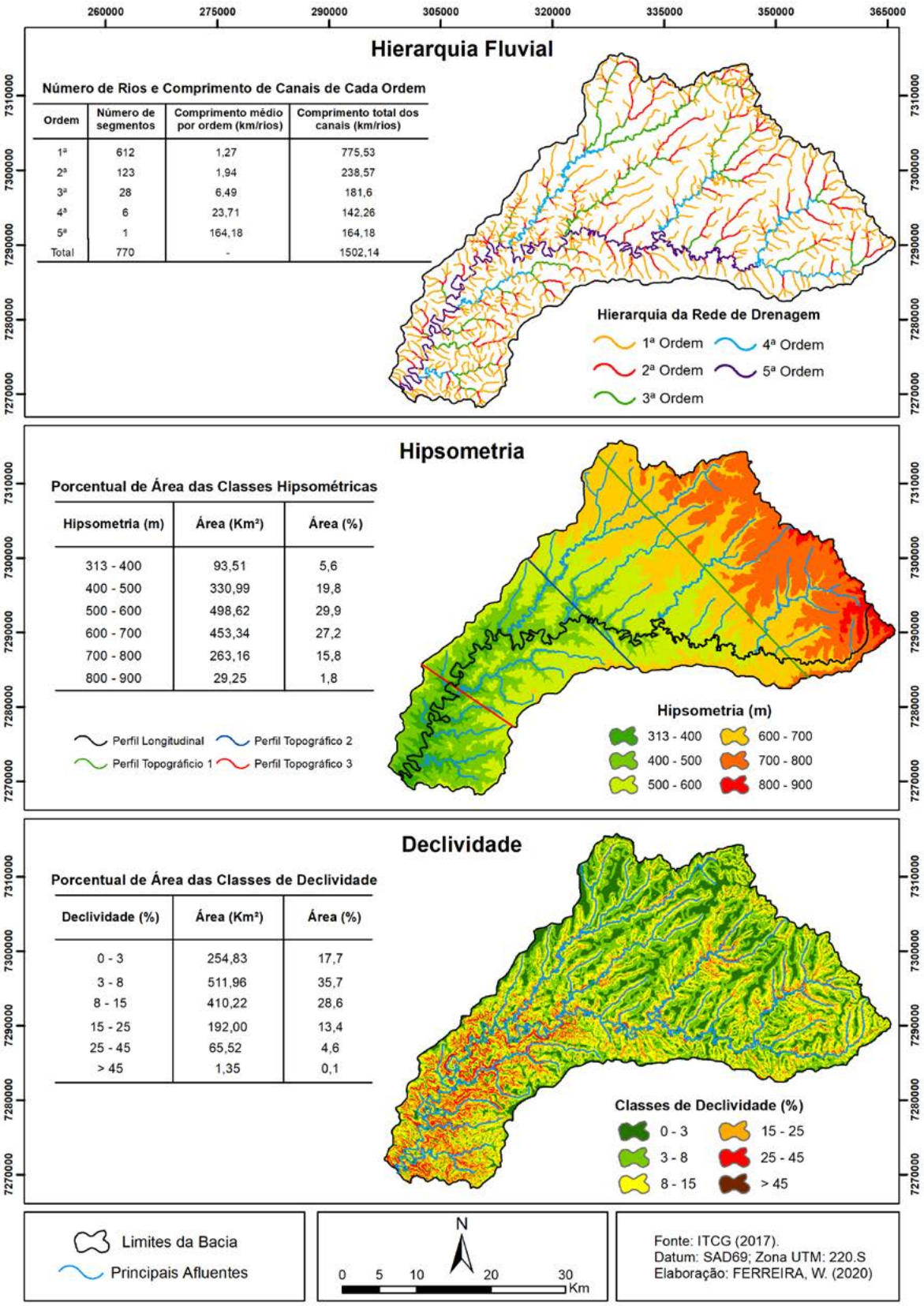


FIGURA 2: Distribuição Espacial dos IRR da Bacia do Ribeirão dos Apertados – PR.

No tocante a Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor, conforme o que pode ser verificado no mapa e na tabela da Figura 2, as altitudes variam entre 313 a 900 metros, sendo a maior porção de área da bacia encontrada entre as cotas de 700 a 500 metros de altitude, com percentual combinado de 57,04%. Segundo Ayoade (1996), as altitudes podem influenciar diretamente na quantidade de radiação recebida pela área e, consequentemente, outros fatores climáticos envolvidos, tais como temperatura, precipitação e evapotranspiração.

Referente às características de declividade da bacia, evidenciadas ainda pelo mapa e tabela da Figura 02, a mesma foi dividida em seis classes, de acordo com as classificações de solo da Embrapa (2006, p. 242). Dessa maneira, percebe-se que grande parte do relevo se encontra nas classes de relevo ondulado (8 – 20%), suave ondulado (3 – 8%) e plano (0 – 3%), com um percentual total de área de 37,51%, 35,62% e 17,75%, respectivamente. Dentro dessas classes são comuns relevos de superfície de topografia esbatida ou horizontal e superfícies de topografia pouco movimentada, constituídas por conjunto de colinas e/ou outeiros de declives suaves ou moderados. Tais áreas são observadas sobretudo nas porções mais à montante do rio principal e nos alto e médio cursos da bacia.

Entretanto, também se constata um percentual de área relevante da classe forte ondulado (20 – 45%), com área total de 9,03%. Ainda segundo a Embrapa (2006, p. 243), é uma classe que compreende relevos de superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros e colinas com declives fortes. Percebe-se predominância de relevos com tal declive nas porções mais próximas a foz do Rio Tricolor e no baixo curso da bacia.

Em relação aos parâmetros e índices morfométricos utilizados como base para a caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor, o Quadro 2 apresenta todos os resultados obtidos pelo cálculo dos índices, considerando tanto os aspectos lineares, areais e hipsométricos.

QUADRO 02
Parâmetros Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor.

Tipo	Características Morfométricas	Valor	Unidade
Linear	Comprimento do Rio Principal (L)	192,21	km
	Extensão do Percurso Superficial (Eps)	0,47	km
	Índice de Sinuosidade (Isin)	2,85	-
Areal	Comprimento Médio dos Rios (Lm)	1,95	km
	Área da Bacia (A)	1436,03	km^2
	Fator Forma da Bacia (Ff)	0,31	-
	Índice de Compacidade (Kc)	1,61	-
	Densidade de Rios (Dr)	0,42	km^2
	Densidade de Drenagem (Dd)	1,04	km/km^2
	Coeficiente de Manutenção (Cm)	956,02	m^2/m
Hipsométrica	Amplitude Altimétrica Máxima da Bacia (Hm)	569,64	m
	Relação de Relevo (Rr)	8,47	m
	Índice de Rugosidade (Ir)	595,86	-
	Textura Topográfica (Tt)	1,57	-

Elaboração: FERREIRA, W. (2020).

Conforme o que pode ser observado pelo Quando 2, considerando os aspectos morfométricos lineares, a bacia em estudo apresenta um Comprimento do Rio Principal (L) relativamente extenso, com um total de 192,21 km. Apresenta também um valor de Extensão do Percurso Superficial (Eps) equivalente a 0,47 km, sendo este um índice que expressa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. Segundo Cunha e Guerra (1995), a maior parte das observações comprova que a influência do escoamento superficial está relacionada à cobertura vegetal, o que acaba adicionando um peso muito grande nesta cobertura como um importante fator controlador do escoamento superficial (apud JUNIOR, ROSSETE, 2005, p. 49).

Para o Índice de Sinuosidade, a bacia em estudo apresentou valor de 2,85 (Isin), parâmetro este que expressa a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre dois extremos do canal principal, influenciando diretamente a velocidade de escoamento do curso d'água. Conforme Freitas (1952), quanto maior a sinuosidade, maiores os obstáculos que a água enfrenta até chegar ao seu exutório, diminuindo assim a velocidade de escoamento. Índices de Sinuosidade com valores acima de 2 indicam canais sinuosos, assim como o apresentado pela bacia em estudo. Em relação ao Comprimento Médio dos Rios (Lm), a Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor, apresenta um valor médio de 1,95 km.

Tendo em vista os aspectos morfométricos areais, a bacia em estudo apresenta uma área total de 1436,03 km^2. Referente ao seu formato, a mesma possui forma relativamente alongada. Tomando como base Paz (2004, p. 23-24), há dois coeficientes comumente empregados como indicativos da forma da bacia, sendo eles o Fator Forma (Ff), o qual demonstra a tendência da bacia a cheias e, o Índice de Compacidade (Kc), definido como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de mesma área da bacia, de maneira que valores maiores a 1 implicam em formatos mais "irregulares" e menores tendências a cheias. Sendo assim, a bacia analisada exibe valores de Fator Forma de 0,31 e Índice de Compacidade de 1,36, sendo estes valores que sugerem uma menor propensão a cheias momentâneas na bacia.

No tocante à Densidade de Rios (Dr), parâmetro que demonstra a relação existente entre o número de rios e a área da bacia, o valor é de 0,42 rios/km^2, enquanto a Densidade de Drenagem (Dd), coeficiente que indica a capacidade de escoamento de águas superficiais pela correlação entre comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica, a bacia em estudo apresenta um valor de 1,04 km de canais por km^2 de área. Segundo Alcântara e Amorim (2005) valores de Dd podem variar de 0,5 km/km^2 para bacias com baixa capacidade de drenagem até 3,5 km/km^2 para bacias muito bem drenadas (apud SOARES, SOUZA, 2012, p. 30), de forma que o valor encontrado para a Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor indica uma maior tendência aos processos de escoamento superficial frente a infiltração de água, sobretudo nas áreas de maior declive em seu baixo curso.

No que se diz respeito ao Coeficiente de Manutenção (Cm), parâmetro que, segundo Schumm (1956), é de grande importância em termos de planejamento ambiental de bacias hidrográficas ao fornecer a área mínima necessária para manutenção de um metro de canal de escoamento, afim de se manter a qualidade hídrica em valores físicos, químicos e biológicos (apud CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 117). Dessa maneira, o valor encontrado foi de 956,02 m por m^2 de área da bacia.

Considerando os parâmetros hipsométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor, a Amplitude Altimétrica Máxima (Hm) é de 569,64 m. Sua Relação de Relevo (Rr) é de 8,47m, sendo um índice que exibe a relação existente entre a amplitude máxima de uma bacia e sua extensão, de forma que quanto maior o

valor de Rr, maior será o desnível entre a nascente e o exutório. Analisando o Índice de Rugosidade (Ir), parâmetro que combina as qualidades de declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, o valor encontrado é de 595,86. No que se refere a Textura Topográfica (Tt), seu valor é de 1,57. Segundo Santos e Lima (2009, p. 80), é uma Textura Topográfica dita como grosseira por apresentar valor abaixo de 4, pois a mesma assinala o maior ou menor espaçamento entre os canais numa bacia hidrográfica, sendo entendida como grosseira ao se verificar um maior espaçamento entre os cursos d'água e fina quando ocorrer o oposto.

Em relação ao Perfil Longitudinal do Rio Tricolor, este definido por uma linha traçada ao longo do percurso do rio principal de sua nascente até a foz com informações sobre sua altitude, o mesmo pode ser visualizado pela Figura 3, enquanto os gráficos de Perfis Topográficos (NW – SE), podem ser observados pela Figura 4.

A partir do Perfil Longitudinal, é possível perceber a diminuição de altitude do relevo ao longo de seu curso de mais de 180 km, partindo de altitudes acima de 800 m até menores de 350 m. As variações mais abruptas ocorrem nos primeiros 10km do percurso do rio em seu alto curso. Posteriormente, o perfil assume um comportamento mais côncavo e semelhante à imagem de uma escada na altura dos 20 km em diante. Ainda sobre o gráfico de Perfil Longitudinal do Rio Tricolor da Figura 3, são observados alguns pequenos picos de elevação das altitudes, algo que pode ter ocorrido por problemas de pixel durante o processamento do mesmo.

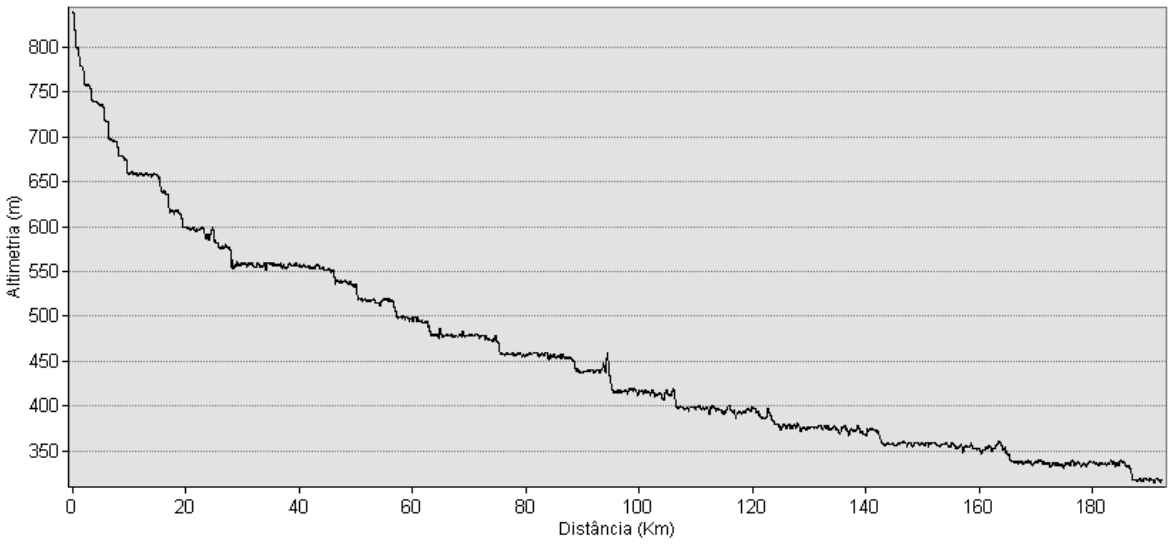


FIGURA 3: Perfil Longitudinal Rio Tricolor – PR.
Elaboração: FERRIRA, W. (2020).

Interpretando o gráfico de Perfis Topográficos da Figura 4, é possível observar que no alto curso da bacia (linha verde) tem-se vertentes com os topos um pouco mais suavizados em relação aos outros perfis, com quedas de declives nos transectos com os cursos d'água. No médio curso (linha azul), os vales são mais escavados e apresentam topos agudos, entretanto, no baixo curso da bacia (linha vermelha), é onde verificamos as maiores variações de altitude, com vales em formato de V e a maioria dos topos de vertentes agudas. Desta forma, percebe-se a relação intrínseca das classes de declividade com os perfis topográficos ao longo das compartimentações dos cursos da bacia.

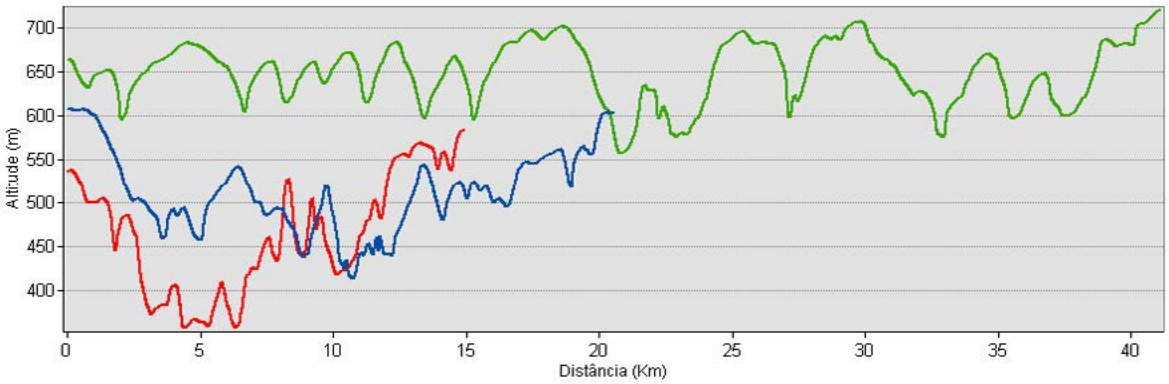


FIGURA 4: Perfis Topográficos da Bacia do Rio Tricolor – PR.
Elaboração: FERRIRA, W. (2020).

5. Considerações Finais

As bacias hidrográficas se demonstram como recortes espaciais essenciais no planejamento ambiental e no gerenciamento de recursos hídricos, sendo tal fato reconhecido por diversos autores. Nesta perspectiva, a aplicação dos estudos morfométricos são de vital importância ao fornecerem dados numéricos passíveis de subsidiar estudos ambientais e de ordenamento territorial, além de suas contribuições em análises sobre as relações de hidrografia e relevo como agentes modeladores da superfície.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, a forma relativamente mais alongada da Bacia Hidrográfica do Rio Tricolor, combinado com outros Índices Morfométricos, tais como Fator Forma (Ff), Índice de Compacidade (Kc), Extensão do Percurso Superficial (Eps), Textura Topográfica (Tp), entre outros, pôde-se perceber uma maior tendência ao escoamento superficial e consequentemente, uma menor propensão da bacia a enchentes com vazões regulares. Sendo assim, além de contribuições numa interpretação mais quantitativa sobre a bacia em estudo, o trabalho também pode servir como base para estudos mais aprofundados, podendo ser associado a levantamentos a respeito do uso e cobertura de solo na área, afim de se realizar a melhor gestão territorial possível.

Referências

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os Trópicos. 3ª Edição. **Editora Bertrand Brasil**, 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo / SP, Ed. Editora Edgard Blücher, 2ª. ed., 1980.

FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 11, p. 53-57, 1952.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia e meio ambiente**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

IAT, Instituto Água e Terra do Paraná. **Dados e Informações Geoespaciais Temáticos.** 2020. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematicos>.

ITCG, Divisão Político-Administrativa do Paraná. **Dados Geoespaciais de Referência.** 2017. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=8>.

JUNIOR, Osvaldo Borges Pinto; ROSSETE, Amintas Nazareth. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão Cachoeira, MT-Brasil. **Geoambiente on-line**, n. 4, p. 01-16 pág., 2005.

LIMA, Kleber Carvalho; SANTOS, Jémison Mattos dos. Análise da Rede de Drenagem em Ambiente Semi-Árido-Bacia Hidrográfica do Riacho Grande-Bahia/Brasil. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Volume VI, **APGEOM**, Braga, 2009, p. 77-82

LIMA, W. P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba - SP: **Escola Superior de Agricultura** ''Luiz de Queiroz'', 2008.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MINEROPAR – Minerais do Paraná, S. A. **Atlas Comentado da Geologia e dos Recursos Minerais do Estado do Paraná.** Secretaria de Estado da Indústria, do Comércio e Assuntos do Mercosul – Governo do Paraná, Curitiba, 2001.

MINEROPAR – Minerais do Paraná. S. A. **Atlas Geomorfológico, do Estado Do Paraná** - Escala base 1: 250.000, modelos reduzidos 1:500.000; Secretaria de Estado da Indústria, do Comércio e Assuntos do Mercosul – Governo do Paraná, Curitiba, 2006.

PAZ, Adriano Rolim da. **Hidrologia aplicada.** Texto Básico. 2004.

SOARES, Marcia Regina Gomes de Jesus; SOUZA, Jorge Luiz Moretti de. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). **Geografia (Londrina)**, v. 21, n. 1, p. 019-036, 2013.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona: Omega, 1974, 550 p.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**: Rio de Janeiro, 2006.

TEODORO, Valter Luiz Iost *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

VILAÇA, Marina Freitas *et al.* Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: O estudo de caso do ribeirão conquista no município de Itaguara/MG. **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, v. 13, 2009.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO ARENAL

Giorge Gabriel Schnorr
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM
Santa Maria-RS; Camobi; Avenida Roraima; CEP: 97105-900
E-mail: giorgeschnorr@gmail.com
Anderson Augusto Volpato Sccoti
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM
Santa Maria-RS; Camobi; Avenida Roraima; CEP: 97105-900
E-mail: asccoti2@gmail.com
Franciele Delevati Ben
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM
Santa Maria-RS; Camobi; Avenida Roraima; CEP: 97105-900
E-mail: francielidelevattiben@gmail.com

Resumo

As análises cartográficas vêm evoluindo com o auxílio da tecnologia. O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio do Arenal, no centro do estado do Rio Grande do Sul. Para a realização do trabalho foi necessária a utilização de SIG, dados vetoriais, MDE e por conseguinte uma análise quantitativa e qualitativa dos dados obtidos, os quais tem como objetivo demonstrar as formas do relevo e a dinâmica fluvial dos cursos de matéria e energia. A hierarquia fluvial apresenta drenagens que chegam a 6ª ordem, os padrões de drenagem prevalecem como dendríticos e a densidade de drenagem é de 1,53 km/km². A amplitude altimétrica da bacia é de aproximadamente 390 metros e as declividades variam entre <2 e >30%. O ICR expressa predominância de áreas com relevo plano ou pouco rugoso e delimitou bem a formas de relevo presente. A análise atendeu com os objetivos estabelecidos.

Palavras-chave: Relevo, Morfometria, Bacia Hidrográfica

1. Introdução

Os trabalhos voltados para análises do relevo têm passado por importantes avanços nos últimos anos com a evolução da tecnologia aliada a Cartografia, contribuindo com informações geográficas imprescindíveis nos trabalhos e pesquisas em vários campos, todavia com destaque na Geografia, auxiliando a tomada de decisões. Nesse contexto das tecnologias, Oliveira (2006, p. 64) ressalta que "os recursos de computação gráfica permitem uma maior capacidade de geração de modelos e uma maior velocidade de execução de estudos visuais" constituindo um conjunto de técnicas que podem representar a realidade de um espaço geográfico. Ademais, técnicas de análise espacial por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem evoluído ao ponto de trazer resultados com grande grau de precisão. Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são exemplos de representação espacial em escala reduzida e que pode ser trabalhada em ambiente SIG, sendo estes representados em pixels de diferentes tamanhos. Nesse contexto, Mello e Silveira (2018) salientam que a quantificação morfológica da superfície da terra realizada através da análise geomorfométrica, possui a perspectiva na extração de parâmetros calculados de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), ademais entendido com a análise digital do relevo.

A análise geomorfométrica consiste na quantificação morfológica da superfície terrestre com enfoque na extração de parâmetros calculados de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), também compreendida como análise digital do relevo.

Neuman, Silveira e Sampaio (2018) ressaltam que os MDEs são de total importância para o planejamento "pois podem ser obtidos por processos fotogramétricos, cartas topográficas e sensores diversos" e ainda certifica que a resolução dos Modelos Digitais de Elevação é responsável pela influência direta sobre os parâmetros morfométricos derivados. A utilização dos MDEs se diversifica sendo utilizado em trabalhados ligados à análise de elementos do relevo (DUTRA; FURLAN; ROBAINA, 2020); trabalhos ligados a análises morfométricas de bacias hidrográficas (DORNELLAS et al., 2020); e também em trabalhos mais voltados para análise ambiental (OLIVEIRA et al., 2019).

O entendimento das formas de relevo, resultantes dos diferentes processos de formação estrutural e a moldagem realizada pelos agentes intempéricos de tempo e clima é de total importância para o entendimento da dinâmica espacial. Nesse sentido, a análise morfométrica traz importantes pontos e aspectos do relevo que podem ser utilizados em projetos de planejamento ambiental e espacial. MACHADO et al. (2011) traz à tona que "a análise morfométrica objetiva estabelecer as relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes".

Em uma bacia hidrográfica, os fluxos de matéria e energia expressam de forma sistêmica as variáveis espaciais e a dinâmica dos processos bióticos e abióticos. Partindo dessa premissa, o presente trabalho tem como objetivo apresentar resultados da análise morfométricas da Bacia Hidrográfica do Arroio Arenal.

2. Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Arenal (BHAA) se localiza na porção central do estado do Rio Grande do Sul e abrange parte de dois municípios: Santa Maria e Dilermando de Aguiar. A área urbana de Santa Maria, está inserida sob as nascentes da porção norte da BH, com isso, essa área foi bastante modificada, com áreas de retificação de tributários, além do despejo de dejetos líquidos e sólidos na hidrografia. Assim, a figura 1 traz o mapa de localização da área de

estudo.

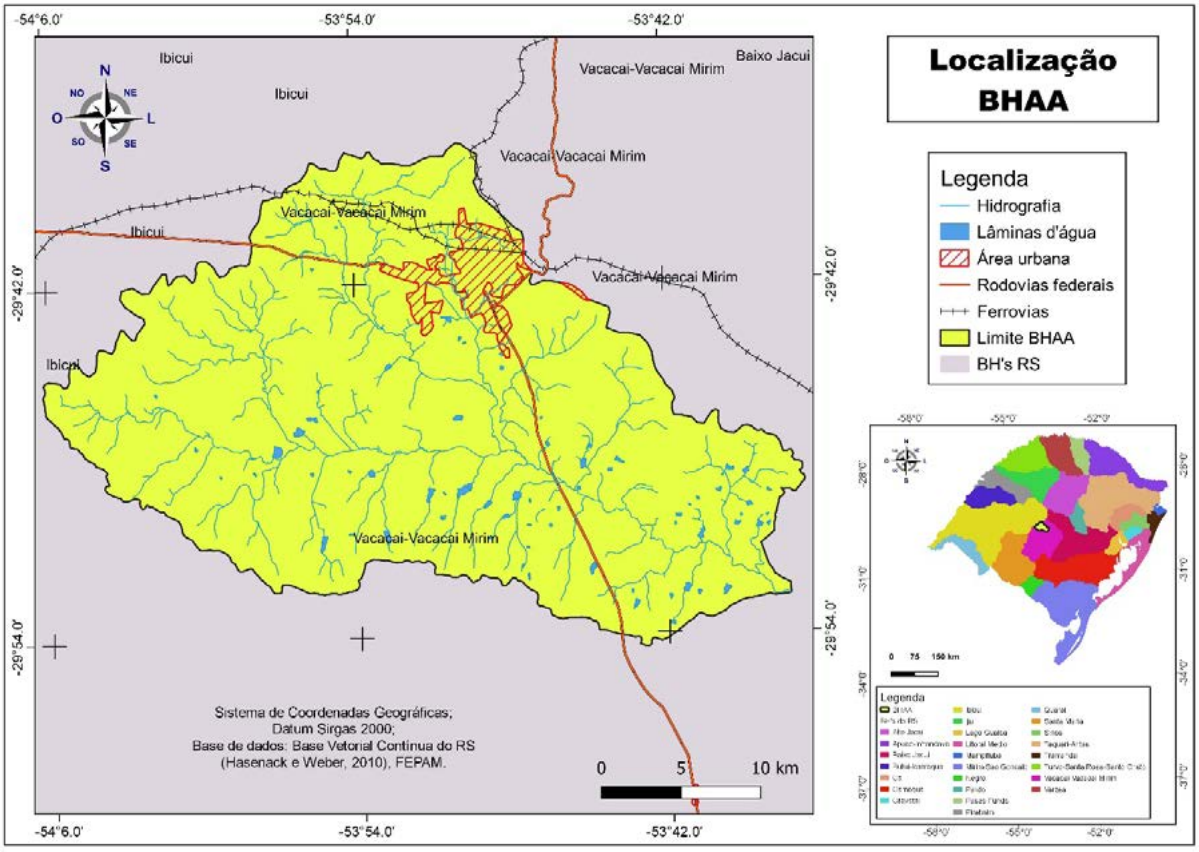


FIGURA 1: Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio do Arenal.
Fonte: Autores.

3. Procedimentos metodológicos

O banco de dados foi organizado a partir de dados na escala de 1:50.000 adquirindo os dados de hidrografia, rodovias federais, curvas de nível e pontos cotados na Base Vetorial Contínua do RS (Hasenack e Weber, 2010), os dados referentes a ferrovias, limite das bacias hidrográficas e áreas urbanas no site da FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler-RS). O processamento dos dados foi realizado no software QGis, versão 3.16. A área e o perímetro da bacia foram calculados na calculadora de campo.

Os atributos da drenagem analisados foram: Hierarquia Fluvial baseada no método de Strahler (1952); Padrões de Drenagem (Christofoletti, 1988) e Densidade de Drenagem (Horton, 1945).

O MDT foi obtido partir das curvas de nível e pontos cotados, onde foi gerado uma interpolação na ferramenta TIN Interpolation e a transformação do MDT em declividade a partir da ferramenta declive. A partir do MDT foram gerados mapas de altitude, declividade e índice de concentração de rugosidade.

Para a geração do mapa de altitude foram usados os seguintes intervalos de classes: <80m, 80-100 m, 100-150 m, 150-200 m e >200 m, os quais melhor representam as quebras naturais do relevo. Já a declividade foi dividida em 5 classes: <2%, 2-5%, 5-15%, 15-30% e >30%, conforme a metodologia aplicada pelo IPT (1981).

Em relação a geração do índice de concentração de rugosidade, o mapa foi elaborado a partir de uma nuvem de pontos com os respectivos valores de declividade, o raio de interpolação foi 500 metros, pois representa o comprimento médio das vertentes da BHAA. O mapa foi gerado através do uso da ferramenta Mapa de Calor no QGis. Para a geração e discussão do ICR, baseou-se no trabalho de Sampaio e Augustin (2014).

4. Resultados e Discussões

A BHAA é tributária da margem esquerda da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí (BHRV), ocupando assim 8,4% da área total da bacia principal, a qual se estende por 10.009,160 km². A BHAA possui uma área de 847,52 km² e um perímetro de 157 km.

4.1 Análise da Hidrografia

Na análise da hierarquia fluvial, baseada no método de Strahler (1952) apud Christofoletti (1980), os canais de primeira ordem são aqueles que apresentam apenas uma ramificação e tem sua origem na nascente ou cabeceira de drenagem, a junção de dois canais de primeira ordem origina um canal de segunda ordem, já a junção de dois canais de segunda ordem gera um canal de terceira ordem e assim sucessivamente, sendo que um canal de menor ordem não influencia na hierarquização de canais de maior ordem. Dessa forma, foi realizada a quantificação dos valores de comprimento em quilômetros dos canais, como pode ser observado na tabela 1. Vale destaque assim, para os canais de primeira ordem, que ocupam mais de 60% de todo o comprimento dos canais da bacia hidrográfica

TABELA 1
Tabela do comprimento dos canais

Ordem dos Canais	Comprimento (km)	Porcentagem (%)
1ª	788,3	60,8
2ª	255,6	19,7
3ª	129,9	10,1
4ª	60,3	4,6
5ª	22,8	1,7
6ª	39,6	3,1
Total	1296,5	100

Fonte: Autores, 2021

O padrão de drenagem predominante na BHAA é dendrítico (análise feita a partir de dados na escala de 1:50.000), resultante de um baixo controle estrutural, já que a formação rochosa predominante é composta por rochas de origem sedimentar. Em relação aos aspectos estruturais, Manoel e Rocha (2017) destacam que o padrão de drenagem dendrítico geralmente se desenvolve sobre rochas de resistência uniforme ou em estruturas sedimentares horizontais. Dessa forma os padrões dendríticos se destacam por não apresentarem ângulos retos, e sim ramificações em diferentes direções, sendo próximas umas das outras, podendo ser comparados aos ramos ou raízes de uma árvore.

Na figura 2 é possível observar o mapa da hidrografia da bacia hidrográfica na escala de 1:50.000, com a ordem dos canais. É possível observar a predominância dos canais dendríticos.

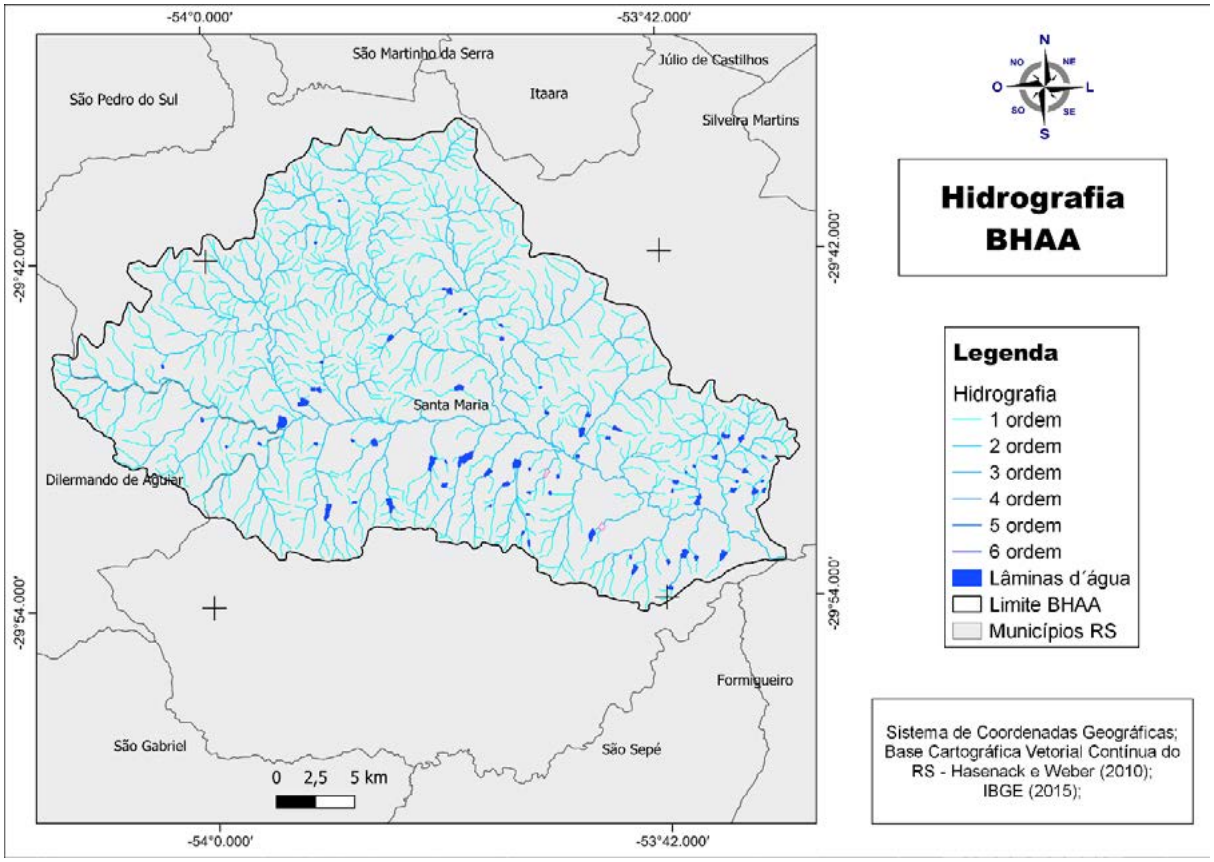


FIGURA 2: Mapa de Hidrografia da Bacia Hidrográfica do Arroio do Arenal.
Fonte: Autores.

A densidade de drenagem calculada obteve o resultado de 1,53 km/km², para uma escala de informações de 1:50.000. As litologias com maiores graus de permeabilidade e porosidade reduzem a densidade de drenagem, já litologias pouco fraturadas compostas por rochas ígneas, possuem menor permeabilidade fazendo com que haja maior densidade de drenagem já que há maior escoamento superficial.

Christofoletti (1979) destaca que, na dinâmica da bacia hidrográfica, a densidade de drenagem possui duas funções distintas, sendo resposta aos fatores que caracterizam a área drenada e fator que influencia o escoamento e transporte sedimentar.

4.2 Análise dos atributos do relevo

4.2.1 Hipsometria

A amplitude altimétrica da BHAA é de cerca de 390 metros, o que caracteriza grande variação do relevo. A classe que predomina é a menor que 80 metros (<80), a qual ocupa cerca de 38,6% de toda a área da bacia. Essa classe se caracteriza por ocupar principalmente as faixas planas, ou planícies de inundação do Arroio do Arenal e dos seus principais tributários.

As classes que representam a variação de altitude de 80-100 metros e 100-150 metros representam respectivamente 24,5% e 31,7% da área total da bacia. Essas classes se localizam em quase todas as porções do relevo pois ocupam juntas mais da metade da área total da bacia. Representam uma transição entre relevo plano próximo aos principais tributários do Arroio do Arenal e as porções de maior altitude.

As maiores altitudes se localizam principalmente na porção Norte, sobre as formas festonadas do Rebordo do Planalto, onde há existência de rochas vulcânicas da formação Serra Geral, de origem magmática (Figura 3). Sendo assim, as porções de altitude localizadas na porção Norte (>200m) e noroeste (150-200 m) representam juntas 5% da área total da bacia.

4.2.2 Declividade

Para Megiato e Moura (2019) a declividade de uma área consiste na inclinação de uma superfície em relação à horizontal. A BHAA possui predominância de áreas pouco declivosas que, de modo geral, não ultrapassam os 15% de inclinação, localizadas principalmente próximas a tributários de maior valor de ordem.

Na porção central, Leste e Oeste da bacia existem áreas com volume de declividades que ultrapassam 5%, e em raros momentos chegando a atingir valores entre 15-30% ou até >30%. Essas áreas marcam porções com aparecimento de colinas e relevo mais ondulado.

A parte Norte da bacia se destaca pela maior inclinação do relevo, por se localizar em uma área de transição estrutural entre áreas sedimentares da bacia sedimentar do Paraná para o planalto capeado com as rochas vulcânicas da formação Serra Geral. Nessa porção há predominância das classes que representam 15-30% de inclinação e >30% de inclinação, sendo que possuem 4,13% e 0,93% da área total da bacia respectivamente.

4.2.3 Índice de Concentração de Rugosidade (ICR)

A classe que mais se destaca em relação ao Índice de Concentração de Rugosidade é a que representa as áreas de relevo plano, com aproximadamente 53,8% da área total da bacia. As áreas planas se localizam principalmente nas porções em que os canais fluviais são de maior valor hierárquico, na porção central da bacia até a foz. Assim, ocupa importante área que caracteriza essa porção com grande relevo plano.

A classe que representa as porções com pouca rugosidade estão presentes em cerca de 22,2% da área da bacia. Esta classe representa relevo suavemente ondulado e está presente principalmente em locais de menor elevação do relevo na porção Sul e Sudoeste da bacia.

A classe que representa as áreas de média rugosidade estão presentes na porção central, Leste e Oeste onde, nessas porções podem representar as áreas de maior rugosidade já que é circundada por áreas de rugosidade inferior. Esta classe representa cerca de 21,6% da área total da bacia.

As áreas rugosas representam 1,3% da área total da bacia e estão dispostas principalmente na parte Norte e Nordeste da bacia, representando faixas de transição entre um relevo com menor grau de rugosidade para um relevo considerado altamente rugoso.

As porções com maior rugosidade no terreno estão localizadas na porção Norte e Nordeste, sendo que não ocupam significante dimensão espacial, pois representam 1% da área total da bacia. No entanto, representam importante desnível na paisagem, o que caracteriza essa porção com domínio estrutural de rochas magmáticas e vertentes escarpadas.

A figura 3 representa os mapas de hipsometria, declividade e ICR citados ao longo texto.

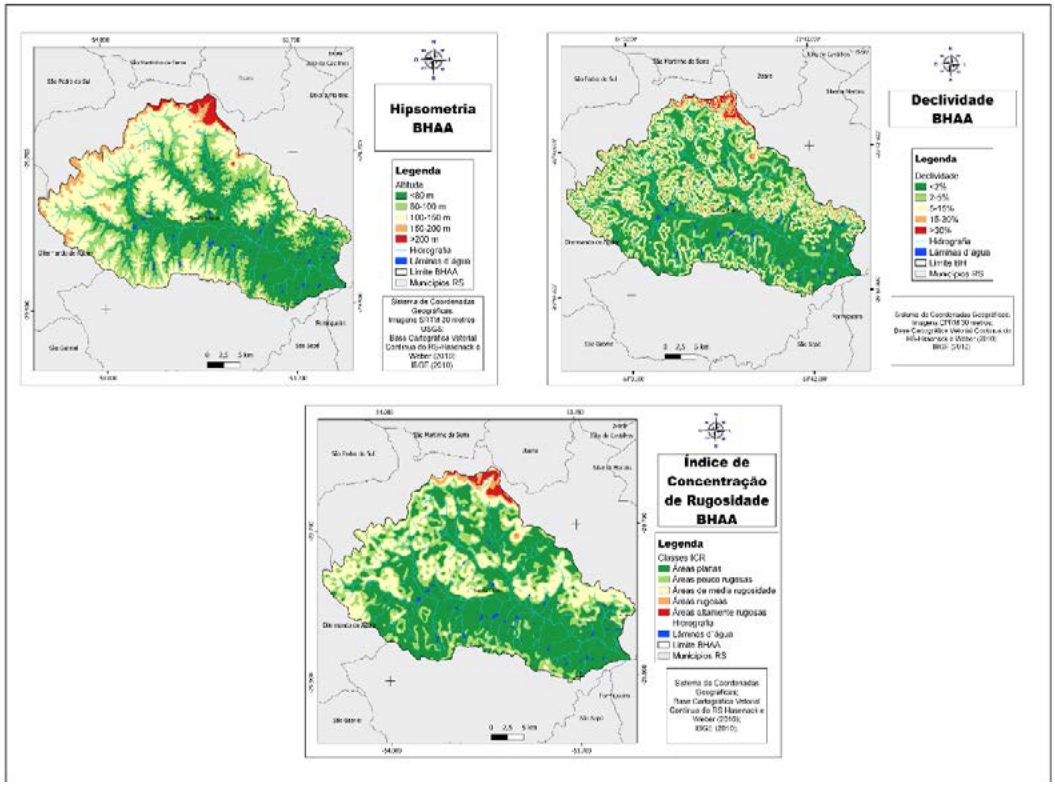


FIGURA 3: Mapas de análise do relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio do Arenal.
Fonte: Autores.

A tabela 2 representa as tabelas referentes aos dados quantitativos dos atributos de relevo analisados e citados no texto.

TABELA 2
Tabela apresentando os dados quantitativos dos atributos do relevo

Classes Hipsometria	*Área (km²)*	*Área (%)*
<80 m	325,5	38,6
80-100 m	207,0	24,5
100-150 m	268,0	31,7
150-200 m	28,8	3,4
>200 m	14,0	1,6
Total	843,3	100

Classes Declividade	*Área (km²)*	*Área (%)*
<2%	407,4	48,07
2-5%	214,5	31,64
5-15	181,7	21,45
15-30%	35,0	4,13
>30%	7,8	0,93
Total	847,5	100

Classes ICR	*Área (km²)*	*Área (%)*
Áreas planas	454,2	53,8
Áreas pouco rugosas	187,3	22,2
Áreas de média rugosidade	182,3	21,6
Áreas rugosas	11,1	1,3
Áreas altamente rugosas	8,4	1
Total	843,3	100

Fonte: Autores, 2021

Vale, portanto, destaque para relevo plano, pouco rugoso e com baixas declividades na maior parte da área da bacia. A porção Norte concentra as maiores altitudes e apresenta maior movimentação do relevo.

Conclusão

As análises morfométricas, que buscam trazer dados referentes a análise de relevo vem evoluindo com o passar dos anos com o avanço das técnicas de geoprocessamento. Os dados obtidos através de tais técnicas podem se tornar importantes instrumentos de planejamento ambiental e espacial.

Em relação aos dados de hidrografia, é possível a descrição dos diferentes fatores que caracterizam a rede de drenagem e a dinâmica espacial estabelecida pelos eventos endógenos e exógenos.

As maiores altitudes se localizam na borda Norte e Nordeste da bacia, onde o relevo denota maior movimentação devido à diferença estrutural em relação às demais porções. Já quanto às declividades, de forma geral tendem a não ultrapassar 15%, sendo que as áreas com maior inclinação também estão reservadas à porção Norte e Nordeste, onde a mudança estrutural, de formação sedimentar para magmática traz importantes características que definem como a rocha vai lidar com as questões intempéricas e formar o relevo.

A aplicação do ICR se mostrou eficiente nessa atividade, já que trouxe cinco classes que definem os diferentes graus de rugosidade do terreno. A classe que se mostrou mais presente é aquela que representa as áreas de média rugosidade, com cerca de 36,5% da área total da bacia.

Sendo assim, de modo geral, a BHAA não demonstra altos graus de elevação, declividade ou rugosidade do terreno, pois se localiza em uma área de predomínio de rochas sedimentares. A formação estrutural é um importante fator no que diz respeito ao controle estrutural imposto no relevo, a presença de rochas de origem sedimentar diminui a densidade de drenagem e o escoamento superficial.

Referências

CHRISTOFOLETTI, A**.** A Análise da Densidade de Drenagem e suas Implicações Geomorfológicas. **Geografia**, v.4, n.8, p. 23-42, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2a. ed., São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Blucher, p. 188, 1988.

DORNELLAS, P.C; XAVIER, R. P.; SEABRA, V. S.; SILVA, R. M. Análise morfométrica da Bacia do Alto Rio Paraíba, região semiárida do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, 2020.

DUTRA, D. S.; FURLAN, A. R.; ROBAINA, L. E. S. Compartimentação dos elementos do relevo da bacia hidrográfica do arroio Pantanoso – Canguçu/RS, através da proposta dos geomorphons. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n.2, p. 713-726, abr. 2020.

FEPAM-Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler-RS. **Dados vetoriais**. Escala 1:250.000. 2005. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp> Acesso em: 11/05/2021.

HASENACK, H.; WEBER, E. J. (org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology**.** ***Geological society of America bulletin*** 56.3, p. 275-370, 1945.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:1 000 000. São Paulo: IPT, 1981.

MACHADO, R. A. S. *et al.* Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba**, v. 5, p. 1441-1448, 2011.

MANOEL, J. L.; ROCHA, P. C. Levantamento e análise comparativa dos padrões de drenagem das bacias hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 64-74, 2017.

MEGIATO, É. I.; MOURA, N. S. V. Mapeamento geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, RS. **Geografia (Londrina)**, v. 28, n. 1, p. 151-163, 2019.

MELLO, Y.; SILVEIRA, C. Análise de Modelos Digitais de Elevação e geração de atributos topográficos para a região da Serra do Mar do estado de Santa Catarina (Analysis of Digital Elevation Models and generation of topographic attributes for the Serra do Mar region of the state of Santa Catarina). **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 11, n. 6, 2018.

NEUMAN, G.; SILVEIRA, C.; SAMPAIO, T. Análise da influência da escala na obtenção dos atributos topográficos derivados de MDE. **O Espaço Geográfico em Análise**, v. 43, 179-199. 2018.

OLIVEIRA, K. A. S. O ponto e o pixel: novas mídias, novas linguagens**.** (Dissertação de Mestrado). **Mestrado - Área de Concentração: Design e Arquitetura**. São Paulo: FAUUS, 2006.

OLIVEIRA, B. A. S. *et al.* Geotecnologias aplicadas à análise da fragilidade ambiental na sub-bacia hidrográfica do Arroio Pessegueiro–RS. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 1, 2019.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Unb v.15 n.1, p. 47-60, 2014.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO GAMELEIRA EM TIMON – MA

Núbia Araújo Sena
Instituto Federal do Piauí – IFPI
Rua Álvaro Mendes, 94 - Centro (Sul), Teresina - PI, 64000-040
E-mail: nubia.sena@live.com
Marcos Pereira da Silva
Universidade de Brasília – UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF, 70910-900
E-mail: mr.marcospsilva@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho é analisar os parâmetros morfométricos da sub-bacia hidrográfica do riacho Gameleira em Timon – MA, a partir de técnicas de geoprocessamento utilizando a base de dados digitais de elevação. A metodologia utilizada se deu por meio de aquisição e processamento de dados topográficos através de ambiente SIG e cálculos de parâmetros morfométricos tais como: Coeficiente de Compacidade, Índice de Circularidade, Fator de Forma, etc. Os resultados mostraram que a sub-bacia é de 5ª ordem, possui área de 308,05km^2, 133 nascentes, 194 canais de drenagem, possui relevo, plano, suave ondulado e ondulado. É um sub-bacia alongada, que possui pouca probabilidade de ter cheias, possui alto nível de escoamento e drenagem baixa. Conclui-se que as técnicas de geoprocessamento se mostraram eficientes no estudo de zoneamento geoambiental da sub-bacia hidrográfica do riacho Gameleira, que poderá permitir a viabilização de políticas públicas para tomada de decisão dos recursos.

Palavras-chave: Morfometria. Modelo Digital de Elevação. Sub-Bacia Hidrográfica.

1. Introdução

A bacia hidrográfica é uma região na superfície terrestre na qual ocorre o escoamento de afluentes para um rio principal, viabilizado pelas características topográficas e geográficas do terreno. Ela foi instituída como uma unidade de estudo para o planejamento territorial através da Lei nº 9.433/97 que estabelece o Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH.

Umas das maneiras de se avaliar as modificações causadas pelo uso antrópico é quando se utiliza a bacia hidrográfica como forma de planejamento, pois esta unidade permite que se consiga compreender de uma melhor maneira as alterações sofridas sobre a paisagem de uma área e assim avaliar os diferentes graus de antropização (TUCCI E MENDES, 2006).

As características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e térmicas, bem como o tipo de cobertura da bacia, desempenham papel essencial no seu comportamento hidrológico, sendo importante medir numericamente algumas dessas influências (GARCEZ E ALVAREZ, 1999).

As análises morfométricas abrangem um grande número de parâmetros que permite melhor caracterização do ambiente da bacia, sua predisposição a ocorrência de alguns eventos e sua incompatibilidade com certas atividades humanas e/ou com alguns modelos de uso e ocupação do solo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

As características morfométricas de bacias hidrográficas, conforme explica Tonello (2005) subdividem-se em três categorias: características geométricas, características do relevo e características da rede de drenagem. Os resultados gerados com técnicas de geoprocessamento e cálculos matemáticos, são fundamentais para a interpretação das informações.

O município de Timon, localizado no estado do Maranhão, é composto por riachos, que constituem o total de quinze sub-bacias hidrográficas dos rios Parnaíba, maior rio federal genuinamente nordestino que divide politicamente os estados do Maranhão e Piauí e do rio Itapecuru, rio estadual genuinamente maranhense e que ocupa uma área considerável da região centro-ocidental maranhense.

A análise de bacias hidrográficas é de relevante importância, visto que, a água é um recurso natural indispensável para todas as formas de vida na Terra e compreender o seu comportamento permite fazer o planejamento e gestão territorial adequados, servindo como subsídio para auxiliar a gestão das autoridades competentes.

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho analisar os parâmetros morfométricos da sub-bacia hidrográfica do riacho Gameleira em Timon – MA, a partir de técnicas de geoprocessamento utilizando a base de dados digitais de elevação do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM.

2. Caracterização ambiental da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do riacho Gameleira possui uma área de 308,05 km^2 (17% do território municipal) e está localizada entre as coordenadas métricas do sistema Universal Transverso de Mercator – UTM da Zona 23 Sul: 710000 E e 9444000 N; 710000 E e 9404000 N; 746000 E e 9404000 N; 746000 E e 9444000 N. Está situada na região central do município de Timon, que por sua

vez está localizado na Mesorregião do Leste Maranhense, na Microrregião de Caxias, conforme mostra a Figura 1.

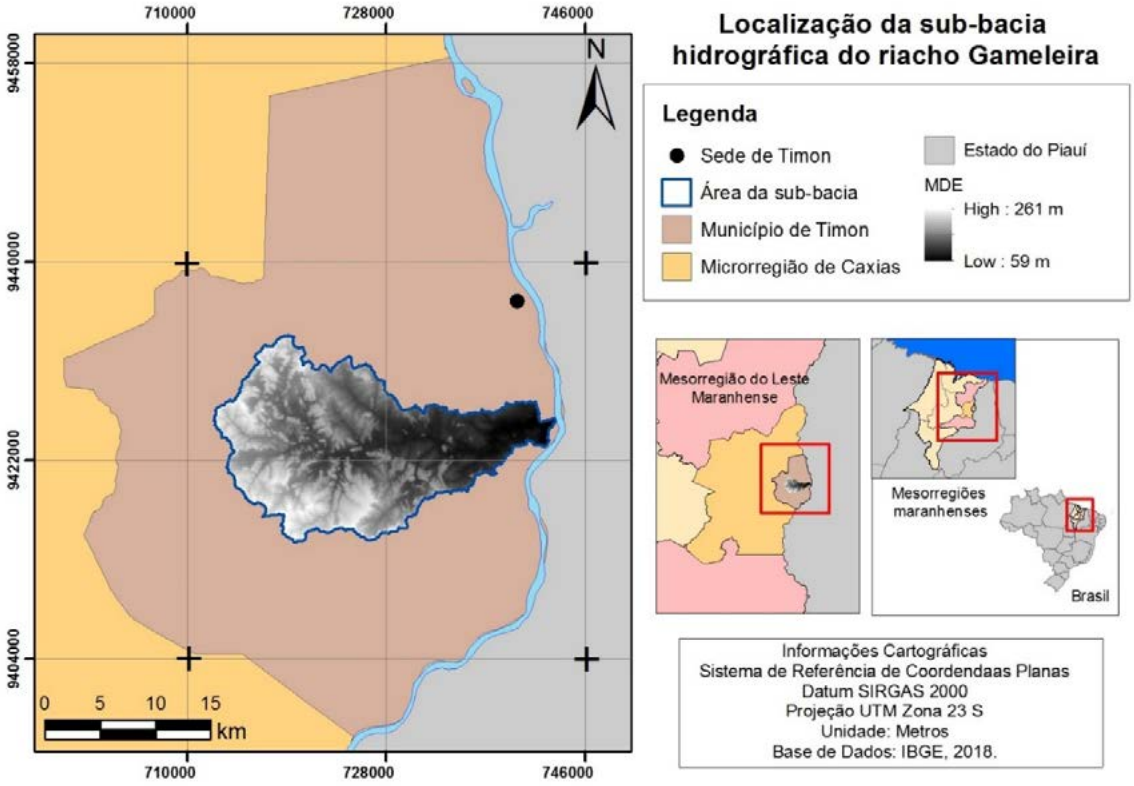


FIGURA 1: Mapa de localização da **área de estudo.**
Fonte: Sena e Silva, 2020.

A sede do município de Timon possui as coordenadas UTM E 740577m e N 9436982m, abrange uma área de 1.743,2 km², com uma população de aproximadamente 155.460 habitantes e densidade demográfica de 89,18 habitantes/km² de acordo com o último censo do IBGE (IBGE, 2010). A altitude da sede do município é de 69 metros acima do nível do mar e a variação térmica durante o ano é pequena, com a temperatura oscilando entre 22°C e 32,9°C (CORREIA FILHO, 2011).

O clima do município conforme explica Correia Filho (2011), segundo a classificação de Köppen, é tropical (AW') subúmido seco com dois períodos bem definidos: um chuvoso, que vai de dezembro a maio, com médias mensais superiores a 124 mm e outro seco, correspondente aos meses de junho a novembro.

Sobre as características pedológicas da área da sub-bacia do riacho Gameleira, de acordo com a base vetorial de dados do IBGE (2018), predominam 3 tipos de solos: Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) de textura média e arenosa; Plintossolo Pétrico Concrecionário (FFc) de textura média e muito cascalhenta e Neossolo Flúvico Eutrófico (RYve) com textura indiscriminada.

No que concerne às informações geomorfológicas, a área da sub-bacia do riacho é constituída por 6 tipos de formas, que são: Pediplanos retocado desnudado (Pru), degradado inumado (Pgi) e retocado inumado (Pri); Planície e terraços fluviais (Aptf) e Dissecações homogênea tabular (Dt) e convexa (Dc) (IBGE, 2018).

Geologicamente, a sub-bacia é formada por 4 unidades, a citar: Formação Pedra de Fogo (Ppf); Formação Corda (J3cd); Formação Motuca (P3m); Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica (E3dl) e Depósitos Aluvionares Holocênicos (Q2a) (IBGE, 2018).

A respeito das características da vegetação da sub-bacia, a área é constituída por 7 tipos, que são: Floresta estacional semidecidual aluvial (Fa); Savana arborizada com floresta-de-galeria (Spf) e sem floresta de galeria (Sas); Savana Parque sem floresta-de-galeria (Sps); Floresta estacional decidual submontana (Cs); Vegetação secundária com palmeiras (Vsp) e Pastagens (Ap) (IBGE, 2018).

3. Materiais e métodos

3.1 Aquisição e processamento dos dados SRTM

O primeiro passo metodológico foi a aquisição dos Modelos Digitais de Elevação – MDE da *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM com resolução espacial de 30m no banco de dados geomorfométricos do Brasil do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, disponíveis no endereço eletrônico: http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/.

O segundo passo foi o processamento dos dados no Sistema de Informação Geográfica – SIG ArcGIS 10.7 com licença estudantil, utilizando-se as ferramentas da extensão (plugin) Spatial Analyst Tools. O processamento para extração da rede de drenagem subdividiu-se em quatro etapas, sendo: preenchimento de sinks (fill); direção de fluxo (flow direction), fluxo acumulado (flow accumulation), hierarquização dos canais com o método de Strahler (stream order) e delimitação de bacia (watershed).

O terceiro procedimento foi a confecção dos mapas de declividade, utilizando a ferramenta Slope do ArcGIS e do mapa hipsométrico, utilizando a ferramenta de classificação do software QGis 'r.recode'. Feito tais mapas, foram calculados informações básicas diretamente na calculadora geométrica dos SIG tais como: área da bacia, altitudes mínima, máxima e características dos cursos d´água (ordem, comprimento, nascentes, etc).

3.2 Morfometria da sub-bacia hidrográfica

O quarto procedimento metodológico foi o cálculo manual dos principais parâmetros morfométricos da sub-bacia, que foram divididos em três categorias: caracterização do relevo, caracterização geométrica e caracterização da rede de drenagem.

Na categoria de caracterização do relevo, só foi um cálculo manual que foi o de amplitude altimétrica (Hm). Ela corresponde à diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia. Indica o desnível médio da bacia hidrográfica. É calculada pela fórmula:

Hm = Hmax – Hmin

Onde: Hmax = Altitude máxima e Hmin = Altitude mínima.

Na caracterização geométrica foram utilizados os parâmetros: Área da bacia (A), Perímetro (P), Comprimento Axial da Bacia (Lx), que é o comprimento da foz até o ponto mais distante, Fator de Forma (F), Índice de Circularidade (IC) e Coeficiente de Compacidade (Kc). A área, o perímetro e o comprimento da bacia foram calculados diretamente no software ArcGIS.

O Fator de Forma (F) representa a relação entre a área da bacia e um quadrado de lado igual ao comprimento axial da bacia. Essa variável é dada pela equação:

$F = A/Lx^2$

Onde: A = Área da bacia em km^2 e Lx = Comprimento axial da bacia em km.

O Índice de Circularidade (IC) tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada. É dado pela fórmula:

$IC = 12,57. A/P^2$

Onde: A = Área da bacia em km^2 e P = Perímetro em km.

O Coeficiente de Compacidade (Kc) é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. É dado pela fórmula:

$Kc = 0,28.P/$

Onde: P = Perímetro em km e A = Área da bacia em km^2.

Na caraterização da rede de drenagem foram utilizados os parâmetros: Ordem da bacia, Número de nascentes, Número de canais, Comprimento total dos canais (tais parâmetros que foram calculados por meio do ArcGIS), além da Densidade de Drenagem (Dd), Coeficiente de Manutenção (Cm), Índice de Rugosidade (Ir) e Densidade Hidrográfica (Dh).

Densidade de Drenagem (Dd) é a relação entre o comprimento total dos cursos de água efêmeros, intermitente e perenes de uma bacia hidrográfica em km e a área total a mesma bacia. A fórmula para cálculo é dada pela seguinte equação:

$Dd = Lt/A$

Onde: Lt = Comprimento total dos canais em km e A = Área da bacia em km^2.

O Coeficiente de manutenção (Cm) fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (SCHUMM, 1956 apud SANTOS et al, 2012). É considerado como um dos índices mais importantes do sistema de drenagem. A fórmula para cálculo é:

$Cm = 1/Dd \times 1000$

Índice de Rugosidade (Ir) combina as variáveis, declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica (Hm) e a densidade de drenagem (Dd). A fórmula para esse cálculo é:

$Ir = Hm.Dd$

Onde: Hm = amplitude altimétrica e Dd = Densidade de drenagem

A Densidade Hidrográfica (Dh) relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia hidrográfica. Em outras palavras, expressa a magnitude da rede hidrográfica, indicando sua capacidade de gerar novos cursos d'água em função

das características pedológicas, geológicas e climáticas da área (FREITAS, 1952 apud LANA, ALVES E CASTRO, 2001). É obtida pela fórmula:

Dh = n/A

Onde: n = Número de canais e A = Área total da bacia em km^2.

E por último, foi estudada Relação de Bifurcação (Rb) que é a relação entre o número total de segmentos de determinada ordem e o número total dos segmentos da ordem imediatamente superior. O cálculo para essa variável é dado pela fórmula:

Rb = Nu/Nu+1

Onde: Nu = número de segmentos de determinada ordem e Nu+1 = número de segmentos da ordem imediatamente superior

Todos os resultados obtidos foram discutidos e fundamentadas para uma melhor compreensão e análise dos dados.

4. Resultados e discussões

4.1 Caracterização do relevo

No mapeamento do relevo, primeiramente, é válido destacar a relação da declividade da sub-bacia com as características geomorfológicas mapeadas. As informações de declividade podem ser vistas na Figura 2.

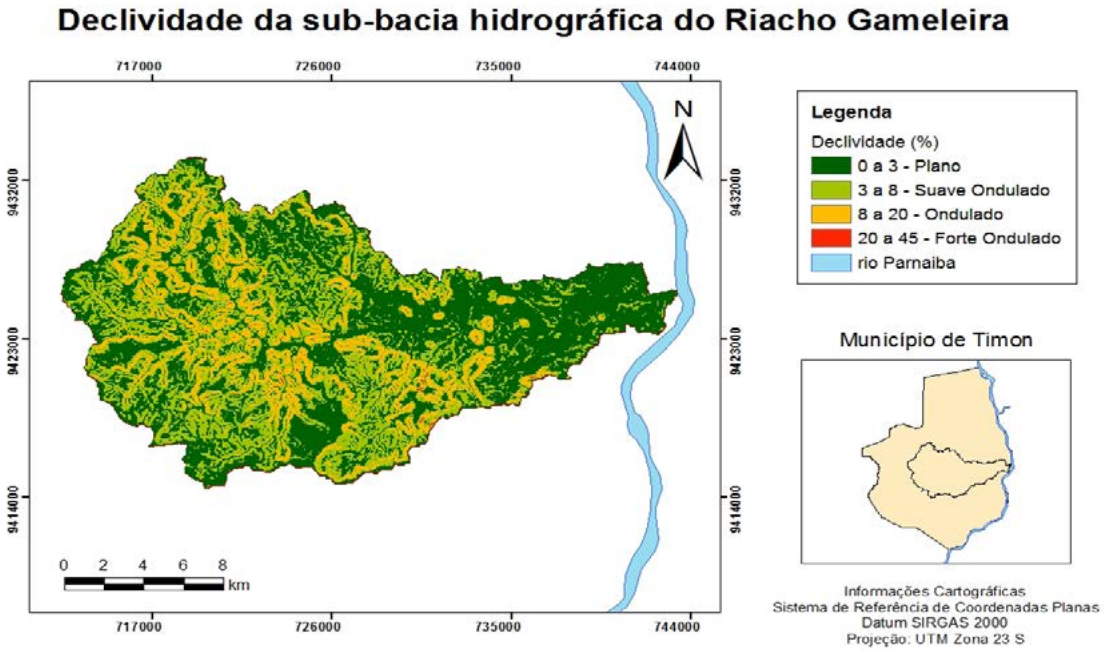


FIGURA 2: Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica do riacho Gameleira.
Fonte: Sena e Silva, 2020.

A Figura 2 mostra as três classes de declividade encontradas na área da sub-bacia do riacho Gameleira, que foram: plano (com declividade de 0 a 3 %); suave ondulado (com declividade de 3 a 8%); ondulado (com declividade de 8 a 20%). Tais informações de relevo coincidem com as características geomorfológicas mapeadas que foram: pediplano, topo tabular e topo convexo (abrangendo cerca de 95% da área da sub-bacia) e planície e terraço fluvial abrangendo cerca de 5% da área (próxima da foz).

De acordo com IBGE (2009) as formas de topos tabulares delineiam feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas. São, em geral, definidas por rede de drenagem de baixa densidade, com vales rasos, apresentando vertentes de pequena declividade. As formas de topos convexos são caracterizadas por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem.

Dessa forma, a confecção do mapa de declividade aliada às informações geomorfológicas é uma das formas de se analisar o relevo, pois indicam a inclinação das vertentes, padrão de rede de drenagem e aspectos relativos à dissecação do relevo, o que viabiliza o planejamento de sua ocupação.

Sobre a hipsometria da sub-bacia, foram estudados os parâmetros: altitude máxima, altitude mínima e amplitude altimétrica. A Figura 3 mostra a altitude da área de estudo, classificada de 30 em 30 metros.

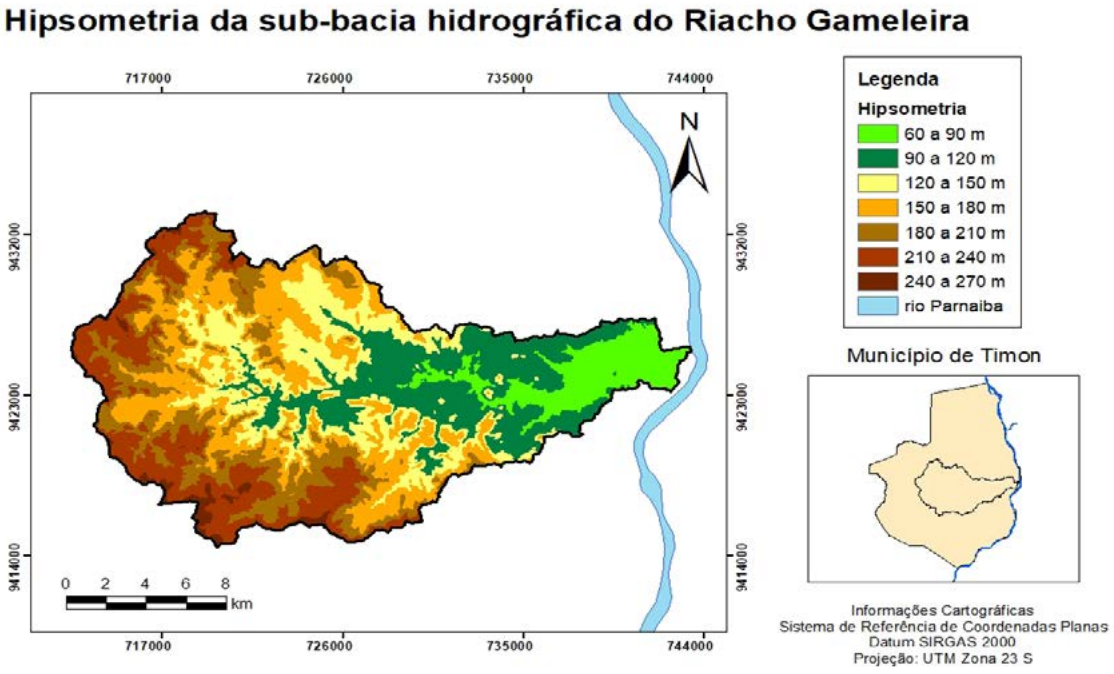


FIGURA 3: Mapa hipsométrico da sub-bacia hidrográfica do riacho Gameleira.
Fonte: Sena e Silva, 2020.

A Figura 3 mostra um modelado com altitudes que varia de cerca 60 a 270 metros. A maior parte da bacia encontra-se em altitude entre 120 e 270 m. A área mais plana da sub-bacia corresponde a forma de planície e terraço fluvial, originada de acumulação com altitude de aproximadamente 60m. A área mais alta, com cerca de 270 m corresponde as áreas de quase todas as nascentes da sub-bacia, englobando as formas de topo tabular, topo convexo e pediplano.

Os resultados dos parâmetros encontrados, calculados no ArcGIS foram: Altitude mínima de 59,10m; Altitude máxima de 260,26m e Amplitude Altimétrica de 201,16m, o que indica que esta sub-bacia possui relevo ondulado, o que influencia na quantidade de radiação que a bacia e consequentemente, na evapotranspiração, na temperatura e na precipitação (TONELLO, 2005) Nota-se que esses resultados de altitude foram menores que os valores encontrados na classificação hipsométrica, evidenciando a margem de erro que tal método apresenta.

A amplitude altimétrica corresponde à diferença altimétrica entre o ponto mais alto da bacia, situado no divisor topográfico, e a altitude da desembocadura e desconsiderar cotas altimétricas no interior da bacia e superiores aos divisores d'água é homogeneizar rugosidades que denotam padrões distintos do relevo na unidade de análise (CHRISTOFOLETTI, 1980).

4.2 Caracterização geométrica

Os parâmetros morfométricos estudados para análise geométrica foram: Área (A), Perímetro (P), Comprimento axial da bacia (Lx), Coeficiente de Compacidade (Kc), Índice de Circularidade (IC) e Fator de Forma (F). A área de drenagem do riacho Gameleira é de 308,05 km^2, o que, de acordo com Faustino (1996) a caracteriza com a denominação de sub-bacia pois é uma área de drenagem maior que 100 km^2 e menor que 700 km^2. O perímetro encontrado foi de 103,246 km e seu comprimento axial é de 32,45 km, ambos calculados no software ArcGIS.

O Coeficiente de Compacidade (Kc) encontrado foi de 1,6471. Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia independente do seu tamanho, assim quanto mais irregular ela for, maior será o coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próxima da unidade, mais circular será a bacia e será mais sujeita a enchentes (VILLELA E MATTOS, 1975). Dessa forma, o valor obtido (Kc) indica que a sub-bacia em estudo não é circular e possui pouca probabilidade de ter enchente.

O Índice de Circularidade (IC) representa a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da área total da bacia, que, na expansão areal, melhor se relaciona com o escoamento fluvial. Assim, IC=0,51 representa um nível moderado de escoamento, valores maiores que 0,51 indicam que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas) e os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada favorecendo o processo de escoamento (MULLER, 1953 e SCHUMM, 1956 apud LANA, ALVES e CASTRO, 2001). O valor obtido foi de 0,3632, o que significa que a área da sub-bacia estudada se distancia da área de um círculo e, em decorrência disso, apresenta um alto nível de escoamento e um baixo risco de cheias.

O Fator de Forma expressa a capacidade da bacia em gerar enchentes. Quanto mais próximo de 1, maior a propensão à enchentes, pois a bacia fica cada vez mais próxima de um quadrado e com maior concentração do fluxo (PALARETTI, 2013). O resultado dessa variável foi de 0,2925, o que cabe inferir que, a sub-bacia estudada não possui risco de enchentes, confirmando os resultados dos Índices de Circularidade e de Compacidade.

4.3 Caracterização da rede de drenagem

Primeiramente, caracterizou-se a rede de drenagem e obteve-se as informações de: Ordem da Bacia, Número total de canais, Comprimento canais de cada ordem e o total, e Número de nascentes e cálculo do índice de Relação de Bifurcação. A Figura 4 mostra a classificação da drenagem da sub-bacia do riacho Gameleira, processada no software ArcGIS, utilizando a metodologia de classificação de Strahler. De acordo com o resultado obtido, a sub-bacia em questão é de 5ª ordem.

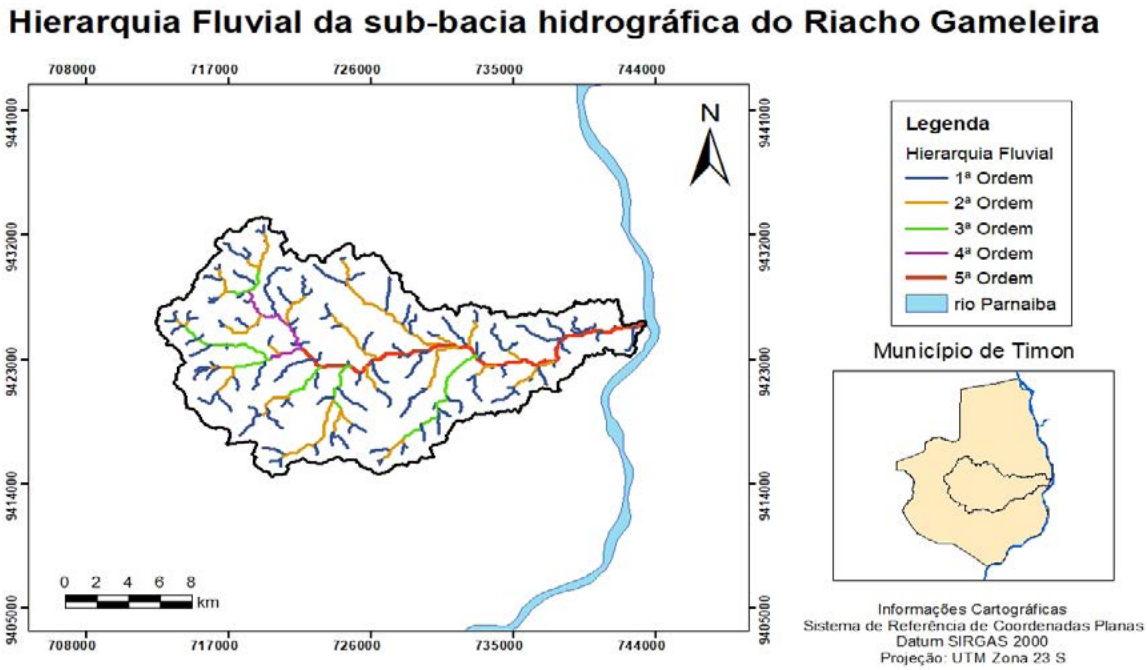


FIGURA 4: Mapa de hierarquia fluvial da rede de drenagem da bacia hidrográfica do riacho Gameleira.
Fonte: Sena e Silva, 2020.

Os dados analisados da Figura 4 mostraram que a sub-bacia estudada possui o total de 194 cursos d'água, e desses, 118 são nascentes (cursos de 1ª ordem). O comprimento total dos canais são 270.118 m. Além, foi estudado a Relação de Bifurcação (Rb), conforme mostra a Tabela 1.

TABELA 1

Relação do número de canais e o Índice de Bifurcação da sub-bacia do riacho Gameleira.

Ordem (Strahler)	Quantidade de Canais	Extensão dos canais (m)	Relação de Bifurcação (Rb)
1ª	118	139.035	----------
2ª	47	66.716	2.4583
3ª	22	28.936	2.0434
4ª	6	8.811	3.1428
5ª	1	26.620	3
Total	**194**	**270.118m**	

Fonte: Sena e Silva, 2020.

O índice de Relação de Bifurcação indica o grau de dissecação da bacia hidrográfica, quanto maior for o valor do índice de bifurcação maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de 2 indica relevo colinoso (CASTRO E CARVALHO, 2009). Analisando os resultados do índice de Relação de Bifurcação constatou-se que todos os valores foram maiores que 2, o que leva a concluir que o relevo não é colinoso, o que confirma o mapeamento de declividade.

Os demais parâmetros utilizados para o estudo da rede de drenagem da sub-bacia em questão foram: Densidade hidrográfica (Dh), Densidade de drenagem (Dd), Índice de Rugosidade (Ir), Coeficiente de manutenção (Cm).

A Densidade Hidrográfica (Dh) relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia. Este índice expressa a grandeza da rede hidrográfica da bacia, indicando a capacidade de gerar novos cursos d'águas (CHRISTOFOLETTI, 1969 apud SANTOS et al, 2012). Obtido foi de 0,639 canais por km^2, o que cabe dizer que a sub-bacia em questão possui uma baixa capacidade de gerar novos cursos d'água.

A Densidade de Drenagem (Dd) é uma das variáveis mais importantes para a análise morfométrica das bacias hidrográficas, representa o grau de dissecação topográfica, em paisagens elaboradas pela atuação fluvial, ou expressa a quantidade disponível de canais para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas (CHRISTOFOLETTI, 1981 apud SANTOS et al, 2012). Esse índice pode variar de 0,5 km.km^2 em bacias com drenagem pobre a 3,5 km.km^2 ou mais em bacias bem drenadas e vale ressaltar que a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem referem-se a aspectos diferentes da textura topográfica. (VILLELA E MATTOS, 1975). O valor encontrado foi de 0,876 km.km^2, o que indica que a sub-bacia tem uma drenagem pobre ou baixa.

O Índice de Rugosidade (Ir) mostra a relação da declividade (amplitude altimétrica) com a densidade de drenagem, sendo que quanto maior for o índice implica em relevo mais colinoso e dissecado (maiores declividades) e canais mais entalhados (CASTRO E CARVALHO, 2009). O valor encontrado foi de 229,63, o que implica dizer que a sub-bacia apresenta-se em ambiente de baixo a médio declive, o que condiz com o mapeamento da declividade da área.

O Coeficiente de Manutenção (Cm) fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Esse dado permite representar qual seria a área necessária para a manutenção de um metro de curso fluvial perene (SCHUMM, 1956 apud SANTOS et al, 2012). Dessa forma, no que diz respeito ao balanço hidrodinâmico da sub-bacia, o resultado obtido indica que são necessários 1.141 m^2 de área para manter perene cada metro de canal, o que significa que a bacia é pobre em cursos d'água.

5. Considerações finais

A análise geomorfológica da sub-bacia do riacho Gameleira e entendimento do comportamento morfométrico poderá servir como subsídio no planejamento da ocupação e tratamento dos impactos antrópicos que possa ocorrer como: habitações, balneários, cultivos dos mais diversos.

As técnicas de geoprocessamento se mostraram eficientes no estudo de zoneamento geoambiental da sub-bacia hidrográfica do riacho Gameleira, que poderá permitir a viabilização de políticas públicas para tomada de decisão dos recursos hídricos desta sub-bacia por parte do poder público competente.

Referências

CASTRO, S.B; CARVALHO, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**. v. 5, n. 2. São Paulo. 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1980.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CORREIA FILHO, F. L. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Timon. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011. 31 p.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996.

GARCEZ, L. N; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia.** 2ª ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1999.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia.** 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

_____. **Geociências – Downloads – Informações Ambientais**. IBGE: Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html Acesso em: 29. jan. 2020.

LANA, C. E; ALVES, J. M. P; CASTRO, P. T. M. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG – Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**. Ouro Preto, v. 54, n.2 abr/jun .2001.

PALARETTI, L. F. **Manejo de bacias hidrográficas.** 10 feb. 2013, 05 jul. 2013. 11 p. Notas de Aula. Online.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil**. Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TUCCI, C. E. M.; MENDES C. A**. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. 2. ed. Brasília: MMA, 2006. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/sqa_3.pdf >. Acesso em: 18 maio 2019.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975.

ANÁLISE TEMPORAL DA EXPANSÃO DA FUMICULTURA EM ÁREAS POTENCIALMENTE FRÁGEIS DO ESCUDO SUL RIO-GRANDENSE

Pedro Vieira Sampaio
Instituto de Ciências Humanas da Universidade Federal de Pelotas
Rua Cel. Alberto Rosa, 154, CEP: 96010280
E-mail: sampaiovpedro@gmail.com
Matheus Midon dos Passos
Instituto de Ciências Humanas da Universidade Federal de Pelotas
Rua Cel. Alberto Rosa, 154, CEP: 96010280
E-mail: matheus.midon@hotmail.com
Edvania Aparecida Corrêa
Instituto de Ciências Humanas da Universidade Federal de Pelotas
Rua Cel. Alberto Rosa, 154, CEP: 96010280
E-mail: edvania.correa86@gmail.com

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a dinâmica de uso da terra entre os cenários de 2010 e 2016 em áreas com expansão da fumicultura na porção sul do Rio Grande do Sul. Para tanto, foi realizado um mapeamento de uso e cobertura da terra relativo ao cenário de 2010, com base em ferramentas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento, e o mesmo foi comparado com um mapeamento do cenário de 2016. Além das informações mapeadas, também foram considerados os tipos e as características de relevos e de solos presentes na área de estudo. Verificou-se que, no período analisado, as culturas temporárias – das quais se destaca a fumicultura – tiveram um acréscimo de cerca de 12% em área plantada, fato que pode intensificar o processo de degradação dos solos visto que a área de estudo apresenta predomínio de declividades que variam de 8 a 45% conjuntamente com solos de elevada erodibilidade, como Neossolos Regolíticos e Litólicos.

Palavras-chave: Uso da terra; Fumicultura; Degradação dos solos.

1. Introdução

O termo cobertura da terra pode ser compreendido como sendo o conjunto de elementos naturais e artificiais que revestem a superfície terrestre (IBGE, 2013). Simon (2007) defende que o sentido da expressão pressupõe a ocorrência de uma camada protetora, a vegetação natural, que funciona como uma defesa do solo aos processos naturais e às ações antrópicas.

O uso da terra, por sua vez, diz respeito às diversas atividades de cunho socioeconômico empregadas pelos seres humanos sobre determinado recorte espacial, como a habitação, atividades industriais, a agricultura, a mineração, entre outros (IBGE, 2013; SIMON, 2007). A efetivação destes usos, processo que em grande parte das vezes requer a retirada da cobertura vegetal original (LEPSCH, 2010), pode acarretar na alteração das dinâmicas pedológica e geomorfológica da área em questão.

A superfície terrestre é naturalmente modificada ao longo do tempo geológico pela erosão natural, que corresponde ao conjunto de processos que desagregam solos e rochas e transportam os sedimentos para locais mais baixos onde são depositados. Porém, ao se alterar a cobertura nativa do solo, o processo de erosão pode acabar sendo acelerado e/ou acompanhado de outras formas de degradação (PRESS et al, 2006; LEPSCH, 2010).

Diante deste cenário, os levantamentos de uso e cobertura da terra servem à análise e compreensão das dinâmicas de utilização da superfície terrestre em diferentes períodos de tempo, o que constitui um "instrumento valioso para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental, frente aos diferentes manejos empregados na produção" (IBGE, 2013, p. 37). Tais estudos são de extrema importância na busca de assegurar o equilíbrio entre as forças e necessidades ambientais, sociais e econômicas envolvidas em tais práticas.

De acordo com Schick et al (2000) e Lepsch (2010), entre os principais fatores que interferem na sujeição de um terreno à erosão, encontra-se o tipo de manejo agrícola, uma vez que a implementação de determinados cultivos afeta diretamente o regime de absorção da água das chuvas, o que potencializa a erosão hídrica - tipo de erosão mais comum no Brasil. Outros fatores que influenciam esta forma de erosão são a topografia, os tipos de solo, o clima e a presença ou não de práticas conservacionistas (SCHICK et al, 2000; COGO, LEVIEN, SCHWARZ, 2003).

Seguindo a mesma linha, Lepsch (2010, p. 195-196) salienta que "as culturas anuais [...] deixam a superfície mais exposta do que os cultivos perenes", o que pode tornar as partículas do solo suscetíveis de serem transportadas, sujeitas aos diversos tipos de erosão hídrica, como a por salpico, laminar, em sulcos e em voçorocas.

Tendo isso em vista, e considerando a importância da participação do Brasil no mercado mundial de tabaco - fato atestado por Dutra (2015) com base em dados da Associação dos Fumicultores do Brasil (Afubra) e da International Tobacco Growers Association (ITGA) e sendo a fumicultura uma cultura temporária, o tema ganha relevância em escala nacional. A partir de meados dos anos 1970, a fumicultura ganha relevo e se consolida na região sul do Brasil, mais especificamente no estado do Rio Grande do Sul, com destaque para os municípios de Canguçu e de Pelotas, entre outros (DUTRA, 2015; IBGE, 2020). O autor enfatiza, ainda, que "a fumicultura é o principal cultivo agrícola no município de Canguçu" (DUTRA, 2015, p. 114).

De acordo com dados da Afubra (2020) referentes à região sul-brasileira, o aspecto econômico da produção de fumo tem se mostrado cada vez mais atrativo aos produtores rurais, uma vez que o preço do quilo subiu cerca de 40% na safra de 2016 e tem se mantido desde então. Dados do IBGE (2020) atestam a significância da região geográfica imediata de Pelotas no setor, uma vez que, juntos, Canguçu e Pelotas são responsáveis por cerca de 5% das 285.613 hectares colhidas na região sul, composta por 1.193 municípios.

Conforme aponta Dutra (2010, p. 39), "a dinâmica de uso da terra em propriedades rurais na região sul do Rio Grande do Sul tem ganhado notoriedade no cenário nacional e internacional por ser um dos grandes polos de predomínio da agricultura familiar". No mesmo sentido, o autor entende que "um dos fatores a ser destacado é a propriedade onde se desenvolve a produção fumageira, consolidando a tese que um dos fatores-chave para desenvolvimento da fumicultura é a estrutura de unidades familiares de produção" (DUTRA, 2010, p. 112).

Segundo Prestes (2018), o manejo da fumicultura no alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo se dá no sentido do declive das vertentes. Rutz (2015) já alertava para a ocorrência de cultivos em áreas de forte declividade. Ambas as considerações colidem com o entendimento de Press et al (2006) e de Lepsch (2010) de que o plantio no sentido "morro abaixo" tende a agilizar a degradação dos solos, uma vez que a erosão atua mais intensamente quanto maior for a declividade do terreno.

Considerando os aspectos abordados e atentando para a constante evolução dos hardwares e softwares (IBGE, 2013), entende-se que as geotecnologias são ferramentas de grande valia às diversas áreas do conhecimento geográfico e ambiental, uma vez que permitem as ações de "coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica" (ROSA, 2005, p. 81).

Dentre as geotecnologias, destaca-se o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto que, de acordo com o IBGE (2013, p. 27), marcam "uma nova era dos estudos de Uso da Terra". Conforme Silva (2009), o Geoprocessamento pode ser compreendido como uma união de procedimentos executados sobre conjuntos de dados georreferenciados, que visa a produção de informações ambientais a partir de análises e avaliações das propriedades do terreno abordado.

O Sensoriamento Remoto, por sua vez, é uma importante técnica de geração de dados relacionados à superfície terrestre. Essa geração ou captura se dá através de sensores que, à distância, registram a energia absorvida ou refletida pela superfície analisada (BOSSLE, 2005; FITZ, 2008; DA SILVA, 2009).

Com base no contexto e nos instrumentos de análise anteriormente focalizados, o objetivo do presente trabalho é avaliar a dinâmica de uso da terra entre os cenários de 2010 e 2016 em áreas com expansão da fumicultura na porção sul do Rio Grande do Sul. Tais áreas de expansão se encontram em relevos e solos que denotam elevada susceptibilidade natural aos processos de degradação dos solos.

2. Área de estudo

O alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo se localiza na zona rural dos municípios de Canguçu e de Pelotas, conforme observado na figura 1, pertencendo à região geográfica imediata de Pelotas (IBGE, 2017). A localidade possui uma área de 53,29 km^2, o que equivale a 5.329 hectares.

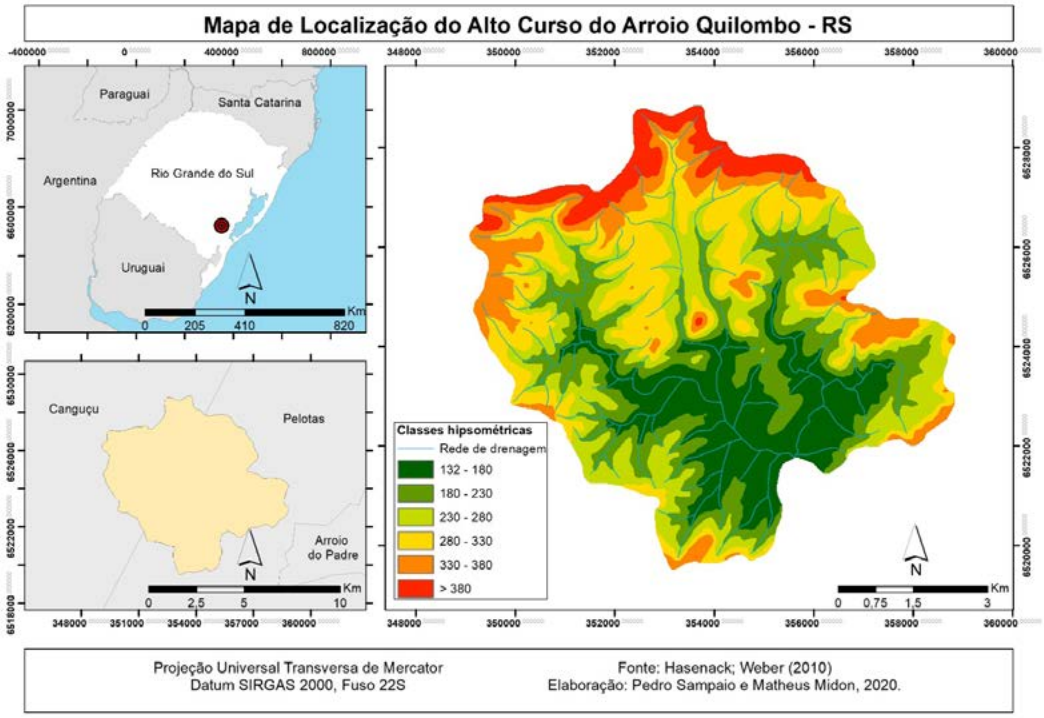


FIGURA 1: Localização e hipsometria do Alto Curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo.

Em termos estruturais, a área se encontra na Serra do Sudeste e na formação geológica Escudo Sul Riograndense. O escudo representa uma grande superfície - de cerca de 48.000 km² - de base cratônica (DUTRA, 2010), formada no Pré-Cambriano e que "apresenta um complexo cristalino e metamórfico, além de litologias mais recentes compostas por rochas sedimentares de idades diferentes (Paleozóicas e Cenozóicas) e efusivas basálticas" (FLACH, 2018, p. 30).

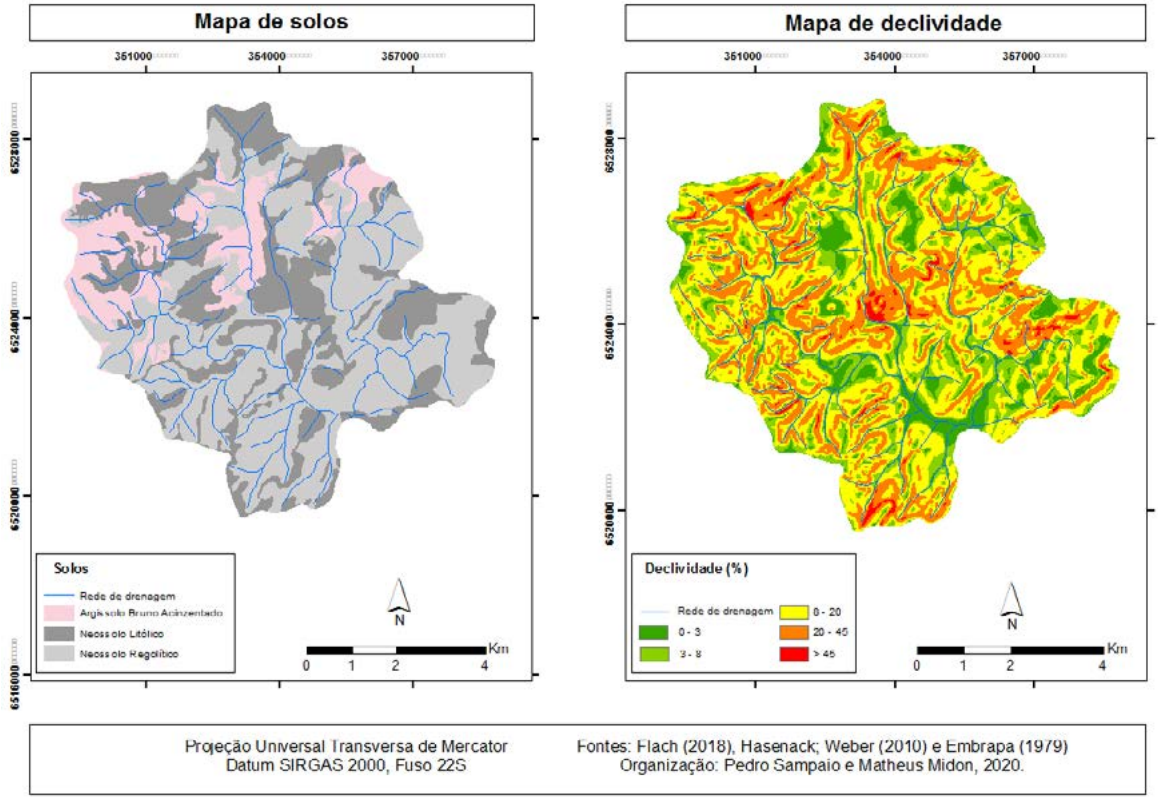
Tendo isso em vista, a região é composta por 5 unidades geológicas que correspondem a rochas graníticas e xistos cristalinos. São elas: Granitóides sin a tardicinemáticos 1 e 2, Fácies Sienogranito-stocks, Complexo Granítico Gnáissico Pinheiro Machado e Granito Arroio Moinho (FLACH, 2018; PRESTES, 2018).

Em virtude da diversidade litológica supracitada e da atuação diferencial da erosão sobre cada litologia, têm-se a predominância de morros com topos convexos e vertentes suaves, compostas por sedimentos que procedem dos granitos e material arenoso (PRESTES, 2018), mas também ocorrem morfologias de topos convexos e vertentes íngremes (FLACH, 2018). Dutra (2010) ainda destaca a existência, em grandes quantidades, de material intemperizado que acaba por ser transportado para o fundo dos vales pelos processos erosivos.

Utilizando-se da classificação climática de Köppen, Prestes (2018) e Flach (2018) afirmam que a temperatura média anual na região é de 17,6 ºC, mas destacam a pronunciada variação térmica: a temperatura média do mês mais frio (julho) é de 12, 2 ºC, enquanto no mês mais quente (janeiro) essa média chega a 23,3 ºC.

Já no que diz respeito à precipitação, a média dos índices pluviométricos supera 100 mm em todos os meses do ano, com exceção de março, sendo que abril apresenta a menor média, cerca de 100 mm, e o mês de julho, a maior, chegando a 140 mm (FLACH, 2018; PRESTES, 2018). Com base nos dados estatísticos enfatizados, o clima do recorte espacial abordado é Cfa (subtropical úmido), isto é, se caracteriza por ser úmido de latitudes médias com invernos amenos, sendo úmido em todas as estações e com a ocorrência de verões quentes (YNOUE et al, 2017).

Em virtude da escassez de mapeamentos de detalhe sobre os solos existentes na região, Flach (2018) produziu um esboço fotopedológico (figura 2a) no qual foi verificada a ocorrência de 3 tipos de solo: Argissolo Brunoacinzentado, Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico.



FIGURAS 2A E 2B: Mapas de solo e de declividade do Alto Curso do Arroio Quilombo.

Consoante o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, os Neossolos são "constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos" (EMBRAPA, 2018, p. 96). Assim os Neossolos, devido ao pouco desenvolvimento e estrutura e baixa profundidade, são solos com elevada suscetibilidade erosiva. Os Argissolos são "constituídos por material mineral com argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico e horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E" (EMBRAPA, 2018, p. 87). Devido a presença de horizonte B textural, os Argissolos apresentam diferenças quanto a capacidade de infiltração de água entre os perfis, o que colabora para aumentar os processos de degradação destes solos.

Quanto às declividades, destacam-se as ocorrências de relevos forte ondulados e ondulados dispersos por toda a área de estudo (declives variando de 8 a 45%, figura 2b), além da existência de relevos montanhosos em locais pontuais.

Sobre estas condições físico-geográficas, o cultivo de fumo tem sido intensificado a partir dos anos 1990, sendo que, desde então, se expandiu a área plantada, o número de produtores e, por inferência, a produção. A ascensão da fumicultura foi motivada pela desestruturação das indústrias de conservas que existiam na região de Pelotas para as quais eram destinados os produtos oriundos da agricultura familiar local. Concomitantemente, o aporte de capital na região e a atuação de grandes empresas fumageiras favoreceram tal processo (DUTRA, 2010, 2015).

3. Metodologia

A metodologia que orientou a elaboração do presente trabalho teve início com a delimitação da área de estudo com base nos pontos cotados, na rede de drenagem e nas curvas de nível disponíveis na base cartográfica digital de Hasenack e Weber (2010). O produto foi gerado em escala de 1:50.000 e no datum SIRGAS 2000, Sistema Universal Transversa de Mercator, Fuso 22S. Posteriormente, realizou-se a captura de 94 imagens de satélite referentes ao ano de 2010, com escala de visualização de 1:10.000, por meio da utilização conjunta do Google Earth e do Elshayal SmartGIS. Para a apreensão das imagens, utilizou-se a ferramenta Import Rectified Image, disponível no Elshayal SmartGIS.

O processo de mapeamento do uso e cobertura da terra teve sequência através do ArcGis 10.3, sob licença do Laboratório de Estudos Aplicados em Geografia Física (LEAGEF) - UFPel. No software, primeiramente foi realizada e mosaicagem das imagens através da ferramenta Mosaic to New Raster e, em seguida, foi aplicada a técnica de segmentação, através da ferramenta Segmentation Mean Shift, utilizando-se dos parâmetros de 17 para Spectral Detail, 12 para Spatial Detail e 20 para Minimum Segment Size In Pixel. Os valores foram definidos a partir de testes que tiveram por objetivo definir o padrão que melhor representaria os objetos analisados.

Paganotto et al (2018, p. 3) destacam que os parâmetros se referem ao "nível de importância das características espectrais das imagens"; ao "nível de importância dada à proximidade entre os recursos das imagens" e "à junção dos segmentos menores de melhor vizinhança", respectivamente.

A partir de então, os pixels que se encontravam próximos e que possuíam características espectrais semelhantes foram agrupados em um mesmo polígono. No procedimento, o arquivo raster foi transformado em vetor (SAMPAIO; CORRÊA, 2019). Em seguida, os polígonos que abrangem um mesmo tipo de uso ou cobertura foram unidos manualmente através da ferramenta Merge e, uma vez unidos, foram categorizados de acordo com a chave de classificação adaptada do IBGE (2013) por Prestes (2018). Foi realizada a classificação manual devido a diversidade de usos da terra ocorrentes em inúmeras propriedades familiares. Tal característica, quando da utilização de métodos de classificação supervisionada e não supervisionada, acarretava na junção de alvos diferentes, divergindo da realizada observação em campo.

Depois disso, ainda no ArcGis, foi elaborado um modelo digital de elevação (MDE) através da ferramenta Topo to raster, que é um interpolador que utiliza, além dos pontos cotados e das curvas de nível, a rede de drenagem e o limite da bacia, sendo que os arquivos vetoriais referentes a estes últimos não apresentam valores de altitude (MORAES; ALVES, 2018).

A partir do MDE, gerou-se um mapa de declividade em porcentagem, por meio da ferramenta Slope. As classes de declividade foram baseadas na classificação estipulada pela Embrapa (1979), que abrange os seguintes tipos de relevo: plano (0 3%), suave ondulado (3 8%), ondulado (8 20%), forte ondulado (20 45%), montanhoso e escarpado (> 45%). Como a área de estudo não possui relevo escarpado, a classe de declividade que o conforma não foi considerada no mapa.

Para a elaboração do presente trabalho foram utilizados, ainda, o mapa de solos gerado por Flach (2018) e o mapa de uso e cobertura da terra elaborado pelo LEAGEF (2018) referente ao cenário de 2016. Por fim, foi realizada a quantificação e a comparação das classes de uso e cobertura entre os dois cenários analisados por meio do Excel.

4. Resultados e discussão

A partir dos dados elaborados e levantados que dizem respeito à dinâmica de uso e cobertura da terra entre os anos de 2010 e 2016, têm-se o seguinte produto cartográfico:

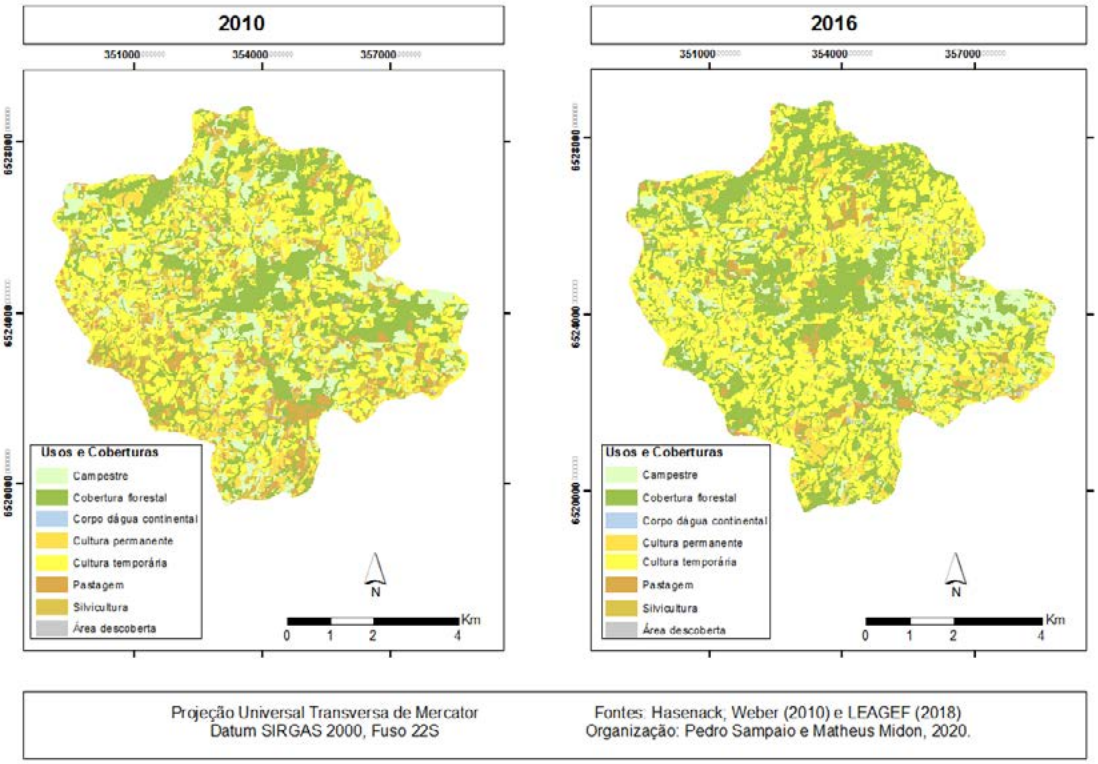


FIGURA 3: Cenários de uso e cobertura da terra referentes aos anos de 2010 e de 2016.

Na área abordada, foram observados os subsequentes usos e coberturas: área descoberta, campestre, cobertura florestal, corpo d'água continental, cultura permanente, cultura temporária, pastagem e silvicultura. Conforme consta na tabela 1, no ano de 2010 a classe área descoberta abrangia 1,86% da área de estudo, sendo que esse número se manteve estável, chegando a 1,89% em 2016; a categoria campestre, em 2010, abrangia 14,03% da área, diminuindo para 8,50% em 2016; a cobertura florestal, que em 2010 ocupava 28,54% da área, em 2016 passou a ocupar 35,98% da mesma; os corpos d'água continentais cobriam 0,08% da área em 2010, passando para 0,05% em 2016; a categoria cultura permanente, em 2010, estava presente em 6,61% do recorte analisado, diminuindo para 3,04% em 2016; as culturas temporárias, por sua vez, aumentaram de 33,88% em 2010 para 45,30% em 2016; já as classes pastagem e silvicultura diminuíram de 7,29% para 2,90% e de 7,71% para 2,34%, respectivamente.

TABELA 1
Classes de uso e cobertura da terra e porcentagem da área ocupada por cada uma delas

Usos e Coberturas	2010 (%)	2016 (%)
Área descoberta	1,86	1,89
Campestre	14,03	8,50
Cobertura florestal	28,54	35,98
Corpo d'água continental	0,08	0,05
Cultura permanente	6,61	3,04
Cultura temporária	33,88	45,30
Pastagem	7,29	2,90
Silvicultura	7,71	2,34
Área total	100,00	100,00

Fonte: Autoria própria.

As culturas temporárias foram o tipo de uso que apresentou maior taxa de aumento no período analisado. Tais culturas se caracterizam pela necessidade de revolvimento do solo em curtos períodos de tempo. Na região, o fumo é a principal cultura temporária empregada, mas também ocorrem plantações de milho e de soja (RUTZ, 2015). Os impactos causados pela produção fumageira se iniciam com a retirada da vegetação natural, o que torna o solo exposto à erosão hídrica, e se estendem àqueles gerados no solo e na água pelo uso de agrotóxicos (PAGANOTTO et al, 2018).

Conforme destaca Lepsch (2010 apud PRESTES, 2018), alguns solos são mais propensos à erosão do que outros em virtude de suas características. Como a área de estudo é composta por Neossolos e Argissolos, que são solos jovens e relativamente rasos, predominantemente arenosos e cascalhentos (FLACH, 2018), o risco de eficiência dos processos erosivos é ampliado, especialmente quando o cultivo é temporário e se dá em locais de maior declividade, fato que é verificado ao se analisar os mapas das figuras 2a, 2b e 3 e que já foi ressaltado por Rutz (2015) e Prestes (2018).

Na porção superior da área de estudo, junto aos canais de primeira ordem, predominam áreas de declividade entre 12 e 20%, o que caracteriza um relevo forte ondulado. Neste local também se verifica amplitudes altimétricas que ultrapassam os 100 m. No mesmo recorte, a ocorrência de Argissolos Bruno-Acinzentados, Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos é equilibrada e o principal uso empregado é a cultura temporária, que se expandiu no período analisado, da mesma forma que é possível notar a expansão de áreas de cobertura florestal, em detrimento da cobertura campestre.

Na porção média da área abordada também ocorre o predomínio do relevo forte ondulado. Nela, imperam altitudes de 132 a 230 m e os Neossolos passam a predominar neste recorte, onde a silvicultura e a pastagem têm sido substituídas por culturas temporárias. Já na porção inferior da área estudada, onde as altitudes de 132 a 180 m são dominantes, ocorre o predomínio de declividades entre 8 e 20% (relevo ondulado) e de Neossolos Regolíticos. Nela, as culturas temporárias têm sucedido áreas de cultura permanente, de pastagem e também de cobertura campestre.

Alguns resultados das práticas e processos citados podem ser verificados nas figuras 4a e 4b. Destaca-se, ainda, a ausência de práticas conservacionistas na maior parte da área, o que culmina no surgimento de feições erosivas lineares.



FIGURAS 4A E 4B: Feições erosivas lineares decorrentes do intenso uso da terra em plantações de fumo.
Fonte: Arquivo dos autores.

4. Considerações finais

Tendo em vista os aspectos analisados, entende-se que as porções superior e média da área de estudo, em virtude de suas características de relevo e de solos, possuem maior tendência natural aos processos de degradação dos solos, que tendem a serem amplificados à medida que se intensifica os usos da terra, especialmente em áreas de forte declividade.

As culturas temporárias, particularmente a fumicultura, têm sido cada vez mais aplicadas e, mantendo-se esse ritmo, a lógica é que os processos erosivos atuem com maior eficácia com o passar do tempo, principalmente na ausência de práticas de conservação dos solos. Assim, torna-se necessária a continuação de estudos que visem quantificar as perdas de solos na área de estudo e que possam subsidiar o diálogo voltado a inserção de medidas de conservação bem como a realização de um adequado uso da terra, consoante com as condições naturais apresentadas na área de estudo.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) (Edital ARD 01/2017) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Edital Universal/2018).

Referências

ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL. **Fumicultura no Brasil**. Santa Cruz do Sul: Afubra, [2019]. Disponível em: https://afubra.com.br/fumicultura-brasil.html. Acesso em: 11 fev. 2020.

BOSSLE, R. C. **QGIS e Geoprocessamento na prática**. 1. ed. São José dos Pinhais: Íthala, 2015.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 743-753, 2003.

DA SILVA, J. X. O que é Geoprocessamento? **Revista CREA RJ**, Rio de Janeiro, 30 out. 2009. p. 42-44.

DUTRA, É. J. da S. **A fumicultura no Passo dos Oliveiras, Canguçu-RS**: Consequências na reorganização do setor agrário. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.

DUTRA, É. J. da S. **A produção de fumo em perspectiva**: A tipologia dos produtores de fumo no município de Canguçu. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Súmula da x reunião técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLACH, C. W. **Esboço fotopedológico, análise morfológica e de degradação dos solos no alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em: 13 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Regiões Geográficas Estado do Rio Grande do Sul**. Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias. Folha RS, 43. IBGE, 2017. 1 mapa. Escala 1:900.000.

LABORATÓRIO DE ESTUDOS APLICADOS EM GEOGRAFIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. **Relatório interno**. Pelotas, 2018.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MORAES, I. C. (org.); ALVES, E. A. C (ed.). **Introdução ao SIG**: Ênfase em ArcGIS. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2018.

PAGANOTTO, V. D. *et al.* Adequabilidade da ocupação espacial da Alta Bacia do Arroio Quilombo (Pelotas/RS) às classes de capacidade de uso da terra. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 12., 2018, Crato. **Anais** [...]. Crato: SINAGEO, 2018. Disponível em: http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/10/10-277-161.html. Acesso em: 10 fev. 2020.

PRESS, F. *et al.* **Para Entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

PRESTES, V. **Erosão hídrica e uso da terra no alto curso do Arroio Quilombo por meio da Equação Universal de Perdas**

de Solos – EUPS. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

RUTZ, E. C. **Análise histórica das enxurradas no município de Pelotas e as consequências da enxurrada de 2009 na bacia hidrográfica do Arroio Quilombo, Pelotas/ RS**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

SAMPAIO, P. V.; CORRÊA, E. A. Mapeamento do uso da terra: ferramenta necessária para a compreensão das dinâmicas ambientais. In: CONGRESSO DE EXTENSÃO E CULTURA, 5., 2019, Pelotas. **Anais** [...] Pelotas: UFPel, 2019. p. 57-60. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/congressoextensao/files/2019/11/Meio-Ambiente.pdf. Acesso em: 14 fev. 2020.

SCHICK, J. *et al.* A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 427-436, 2000.

SIMON, A. L. H. **A dinâmica de uso da terra e sua interferência na morfohidrografia da bacia do Arroio Santa Sárbara - Pelotas (RS)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

YNOUE, R. Y. *et al.* **Meteorologia**: Noções básicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

APLICAÇÃO DE GEOMORPHONS PARA A CLASSIFICAÇÃO DO RELEVO NOS MUNICÍPIOS DE ITAPEMA, PORTO BELO E BOMBINHAS - SC

Maurício Mendes Von Ahn
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Roraima, nº 1000 – Cidade Universitária, CEP: 97119900
E-mail: mauricio.von.ahn@gmail.com
Adriano Severo Figueiró
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Roraima, nº 1000 – Cidade Universitária, CEP: 97119900
E-mail: adriano.figueiro@ufsm.br

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo realizar a compartimentação do relevo através do uso dos *geomorphons* nos municípios de Itapema, Porto Belo e Bombinhas (Estado de Santa Catarina), a fim de subsidiar a investigação da paisagem e subsequente identificação e caracterização dos Locais de Interesse Patrimonial do território estudado. A classificação do relevo foi realizada a partir do MDE gerado com base nos dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 90 metros, obtendo-se dez elementos do relevo. O mapeamento permitiu identificar que os *geomorphons* se constituem em uma ferramenta de grande importância no estudo das formas do relevo e suas configurações, permitindo a compreensão dos fatores que atuam na modelação do relevo. Percebeu-se que os elementos mapeados possuem uma relação direta com o processo de evolução estrutural da paisagem local, onde predomina o elemento do tipo plano, bem como as vertentes íngremes, vales profundos e cristas bem marcadas na paisagem. Conclui-se que os resultados obtidos se mostraram satisfatórios para a compreensão do relevo e que esta nova abordagem possui um grande potencial dentro da investigação da paisagem da área em estudo, sobretudo se tratando da compartimentação da paisagem em macrounidades, as quais configuram-se como um detalhamento das macroestruturas do relevo.

Palavras-chave: Geotecnologias; Modelagem do relevo; Geomorfometria; Geomorphons; Paisagem.

1. Introdução

Nas geotecnologias, especialmente pautado nos sistemas de informação geográfica, a obtenção de parâmetros geomorfométricos e geomorfológicos vem sendo cada vez mais automatizada e simplificada (FLORENZANO, 2008). Segundo Valeriano (2008), dados de entrada como modelos digitais de elevação, curvas de nível e pontos cotados, permitem a obtenção de dados morfométricos, a exemplo de declividade, orientação das vertentes, plano e perfil de curvatura. Estes dados, uma vez integrados, fornecem informações relevantes para a investigação da paisagem.

De acordo com Muñoz (2009) a obtenção dos atributos do relevo passou a ser um procedimento de mais fácil acesso, permitindo classificar e descrever de forma quantitativa as formas da superfície da Terra por meio de equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica.

Uma das formas de classificação dos elementos do relevo, que vem sendo crescentemente utilizada, é a compartimentação a partir do uso dos *geomorphons* (JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013). Os autores citados estabeleceram uma classificação de elementos de relevo utilizando um MDE pelo reconhecimento textural. A metodologia é baseada no conceito de Padrões Ternários Locais (LTP) (LIAO, 2010) com a interpretação do arranjo espacial de tons de cinza para um dado arranjo espacial de elevação da região (JULESZ, 1981) e vem sendo aplicada por diversos autores (ROBAINA; TRENTIN; LAURENT, 2016; ROBAINA et al. 2017; SILVEIRA et al. 2018; e PETSCH et al. 2020).

Diante destas considerações iniciais, este trabalho tem como objetivo a realização da compartimentação do relevo através do uso dos *geomorphons* nos municípios de Itapema, Porto Belo e Bombinhas (Estado de Santa Catarina), a fim de subsidiar a investigação da paisagem e subsequente identificação e caracterização dos Locais de Interesse Patrimonial do território estudado.

2. Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir dos dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizado pelo *United States Geological Survey* (USGS), com resolução espacial de 3 arc-second (90 metros). Tratando-se de uma área de estudo de abrangência regional, a escala da base cartográfica dos dados SRTM de 90 metros são perfeitamente adequados às análises e aplicações.

A classificação do relevo em *geomorphons* foi realizada utilizando a ferramenta *r.geomorphon* disponível no software *Quantum GIS* (QGIS) 3.16.0 *with GRASS* 7.8.4, podendo ser implementada também em aplicativo disponível *online* em << http://sil.uc.edu/geom/app >>.

A definição dos *geomorphons* seguiu a metodologia proposta por Jasiewicz e Stepinski (2013) que analisam a similariedade textural do MDE considerando a variação de níveis de cinza entre uma célula central e as células vizinhas, atribuindo valores de 1, 0 e -1, para maior, igual e menor, respectivamente. Estes valores são transferidos ainda para valores de elevação do terreno.

A Figura 1 demonstra a aplicação da proposta de Jasiewicz e Stepinski (2013) para representação dos elementos do relevo. Descrevendo-se de forma simplificada, em A tem-se a representação do MDE em torno da célula central, em B as oito células vizinhas da célula central, representadas com cores diferentes para indicar se seus valores de elevação são maiores (vermelho), menores (azul) ou com o mesmo valor (verde) de elevação da célula central e, em C, a representação de três maneiras diferentes para mostrar o padrão estudado.

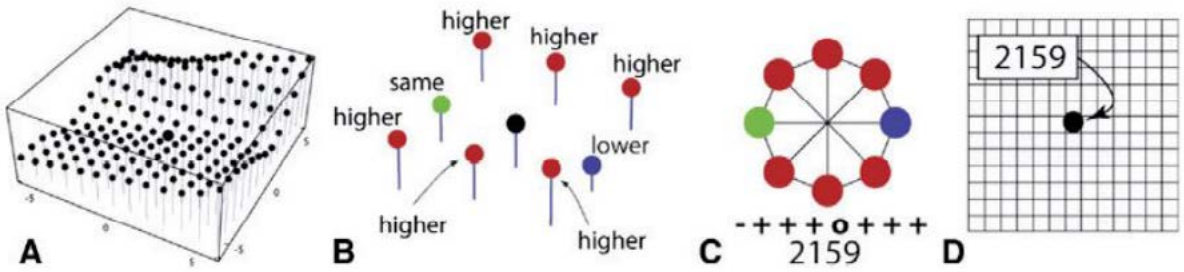


FIGURA 1: Representação dos elementos geomorphons.
Fonte: Jasiewicz e Stepinski (2013).

Jasiewicz e Stepinski (2013) destacam que além das diferenças altimétricas, para a classificação do relevo torna-se importante a compreensão da distância e o ângulo de direção dos pontos vizinhos em relação à célula central, que são os ângulos zenith e nadir. Para esse cálculo, perfis são traçados para as principais direções a partir da célula central extraída do MDE. A aplicação exige um conjunto de dados raster e dois valores escalares, livres, como parâmetros.

Os dois parâmetros livres são *lookup* "L" (distância em metros ou em unidades células) e *thresholdt* (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres, aplicou-se valor de "L" igual a 10 pixeis (900 metros) e graus "t" igual a 2º.

Através do uso da ferramenta dos *geomorphons*, com os parâmetros livres acima descritos, foram obtidos 10 elementos do relevo predominantes, que estão representados na Figura 2.

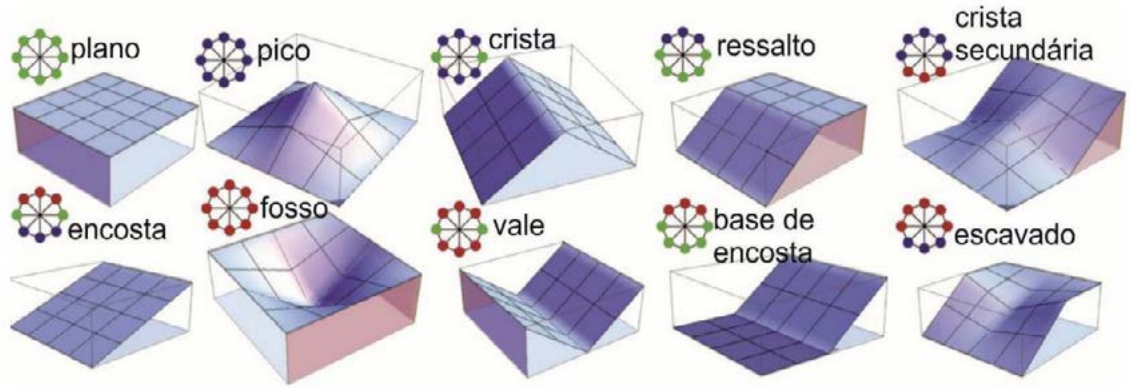


FIGURA 2: Representação gráfica dos elementos *geomorphons*.
Fonte: Guadagnin e Trentin (2019), modificado de Jasiewicz e Stepinski (2013).

Após a obtenção dos *geomorphons* o arquivo foi trabalhado em ambiente SIG no *software* ArcGIS 10.8, onde foi possível o cálculo da área e a análise de cada elemento. Ainda no ambiente SIG, a rede de drenagem e o mapa de declividade foram utilizados como instrumentos de correção das informações obtidas por meio dos *geomorphons.*

3. Resultados

A área em estudo localiza-se no litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina, na microrregião do Vale do Itajaí. Limitam-se, ao norte, com o município de Balneário Camboriú; ao sul, com o município de Tijucas; a oeste, com Camboriú

e, a leste, com o Oceano Atlântico (Figura 3).

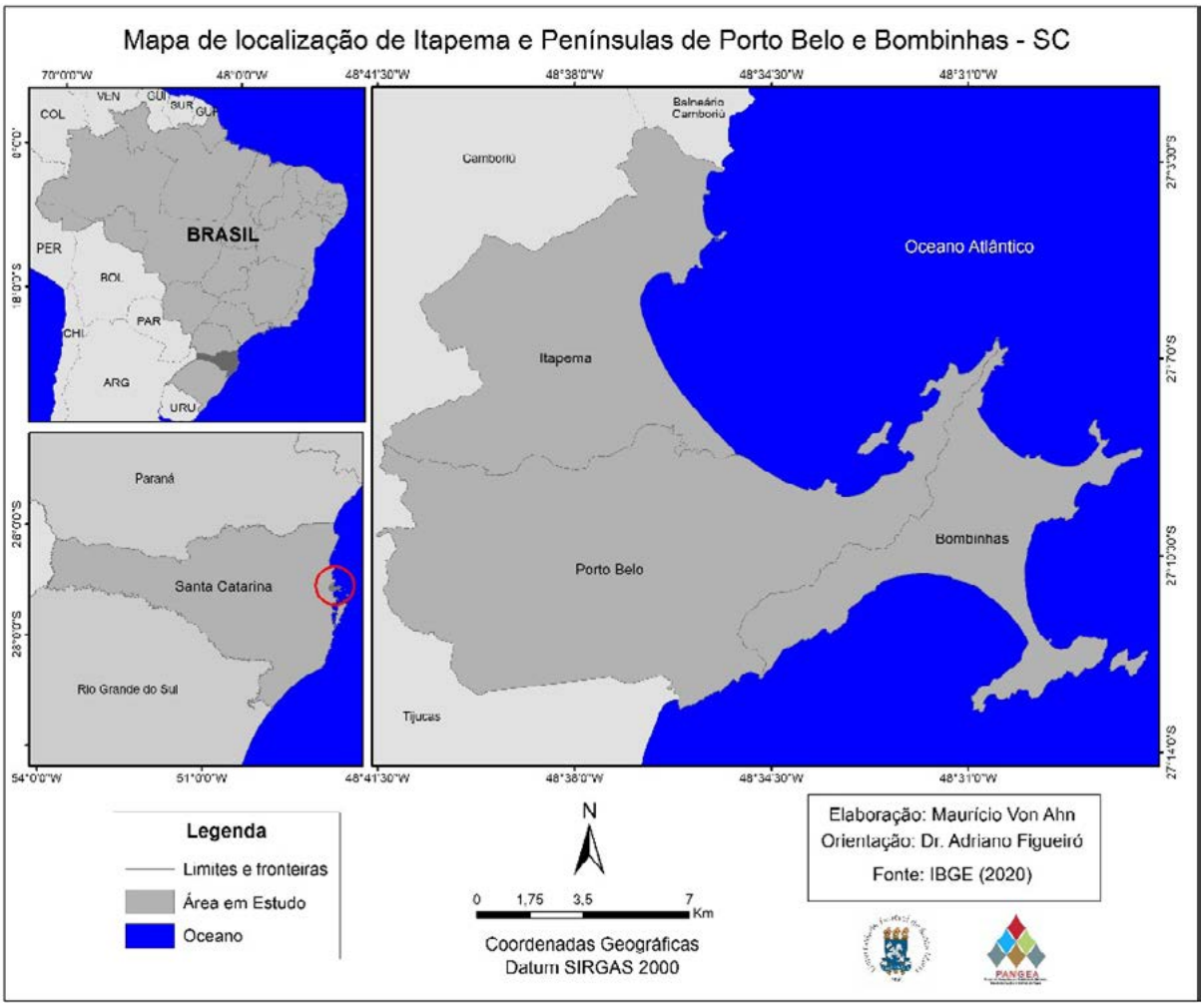


FIGURA 3: Mapa de localização da área em estudo.
Fonte: Autores, 2021.

As declividades predominantes na área de estudo são as de < 5%. Essas declividades, associadas a outros fatores ambientais e de uso do solo, podem condicionar a ocorrência de processos de acumulação e são áreas preferencialmente utilizadas para cultivo agrícola (Figura 4).

A figura 4 permite observar que é significativa, também, a ocorrência de vertentes em declividades entre 15% e 42%, que se constituem em áreas favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos acelerados, os quais podem promover a desestabilização morfodinâmica da área. Neste sentido, destaca-se a importância da preservação das encostas devido à alta declividade e forte dissecação do relevo que propicia a ocorrência de deslizamentos mesmo em áreas vegetadas. Além disso, as nascentes dos principais rios da área em estudo estão situadas nas serras, fato que evidencia ainda mais a importância da sua preservação.

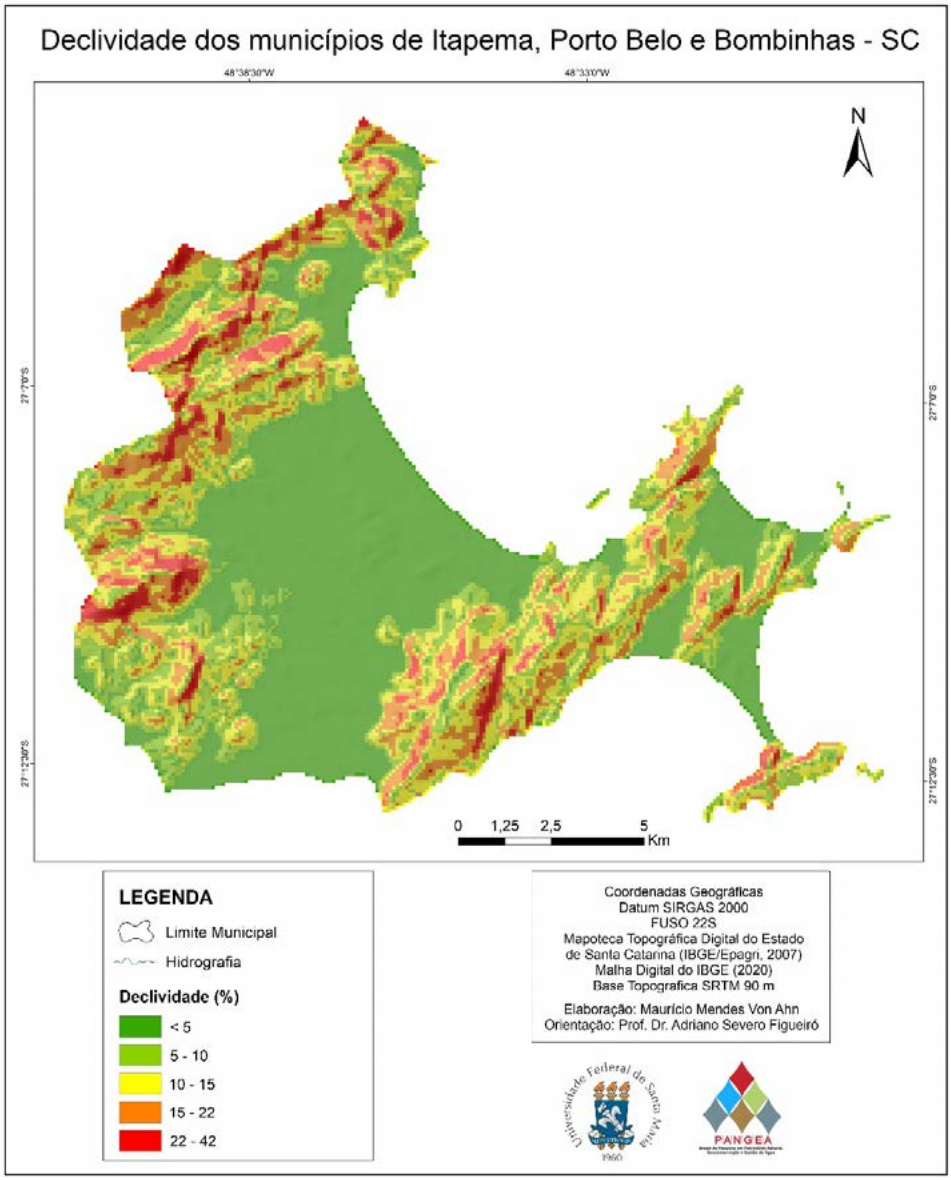


FIGURA 4: Mapa de declividade da área em estudo.
Fonte: Autores, 2021.

3.1 Elementos do relevo com base nos geomorphons

A identificação dos elementos do relevo da área de estudo está representada na figura 5. Esses elementos ocorrem em toda a área de estudo, sendo alguns de forma mais concentrada, como o elemento plano, que ocupa uma área total de 53,51km² (28,82%) da área em estudo.

O elemento do tipo plano predomina na planície costeira, composta por depósitos sedimentares quaternários dentro de uma região onde a drenagem apresenta caráter erosivo dominante. A figura 5 permite observar sua ocorrência concentrada nas porções centrais da área de estudo, associadas, principalmente, às planícies de inundação dos principais cursos de água e os vales que se associam aos canais de drenagem mais encaixados no relevo.

Além do elemento plano, observa-se a predominância de áreas de encosta, vales e cristas, as quais juntas representam pouco mais de 38% da área em estudo. As áreas de cristas secundárias, escavado e base de encosta também ocupam áreas significativas. Os elementos menos representativos são o pico, ressalto e fosso, principalmente os dois últimos que, juntos, não atingem 1% da área. A porcentagem de ocorrência de cada um dos elementos pode ser melhor visualizada na tabela 1.

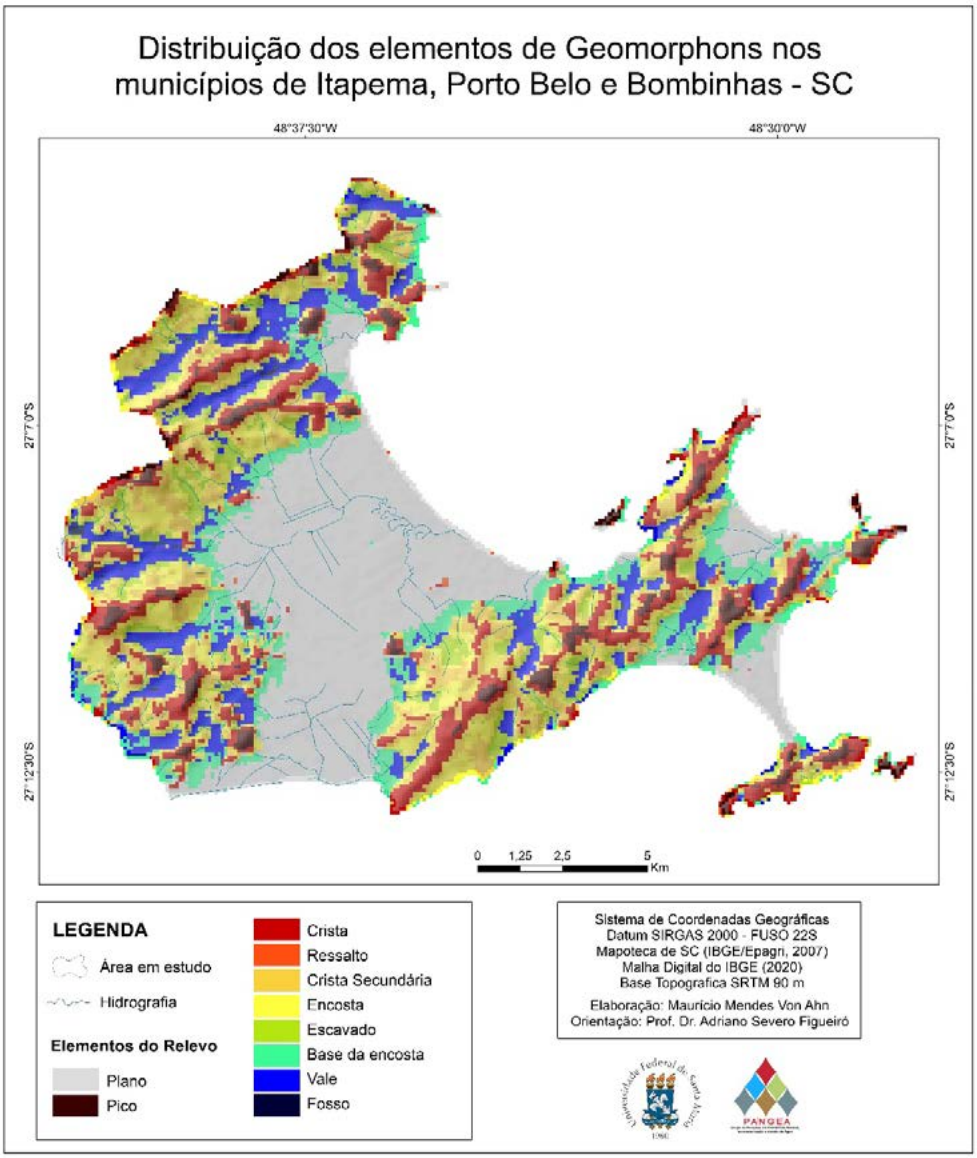
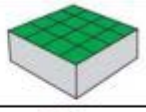
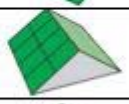
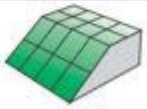
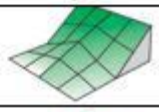
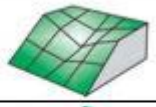
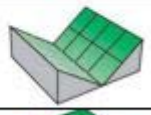
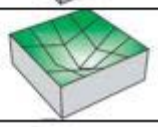


FIGURA 5: Mapa da distribuição espacial dos *geomorphons* na área em estudo
Fonte: Autores, 2021.

TABELA 1
Distribuição das unidades *geomorphons* na área em estudo.

Unidade	Área (km²)	Área (%)	Representação
Plano	53,51	28,82 %	
Pico	7,64	4,12 %	
Crista	24,57	13,23 %	
Ressalto	0,43	0,23 %	
Crista Secundária	20,71	11,16 %	
Encosta	26.30	14,17 %	
Escavado	12,50	6,74 %	
Base de Encosta	18,40	9,91 %	
Vale	21,22	11,44 %	
Fosso	0,33	0,18 %	

Fonte: Os autores (2021).

Os elementos do tipo cristas, cristas secundárias e pico apresentam grande associação, pois juntos compreendem as áreas de divisores de água dos canais de drenagens. As encostas possuem grandes declividades, geralmente entre 15% a 42% e estão localizadas nas áreas de interflúvio dos cursos fluviais e por quase toda a extensão da área, excetuando as áreas planas.

Em função do relevo com forte incisão de drenagem, os elementos do tipo vale também possuem grande representatividade espacial, caracterizando áreas pertencentes a processos fluviais. No alto curso, os rios se caracterizam por vales profundos em formas de "V" e com encostas íngremes, resultado da ação da água sobre zonas de fraqueza natural das rochas. No médio curso, apresentam vertentes suavizadas pela dissecação em colinas e fundo plano.

Verifica-se, portanto, um relevo de colinas onduladas com encostas amplas e topos estreitos e alongados formando as cristas, por vezes com rebaixamentos laterais na forma de cristas secundárias, bem como grande ocorrência de vales encaixados no relevo.

Os vales fluviais se associam bastante com o elemento do tipo base da encosta e juntos definem precisamente as planícies de inundação dos canais de drenagens da área estudada. Também associados aos canais de drenagem estão os elementos do tipo escavado, que indicam áreas convergentes do relevo, geralmente associados a canais de drenagem nas porções mais altas da encosta.

Quanto aos demais elementos de relevo, os mesmos não apresentam grande representatividade e associações. Os ressaltos representam 0,43km² (0,23%) da área e geralmente caracterizam a porção superior das vertentes, as quais apresentam um caráter mais plano. Já os fossos, com a menor área, apenas 0,33km² (0,18%), indicam áreas rebaixadas em relação ao entorno, o que não é um elemento característico do relevo da área em estudo.

Na figura 6, podem ser melhor visualizados os elementos na forma como se distribuem no relevo, destacando-se os elementos encosta (amarelo), crista (vermelho) e vale (azul), além do escavado (verde) e pico (marrom).

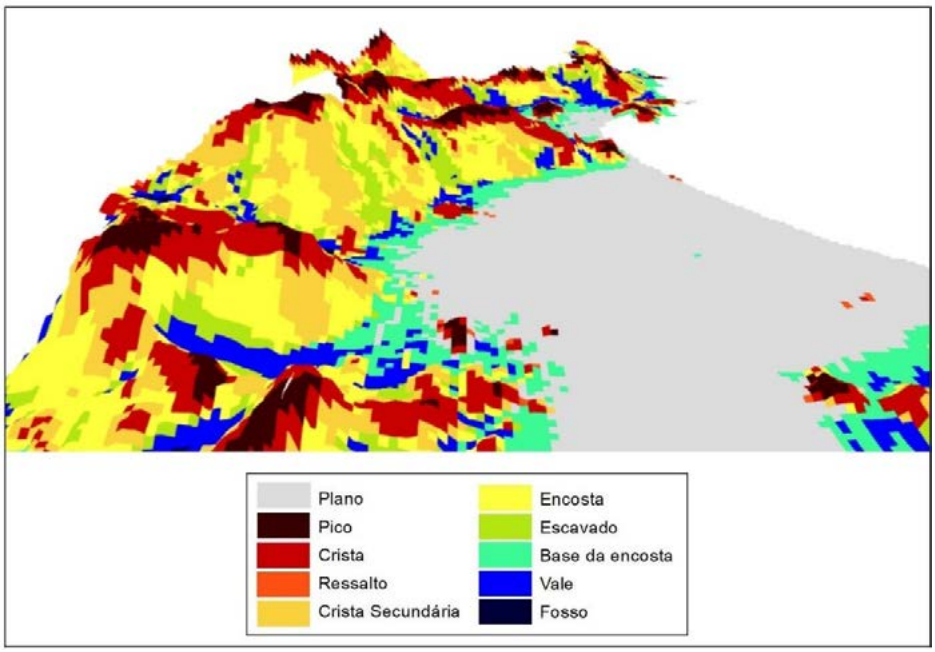


FIGURA 6: Distribuição dos *geomorphons* na área em estudo.
Fonte: Os autores (2021).

Torna-se necessário considerar que os elementos de *geomorphons* possuem uma relação intrínseca com o processo de evolução estrutural da paisagem da área em estudo. Segundo Rivera et al. (2004), a área encontra-se inserida na porção leste do Escudo Catarinense, num contexto geológico que abrange um cinturão de rochas graníticas disposto na direção NE e exposto de maneira descontínua, típicos de ambiente pós-colisional.

Uma das relações entre os *geomorphons* e a evolução estrutural da paisagem se dá através da presença de vales profundos em formas de "V" e da grande ocorrência de vertentes. Estes elementos ocorrem em grande associação às movimentações que ocorreram na crosta durante a separação do supercontinente Pangea, estando relacionados aos períodos de atividade das diversas zonas de cisalhamento dominantemente transcorrente que integram o Cinturão de Cisalhamento Sul-brasileiro (RIVERA et al. 2004). Essa relação também pode ser aplicada aos interflúvios, responsáveis pela formação de cristas bem marcadas na paisagem, geralmente convexas e estreitas com direção NE-SW.

Por fim, uma conexão também pode ser estabelecida no que diz respeito a presença do elemento plano na planície costeira, o que se justifica pela disposição das serras catarinenses de forma obliqua ao litoral, com orientação predominante no sentido NE, sendo responsável justamente pela formação da planície litorânea (COVELLO, 2011).

4. Considerações finais

A análise do relevo através dos seus elementos de *geomorphons* é uma ferramenta de grande importância no estudo de suas formas e configurações, permitindo a compreensão dos fatores atuantes na modelação do relevo, além de ser um método automatizado que permite compreender o relevo de forma mais rápida e precisa.

Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios para a identificação de formas do relevo da área em estudo. A compartimentação do relevo em *geomorphons* será uma importante ferramenta para futuros trabalhos envolvendo a definição de unidades da paisagem, sobretudo no que se refere a compartimentação da paisagem em macrounidades, as quais configuram-se como um detalhamento das grandes unidades de relevo do território estudado (macroestruturas).

Considera-se que esta nova abordagem de classificação do relevo através dos *geomorphons* possui um grande potencial dentro da investigação da paisagem, sobretudo por permitir uma aplicação em diferentes escalas de trabalho, o que vem de encontro a definição, por parte do pesquisador, de métodos e procedimentos próprios com base no grau de complexidade da paisagem estudada.

Por fim, destaca-se que este é um trabalho preliminar e que os próximos passos consistem em analisar a paisagem dentro de outros níveis taxonômicos para que, aliado a trabalhos de campo de correção e validação dos dados mapeados, seja possível a identificação e caracterização dos Locais de Interesse Patrimonial mais relevantes da área de estudo.

5. Referências

COVELLO, C. A. **Paisagem de Itapema: Estudo da geodiversidade para a educação ambiental e o geoturismo**. 2011. 174f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2011.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GUADAGNIN, R.; TRENTIN, R. Classificação do relevo com base nos elementos de Geomorphons e sua relação com a vegetação florestal nativa na Serra do Caverá – Sudoeste do RS, Brasil. **GeoTextos**, v. 15, n. 1, p. 231-252, 2019.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147–156, 2013.

JULESZ, B. Textons, the elements of texture perception, and their interactions. **Nature**, n. 290, p. 91-97, 1981.

LIAO, W. H. **Region Description Using Extended Local Ternary Patterns**. 20 International Conference on Pattern Recognition, p. 1003–1006, 2010.

MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo.**D 2009. 112F. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

PETSCH, C.; ROBAINA, L. E.; TRENTIN, R.; ROSA, K. K.; FIGUEIREDO, A. R.; SIMÕES, J. C. O uso de métodos de mapeamento automático de relevo para análise de formas glaciais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, p. 253-269, 2020.

RIVERA, C. B.; BITENCOURT, M. F.; NARDI, L.V.S. Integração de Parâmetros Físicos do Magma e Composição Química dos Minerais na Petrogênese do Granito Itapema, SC. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n.3, p. 361-372, 2004.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, Através do Uso de Geomorphons Obtidos em Classificação Automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, p. 287-298, 2016.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; CRISTO, S. S. V.; SCCOTI, A. A. V. Application of the concept of geomorphons to the landform classification in Tocantins state, Brazil. **Revista Ra'eGa Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 37-48, 2017.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Classificação automatizada de elementos de relevo no estado do Paraná (Brasil) por meio da aplicação da proposta dos geomorphons. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, p. 33-57, 2018.

VALERIANO, M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 72-106.

APLICAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NO MAPEAMENTO DE TERRAÇOS FLUVIAIS NO RIO PURUS, SUDOESTE DA AMAZÔNIA

Renan Cassimiro Brito
Universidade Federal de São Paulo
Endereço completo com CEP
E-mail: renan.cassimiro@unifesp.br
Fabiano do Nascimento Pupim
Universidade Federal de São Paulo
Endereço completo com CEP
E-mail: f.pupim@unifesp.br

Resumo

Este estudo mapeou e caracterizou terraços e planície fluvial do médio Rio Purus, na região da Boca do Acre (AM), visando cooperar com estudos sobre a evolução geológica de rios que drenam as terras baixas do Sudoeste amazônico. Os elementos topográficos foram demarcados a partir de interpretação visual de modelo digital de elevação colorido. Canais, diques-marginais, lagos e áreas sazonalmente inundadas pelo rio atual destacam-se na planície fluvial atual. Os terraços se distribuem ao longo da margem direita do Rio Purus, cerca de 10 m (T4), 15 m (T3), 25 m (T2) e 40 m (T1) elevados em relação à planície atual, e possuem feições morfológicas típicas de planícies fluviais abandonadas. A disposição dos terraços indica constante migração lateral do canal para a margem esquerda e mudanças na dinâmica fluvial - transição entre períodos de agradação e erosão. Os depósitos fluviais mapeados fornecem registros úteis no estudo das mudanças ambientais do Quaternário Tardio na Amazônia.

Palavras-chave: Geomorfologia Fluvial, ALOS/PALSAR, Evolução da Paisagem.

1. Introdução

A previsão precisa de como as alterações ambientais afetarão ecossistemas e comunidades têm implicações sociais e econômicas, por isso é fundamental incorporar esse tipo de avaliação nos planos governamentais de médio e longo prazo (IPCC, 2014). A Bacia do Rio Amazonas exerce papel vital para os estudos ambientais, porque além de ser a maior bacia hidrográfica da Terra ela está entre as mais biodiversas (HOORN et al., 2010), mas a sustentabilidade de seus recursos naturais únicos pode mudar em questão de séculos ou décadas (DAVIDSON et al., 2012). Embora haja avanços nos modelos ambientais com base em dados históricos (100 - 300 anos) (HOURDIN et al., 2017), existe uma escassez de dados com relação à evolução geológica (103 a 104 anos) para incluir flutuações de médio e longo-prazo nos modelos preditivos. Portanto, é preciso aprimorar os modelos de evolução da paisagem usados para conservação e desenvolvimento sustentável da Amazônia, visando obter diretrizes mais adequadas acerca do futuro de seus recursos naturais e bem-estar humano.

Informações sobre a evolução passada e a sensibilidade dos rios às mudanças climáticas são essenciais para testar e refinar modelos preditivos (Baker et al., 2015). Os sistemas fluviais da Amazônia têm sido alvo de esforços que visam compreender sua evolução geológica ao longo do período Quaternário (<2,8 Ma), especialmente durante o Quaternário Tardio (< 126 ka). No entanto, a maior parte dos estudos concentra-se em sistemas fluviais que drenam terrenos Andinos, como os rios Caquetá (HAMMEN et al., 1992), Ucayali (RÄSÄNEN et al., 1992, 1990), Madre de Dios (RIGSBY; HEMRIC; BAKER, 2009), rios da região dos Llanos Del Moxo (LOMBARDO, 2016) e Madeira (ROSSETTI, 2014); sistemas que drenam a região norte, como os rios Negro (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005) e Branco (CREMON et al., 2016); e no trecho intermediário do Rio Solimões, próximo à Manaus (GONÇALVES et al., 2016; LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2002) — onde depósitos fluviais dispostos em diferentes níveis de terraços são mais abundantes e acessíveis por estradas e vias rotineiras de barcos comerciais.

Poucas pesquisas foram realizadas com foco nos sistemas fluviais que drenam as terras baixas do sudoeste da Amazônia. Estas restringem-se ao alto curso dos rios Juruá e Purus (LATRUBESSE; KALICKI, 2002; LATRUBESSE; RAMONELL, 1994; LATRUBESSE; RANCY, 1998) e a calha oeste do Rio Solimões (PUPIM et al., 2019). Algumas evidências sugerem que a configuração atual dos sistemas fluviais amazônicos está intimamente ligada às mudanças climáticas ocorridas durante o Quaternário Tardio (ex. Pupim et al. 2019 e referências). Devido ao contexto climático heterogêneo da Amazônia muitos questionamentos ainda permaneçam em debate, como a pergunta que motivou este projeto: mudanças na precipitação e na cobertura vegetal durante o Quaternário afetaram os rios amazônicos de maneira homogênea e sincrônica? Com o objetivo de contribuir para esse tema, o presente trabalho teve como escopo utilizar técnicas modernas de sensoriamento remoto e análise digital do terreno para caracterizar e mapear terraços e planícies fluviais ao longo do médio e baixo Rio Purus, no Sudoeste da Amazônia (Figura 1). A região da Boca do Acre foi escolhida para o mapeamento geomorfológico porque se identificaram previamente níveis de terraços preservados e que ainda não haviam sido detalhados. O mapeamento geomorfológico possibilitou identificar níveis de terraços ainda não descritos na bibliografia, além de confirmar a existência de alternância de períodos de agradação e erosão relacionados a evolução do sistema fluvial do Rio Purus.

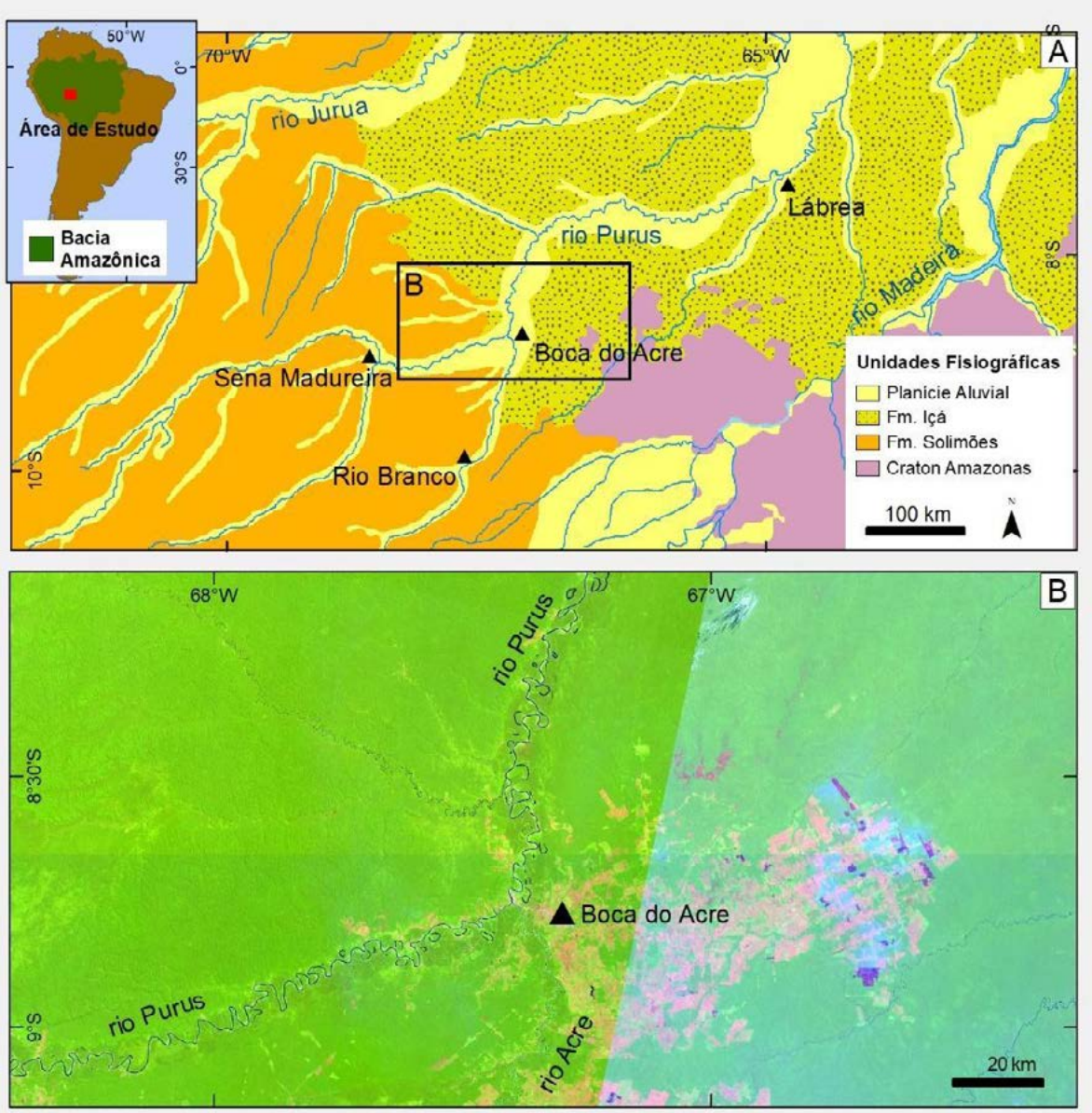


FIGURA 1: Localização da área de estudo no médio curso do Rio Purus, sudoeste da Amazônia.(A) Mapa fisiográfico destacando os depósitos quaternários nas planícies aluviais modernas e depósitos da Formação Içá (adaptado de Shobbenhaus e Bellizzia, 2001), alvos do mapeamento desse trabalho. (B) Imagem Landsat GeoCover 1990 (http://glcf.umd.edu/data/mosaic/) da área de mapeamento, onde é possível a identificação planície de inundação com padrão meandrante e vegetação de floresta alagada, cercada por terrenos mais elevados com florestas de Terra Firme.

Esta pesquisa buscou utilizar modelos digitais de elevação (MDE) para mapear e caracterizar os níveis de terraços e planícies fluviais localizados no médio e baixo Rio Purus, no sudoeste da Amazônia. Para isso elaborou-se um modelo digital de elevação a partir do processamento de imagens PALSAR/ALOS (Phased Arraytype L-band Synthetic Aperture Radar/Advanced Land Observing Satellite), ao qual se aplicou uma paleta de cores customizada para realçar as formas de relevo. Tal produto permitiu identificar e categorizar os níveis de terraços e planícies fluviais segundo características morfométricas e morfológicas, resultando em um mapa geomorfológico do médio-baixo Rio Purus. Finalmente, um modelo geomorfológico evolutivo foi proposto com base na cronologia relativa dos terraços e planícies fluviais mapeados e correlação com dados regionais.

2. Área de Estudo

O Rio Purus nasce na Serra da Contamana (Peru) e percorre cerca de 3.700 km pelas terras baixas do Sudoeste amazônico até desaguar no Rio [FP1] Solimões – próximo ao Município de Manaus (AM), drenando uma área de 376.000 km^2 (DOS SANTOS, 2013).

A região do médio e baixo Rio Purus caracteriza-se por extensas áreas de depósitos sedimentares fluviais formados durante o Quaternário (CPRM, 2010; Figura 1A). Esses depósitos intercalam camadas arenosas e lamosas, típicos de ambiente de planície fluvial (KRONBERG; FRALICK; BENCHIMOL, 1998). Nesta região, estes se sobrepõem às rochas da Formação Solimões (Mioceno — Plioceno), de ambiente deposicional continental, fluvial e lacustre (LATRUBESSE et al., 2010). A Formação Solimões possui sequências deposicionais cíclicas que apresentam grande variação granulométrica vertical e lateral. No contexto do Rio Purus, tais depósitos estão associados a transbordamentos, possuem textura argilosa-siltosa sem estrutura primária; além disso, nos depósitos da Formação Solimões ao longo do Rio Purus predominam arenitos quartzosos de granulometria fina e média, bem selecionado e de matriz argilosa (BRASIL; BRASIL; DAS MINAS E ENERGIA, 1978).

A topografia da região é principalmente plana, com canais meandrantes que cortam uma planície fluvial ampla e interflúvios tabulares e/ou colinosos que configuram a unidade morfoestrutural denominada Planície Amazônica e o Planalto Rebaixado da Amazônia (BRASIL; BRASIL; DAS MINAS E ENERGIA, 1978) (Figura 1B). O Rio Purus é conhecido com rio de água branca devido à alta concentração de sedimentos (SIOLI, 2012). Sua sinuosidade alta o define como um rio meandrante — embora haja retilinizações ocasionais —, e os terraços em sua margem evidenciam a migração do leito durante o Pleistoceno/Holoceno. As planícies fluviais são compostas principalmente por barras de rolagem produzidas pela intensa migração do canal. O canal principal possui diques marginais desenvolvidos e lagos de planície largos e rasos, com deltas esporádicos formados por canais de avulsões (MERTES; DUNNE; MARTINELLI, 1996).

Trabalhos sobre a história quaternária do Rio Purus são escassos. Autores pioneiros como Latrubesse e Kalicki (2002) sugerem que a tectônica é um fator importante para as mudanças na bacia do Rio Purus, condicionando a migração lateral do canal por basculamento de blocos tectônicos. No entanto, é plausível considerar que as mudanças nas condições climáticas sejam a principal causa das mudanças fluviais durante esse o quaternário. Baseados em dados sedimentológicos e poucas datações por 14C, Latrubesse e Kalicki (2002) argumentam que na época em que a região possuía clima relativamente mais seco (< 19 ka) a agradação predominante constituiu planícies aluviais que indicam a ocorrência de cheias torrenciais. Com o estabelecimento de um clima mais úmido — durante transição do Pleistoceno/Holoceno (~12 ka) — criou-se uma planície aluvial moderna, encravada em depósitos Pleistocênicos que atualmente configuram os terraços. Vale ressaltar que o Rio Purus manteve seu padrão meandrante durante todo esse período, mas atualmente seus meandros são menores, assimétricos e possuem baixa taxa de migração. O rio transporta sedimentos que ficam armazenados no canal principalmente durante as cheias (LATRUBESSE; KALICKI, 2002).

3. Metodologia

3.1 Obtenção de dados e programas utilizados

Foram utilizadas imagens da PALSAR (Phased Arraytype L-band Synthetic Aperture Radar) / de 2006 – 2011 do satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite) (sigla ALOS/PALSAR), que atua na frequência de 1270 MHz (L-band),

com faixa de observação de 40 a 70 km (SATALOFF; JOHNS; KOST, [s.d.]). O sensor do satélite obtém dados topográficos sem a interferência da luz e das nuvens, além disso, sua radiação atravessa com facilidade o dossel vegetal — trata-se de sensoriamento remoto ativo (MENESES; ALMEIDA, 2012). As imagens possuem resolução 12,5 m e foram obtidas no portal Vertex da Alaska Satellite Facility's gratuitamente em: https://vertex.daac.asf.alaska.edu/.

Para cobrir toda a área de interesse foram utilizadas 58 cenas Hi-Resolution Terrain Corrected (ASF DAAC, 2019). Essas imagens foram captadas pelo radar entre maio e junho de 2010 – sendo as mais recentes na configuração mencionada. O Sistema de Informação Geográfica (GIS) de acesso livre Quantum GIS (QGIS 3.8.1-Zanzibar) e o Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS 7.6.1) foram os programas utilizados para preparar e tratar o MDE.

3.2 Processamento Digital de Imagem e MDE

As imagens ALOS/PALSAR apresentam incongruências provenientes do processo de captação, transmissão e geração dos dados, por isso, foi preciso corrigir estes erros para melhorar a qualidade do modelo digital de elevação (MDE). Uma das incongruências é a atribuição de valores negativos (-8) para a superfície do mar, sendo corrigida atribuindo-se (0) para estes registros. Já as anomalias de elevação — onde um dado de elevação está muito inconsistente com os dados adjacentes — foi corrigida por interpolação.

Para processar e ajustar as imagens ALOS/PALSAR, e preparar o MDE, seguiram-se as etapas: 1 — Reprojetar as 58 cenas para coordenadas geográficas; 2 — Eliminar todos os valores negativos de cada cena; 3 — Preencher os valores inconsistentes, zerados e vazios de cada cena a partir da estatística wmean; com limiar de distância de 3 unidades para interpolação; busca mínima de dados em um raio de 8 pixels e coeficiente de potência igual a 2. Esta etapa melhora cada imagem corrigindo pixels anômalos a partir de pixels vizinhos; 4 — Elaborar mosaico com todas as cenas referentes a área do baixo-médio Rio Purus.

3.3 Customização da Paleta de Cores

As técnicas de customização da paleta de cores foram aplicadas para realçar as formas de relevo em terrenos com baixa amplitude altimétrica presentes no MDE, seguindo intervalos de quebra entre 3 e 15 m, como sugerido por Merino et al. (2015). O MDE permitiu elaborar perfis topográficos que ajudaram a delimitar os níveis de terraços e estabelecer correlações estratigráficas.

3.3.1 Análise Topográfica para Compor a Paleta de Cores

As mudanças de relevo ao longo da área de interesse foram analisadas a partir de um perfil topográfico base que acompanha o vale do rio — não correspondente ao perfil longitudinal do Rio Purus. Outros 11 perfis topográficos transversais ao perfil principal e separados por mil quilômetros também foram analisados.

Com um algoritmo escrito em R, os valores dos pixels de cada perfil topográfico foram separados em intervalos predefinidos de 5 m ou 10 m. Este procedimento resultou em pares de perfis topográficos: o primeiro perfil representava os dados contínuos não arredondados do MDE e o segundo perfil representava os dados discretos resultantes da classificação (os quais definiram a paleta de cores). Para verificar se os intervalos definidos para a paleta de cores seriam satisfatórios comparou-se cada par de perfil topográfico. Se o traçado de um perfil classificado estivesse muito diferente em relação ao original, significava que os intervalos não foram bem definidos e que possivelmente a paleta de cores

com base nesses intervalos diminuiria o contraste do MDE. Nesta condição, era preciso ajustar os intervalos de elevação e repetir o procedimento até que os pares de perfis topográficos as ajustassem.

Cada perfil fica melhor representado por intervalos diferentes, por isso os perfis topográficos foram analisados em conjunto para compor a paleta de cores base. Esta última análise consistiu em considerar os intervalos que apareceram mais ou menos nos perfis individuais e verificar o resultado das diferentes composições de paleta no MDE, como se faz habitualmente.

3.4 Mapeamento Geomorfológico

A análise geomorfológica busca identificar e descrever os elementos morfológicos associados aos depósitos sedimentares do médio-baixo Rio Purus. Primeiro, compilaram-se estudos anteriores, como os mapas apresentados pelo Projeto RadamBrasil (1978), Latrubesse e Kalicki (2002) e Rossetti et al. (2005).

Em seguida, de modo a aumentar o detalhamento, elementos morfológicos foram reconhecidos e caracterizados por interpretação visual de produtos de MDE's a partir da adaptação de critérios interpretativos descritos por Soares e Fiori (1976); Veneziani e Anjos (1982); Wheaton et. al (2015); e, Lewin e Ashworth (2014). Estes procedimentos permitiram identificar os padrões, delimitar zonas homólogas, estabelecer unidades geomorfológicas e inferir processos geradores das formas.

As unidades geomorfológicas mapeadas foram classificadas e hierarquizadas por meio da análise de atributos morfológicos e topográficos, como a presença de canais e lagos (ativos e paleo), grau de preservação das formas, sobreposições e truncamentos de formas e nível topográfico das superfícies dos terraços (ex. PUPIM; ASSINE; SAWAKUCHI, 2017). De maneira geral, níveis topográficos mais altos são mais antigos que níveis mais baixos, assim como feições morfológicas mais preservadas são mais novas do que feições mais degradadas. Tais relações também permitiram ordenar cronologicamente as unidades geomorfológicas mapeadas e elaborar um modelo geomorfológico evolutivo da área.

4. Resultados e Discussões

4.1 Customização da Paleta de Cores

Na região mapeada, o MDE em escala de cinza tratado (Figura 2A) pode revelar terraços na margem direita do Rio Purus, mas as continuidades laterais dos terraços têm baixo contraste. O modelo indica que o canal está erodindo a margem esquerda do Rio Purus, devido a intensa diferença nos tons de cinza — indicativo de quebra abrupta de relevo. Esta condição facilita a delimitação da planície fluvial neste lado do rio. Na margem direita do Rio Purus, onde ficam os terraços, as bordas que os delimitam junto a planície são sutis e difíceis de enxergar, porque ali a mudança de elevação é suave. Somente relevos maiores se destacam no MDE em escala de cinza.

Ao aplicar a paleta de cores customizada ao MDE tratado, as feições destacam-se aos olhos do intérprete (Figura 2B). Isto ocorre de tal forma que é possível delimitar, quantificar e classificar os diferentes níveis terraços. Além disso, há alto contraste entre a planície fluvial do Rio Purus e os terraços em ambas as margens — neste caso, é possível reconhecer até os terraços de rios menores. Tanto os canais menores quanto os maiores ficaram bem evidentes, assim como as barras de acumulação, meandros abandonados e paleocanais.

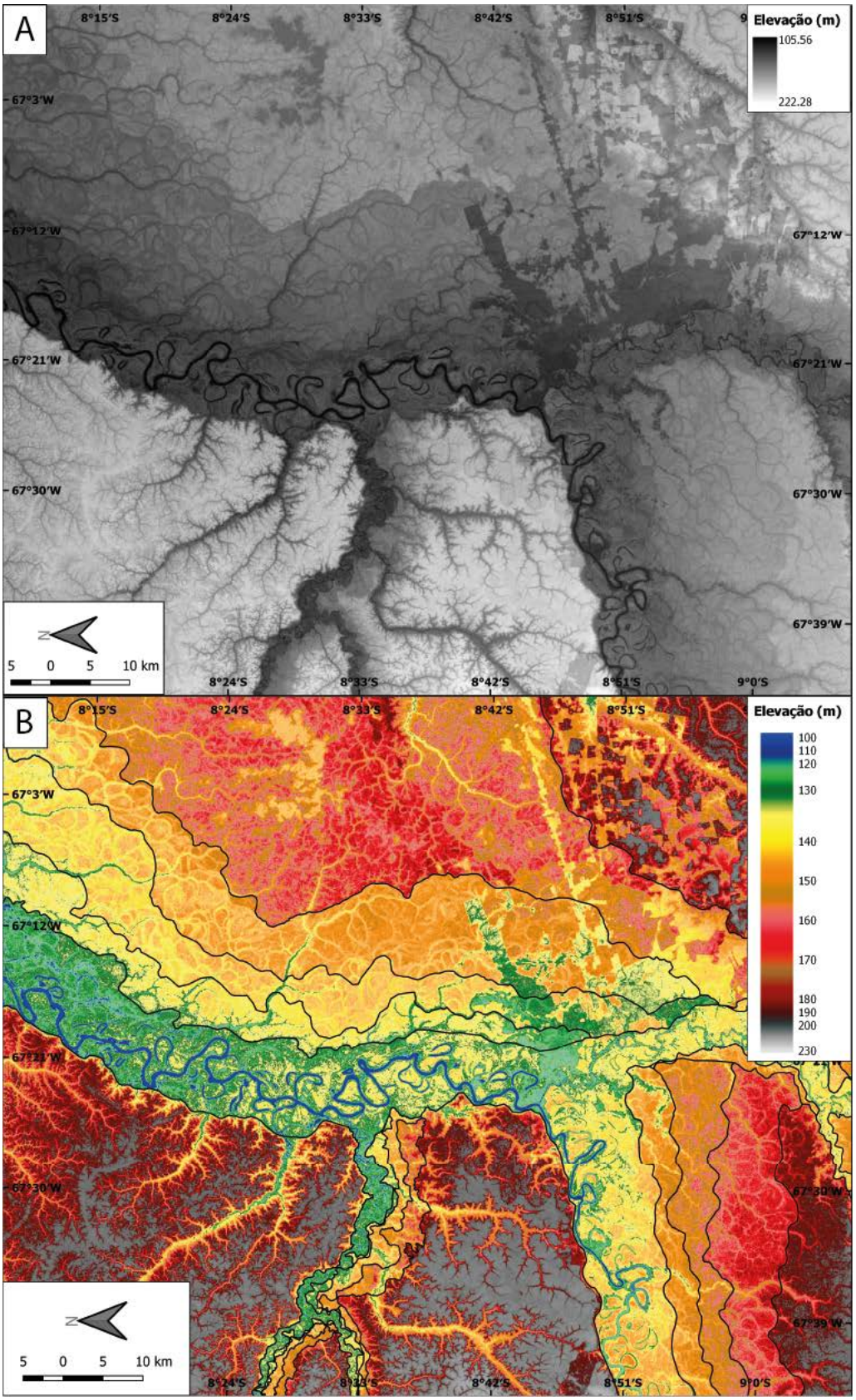


FIGURA 2: (A) MDE a partir das imagens ALOS/PALSAR da região da Boca do Acre em escala de cinza. (B) MDE a partir das imagens ALOS/PALSAR da região da Boca do Acre realçado com paleta de cores; as linhas em preto indicam os limites das unidades geomorfológicas mapeadas.

4.2 Mapeamento Geomorfológico

O mapa geomorfológico da planície e terraços fluviais do Rio Purus (Figura 3A), na região da Boca do Acre, é o principal resultado desta pesquisa. A partir do MDE customizado foram definidas cinco unidades geomorfológicas: uma planície fluvial moderna e quatro níveis de terraços fluviais.

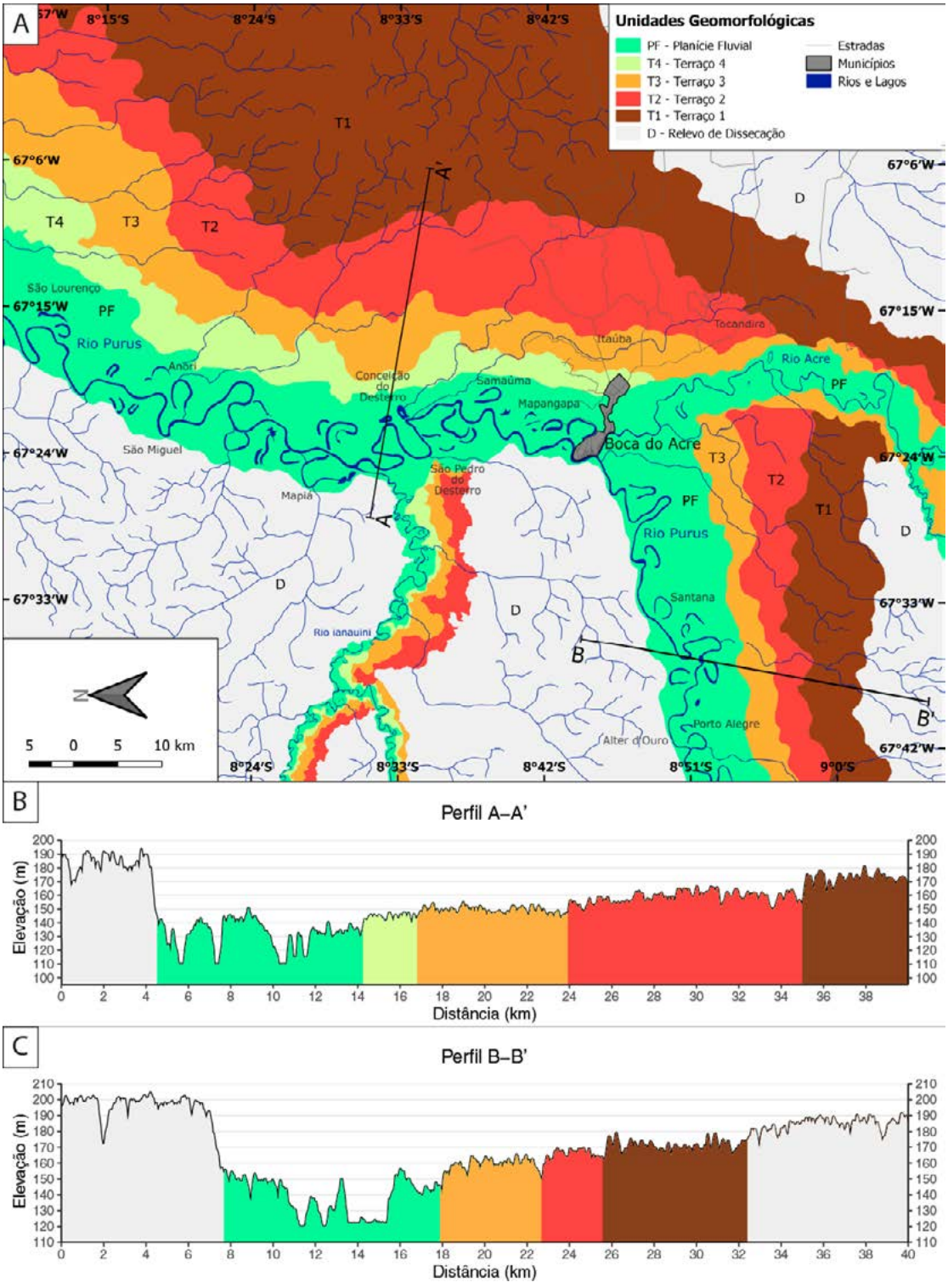


FIGURA 3: (A) Mapeamento dos terraços do Rio Purus na região da Boca do Acre. (B) Perfil topográfico A – A'. (C) Perfil topográfico B – B'.

A disposição e relação topográfica das unidades mapeadas evidencia-se nos perfis topográficos transversais ao Rio Purus e Rio Acre (Figura 3B e Figura 3C). As unidades geomorfológicas se diferenciam devido às características morfológicas e morfométricas, principalmente elevação relativa ao Rio Purus e grau de preservação de elementos morfológicos (ex. canais abandonados) na superfície, que estão resumidas na Figura 4 e detalhadas ao longo do texto.

A planície fluvial moderna (PF) é a unidade topograficamente mais baixa, abriga o canal do Rio Purus e seus tributários. O relevo é plano e agrupa elementos morfológicos típicos de sistemas fluviais meandrantes, como barras de rolamento, diques marginais, lagos em ferradura, canais abandonados e amplas áreas de planície fluvial indiferenciadas.

Os terraços desenvolvem-se principalmente do lado direito do vale fluvial do Rio Purus, sendo que há três níveis de terraços a montante da confluência com o Rio Acre e quatro níveis de terraços a jusante deste ponto.

O terraço 4 (T4) é a segunda unidade mais baixa topograficamente, adjacente à planície fluvial do Rio Purus. Nele estão preservados elementos de uma planície fluvial abandonada, como marcas de meandros abandonados — alguns mais circulares que outros. Os meandros abandonados são predominantemente orientados com a convexidade voltada para o Rio Purus. A drenagem atual possui vales mais largos e profundos do que os terraços (nível de entalhamento alto). O limite com a planície fluvial é bem marcado, retilínea com eventuais curvas, já o limite com a unidade superior (T3) é sutil com predominância de curvas — delineadas pelos meandros abandonados próximos às bordas. Este terraço possui grande variação de largura: tem apenas 1,2 km próximo à Boca do Acre, mas chega a quase 10 km próximo à região de Anori.

A largura da unidade T3 varia 1,3 e 13 km, sendo mais largo onde o T4 é mais estreito. Nela estão preservadas marcas de meandros abandonados de diversos tamanhos e formas — alguns são mais compridos outros mais circulares. A orientação das marcas também é variada e parte delas são aproveitadas pela rede de drenagem, por isso, o traçado dos canais que drenam esta área é bastante curvilíneo. Contudo, o nível de entalhamento dos rios ainda é alto, pouco menor que em T1. Os limites com T2 são bem definidos por curvas que também variam de tamanho, pois herdam a forma arredondadas dos meandros abandonados desta antiga planície fluvial.

A unidade T2 pode chegar à largura mínima de 3,4 km em alguns pontos, mas geralmente se mantém mais larga, chegando a 13 km de largura na altura de Samaúma e Mapangapa. As marcas de meandros abandonados são grandes e circulares e dá a forma de seu limite com T1. Em algumas áreas, feições pouco preservadas indicam a presença de grandes barras de rolagem. Todas as formas descritas possuem a convexidade orientada para o Rio Purus. A densidade da rede de drenagem e o nível de entalhamento são maiores em relação a essas propriedades em T3.

O terraço T1 é o mais largo e mais alto, com largura que ultrapassa os 30 km e elevação entre 25 e 35 metros acima do rio atual. Ele preserva marcas de meandros abandonados bem arredondados no conjunto a jusante da confluência Rio Acre — Rio Purus. A montante as marcas de meandros abandonadas são raras e pequenas; estando orientadas em diversos sentidos. A topografia de T1 é mais acidentada e seus elementos mais degradados comparando-se aos outros. O nível de entalhamento é baixo, a rede de drenagem é mais densa em relação a T2 e deixa evidente seu padrão dendrítico. As bordas com T2 são as mais nítidas entre os terraços, com formas bem arredondadas ao longo dela. A característica mais singular do T1 é um grande paleocanal no seu topo.

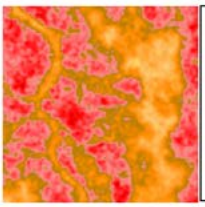
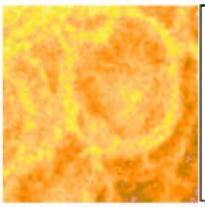
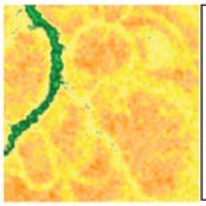
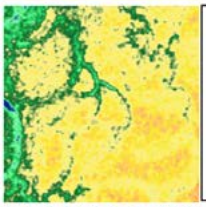
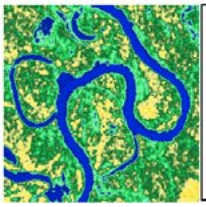
Recorte	Unidade	Descrição Morfológica	Características Morfológicas	
	T1	Presença de paleocanais. Poucas marcas de meandros abandonados com diversos tamanhos, formas e orientações.Grau elevado de dissecação, com incisão suave dos canais. Formas pouco preservadas com exceção do grande paleocanal.	**Lmn**	
			Lmx	> 30 km
			Elv	17 – 40 m
			UG	Formação Içá
	T2	Marcas de meandros abandonados grandes e arredondados, com orientação da convexidade geralmente voltada para o Rio Purus. Médio grau de dissecação, com incisão suave dos canais. Formas bem preservadas.	**Lmn**	3,2 km
			Lmx	13 km
			Elv	14 - 24 m
			UG	Coberturas Holocênicas
	T3	Marcas de meandros abandonados com tamanhos, formas e orientações diversas. Baixo grau de dissecação, canais com incisão forte. Formas bem preservadas.	**Lmn**	1,3 km
			Lmx	13 km
			Elv	9 – 15 m
			UG	Coberturas Holocênicas
	T4	Marcas de meandros abandonados com tamanhos e formas diversas. Médio grau de dissecação, com incisão forte dos canais. Formas preservadas medianamente.	**Lmn**	1,2 km
			Lmx	9,5 km
			Elv	5 – 12 m
			UG	Coberturas Holocênicas
	PF	Presença de barras de rolamento, diques marginais, lagos em ferradura, canais abandonados.	**Lmn**	7,3 km
			Lmx	13 km
			Elv	-
			UG	Aluviões Holocênicos

FIGURA 4: Principais características morfológicas e morfométricas dos terraços e planície fluvial. Legenda: Lmn = Largura Mínima, Lmx = Largura Máxima, Elv = Elevação em relação a planície fluvial e, UG = Unidade Geológica.

4.3 Processamento Digital do MDE e Realce de Elementos Topográficos

O tratamento e aplicação de paletas de cores customizadas para o MDE ALOS/PALSAR se mostrou adequado para mapear terraços e planícies, visto que esse método ressaltou as feições topográficas. O MDE ALOS/PALSAR com resolução de 12,5 m é melhor que os MDE SRTM de 90 m porque as formas topográficas aparecem com maior nitidez e facilita o mapeamento geomorfológico em escalas de semidetalhe e detalhe.

Comparar os efeitos da paleta inicial aplicada aos perfis através de um algoritmo foi uma técnica útil. Esta abordagem parte de uma paleta inicial — que possui os maiores intervalos de cores — refinada progressivamente conforme se ajusta os perfis reais (amostra de pixels) e simulados (traçado a partir de médias móveis). Embora seja necessário definir intervalos mais precisos na tentativa e erro, a técnica reduz o tempo utilizado para avaliar a quantidade de cores necessárias para realçar as formas de um terreno, conforme procedimentos recomendados (ex. Merino et al. (2015)).

Este foi um modo criativo, que apesar de não ser totalmente quantitativo ofereceu um meio de reduzir o tempo dedicado à elaboração da paleta de cores,

visto que os intervalos de cores definitivos resultam da análise de vários arranjos de pixels — não é a quantidade de pixel que importa, e sim a sequência que dá origem ao perfil topográfico. Esta técnica pode ser muito importante para regiões grandes, que requerem MDE de dimensões como a deste trabalho, sendo que a melhor maneira de aumentar a eficácia dessa abordagem é aumentar o número de perfis analisados. Outra limitação está em definir quantos pontos devem ser utilizados para suavizar o perfil — a média móvel. Caso este número seja muito grande, tende-se a criar intervalos cada vez menores para que os perfis reais e discretos se ajustem, resultando em muitas cores para a paleta — em uma região pequena isso pode atrapalhar a interpretação da área. Neste projeto, este problema apareceu na tentativa de criar uma paleta de cores nova para a região mapeada, que logo foi descartada por ficar muito confusa. Por isso a paleta definida na escala menor foi utilizada. Neste sentido, é preciso refinar esta técnica, buscando adequá-lo a diferentes escalas.

4.3.1 Correlação com Sistemas Fluviais Regionais

Ao demonstrar os níveis de terraços existentes, o mapeamento deste trabalho detalha uma região caracterizada de modo mais abrangente pelo mapa geomorfológico do Estado do Amazonas (IBGE, 2010). O mapa do IBGE (2021) considera todos os três terraços a montante da confluência Rio Purus — Rio Acre como uma única unidade: Terraço Fluvial da Planície Amazônica. A jusante, parte do terraço T1 aqui identificado é classificado como Dissecação Fluvial Tabular. Por outro lado, o mapa geológico do Estado do Amazonas (CPRM, 2010) insere parte dos terraços aqui identificados como formações geológicas diferentes — o T1 a montante da confluência faz parte das coberturas holocênicas enquanto o T1 a jusante está na Formação Içá. Porém, o nível contido na Formação Içá encontra correspondências morfológicas com terraços explorados por Rossetti et al. (2005; 2014) para amplas áreas da Amazônia. Logo, este trabalho apresenta um mapa geomorfológico mais detalhado frente aos produtos publicados em escala regional.

O mapa também incrementa o que foi estudado por Latrubesse e Kalicki (2002): o terraço datado por eles na região a montante da confluência Rio Purus — Rio Acre é subdivido em três níveis (T3, T2 e T1). O estudo desses autores identificaram um terraço com 22 km de largura, porém, o MDE tratado mostra que existem mais dois níveis bem distintos ao longo da margem do Rio Purus para essa mesma área.

A idade relativa das unidades mapeadas foi atribuída por relação estratigráfica. Os terraços mais baixos são mais novos que os mais altos, portanto, a sequência cronológica dos terraços em ordem crescente é: PF – T4 – T3 – T2 – T1. Datas absolutas não foram objetos deste trabalho, mas a partir de estudos que datam terraços da região da Boca do Acre e outros terraços com semelhanças morfológicas e morfométricas é possível discutir estimativas de idades para os terraços mapeados no médio Purus.

A planície fluvial atual (PF) do Rio Purus, estudada a montante da confluência por Latrubesse e Kalicki (2002) tem seus sedimentos mais profundos com idade por volta de 8 ka. Desta forma, interpreta-se que os depósitos sedimentares da planície fluvial mapeada nesse trabalho devem ter se formado em período semelhante, possivelmente com início da deposição no Holoceno Superior.

Latrubesse e Kalicki (2002) identificaram um terraço a margem direita do Rio Purus, formado por sedimentos do Pleistoceno Tardio, datados entre 24 – 19 ka. O terraço em questão foi dividido nesse trabalho em 3 níveis. Visto que a amostra datada por Latrubesse e Kalicki (2002) representa a borda do terraço, próximo à planície fluvial, a idade encontrada pode referir-se ao nível de terraço

T3. Outra indicação que corrobora esta interpretação é que a elevação do terraço (9 – 15 m) e as marcas de meandros abandonados são semelhantes às encontradas em T3. Conforme a descrição sedimentológica realizado por Latrubesse (1998), esses terraços do Pleistoceno Tardio são embasados por "black conglomerates" e depósitos arenosos ferritizados. Como o estudo de Latrubesse & Kalicki (2002) encontra uma camada marca de "black conglomerates" sobreposto por uma camada de areia média a uma profundidade de 5 – 7 m no terraço perto da Boca do Acre O nível T4 não foi identificado por outros trabalhos, mas conforme as idades da planície de fluvial moderna (< 8 ka) e do nível T3 (24 – 19 ka), estima-se T4 for depositado e abandonado durante o último período deglacial (19 – 8 ka). O mesmo ocorre com o nível T2, o qual pode ser mais antigo do que 26 ka, mas novos estudos são necessários para definir uma cronologia mais robusta.

O nível T1 apresentado nesse trabalho não possui correspondência com outros níveis mapeados para o Rio Purus. No entanto, a sua posição topográfica possui semelhanças com terraços mapeados no Rio Madeira, por Rossetti et al. (2014; 2005), o que pode sugerir uma sincronicidades de períodos de deposição e erosão para os dois sistemas fluviais. Os dados de Rossetti et al. (2014; 2005) indicam idades de deposição 219 – 65 ka para o nível T1. Contudo, este terraço foi datado via Optically stimulated luminescence (OSL), sendo que muitas idades apresentadas estão próximas ou acima do limite de detecção esperado para a datação via OSL em grão de quartzo (~100-150 ka). Assim, o terraço T1 deste trabalho pode ser mais antigo que 300 ka, necessitando de estudos geocronológicos com métodos que possibilitem avançar no tempo, como datação por luminescência em grãos de feldspato.

Com base no mapeamento dos níveis de terraços e correlação com estudos regionais, propõe-se um esquema hipotético (Figura 15) para a evolução dos terraços fluviais do médio Rio Purus, na região de Boca do Acre (AM). O maior detalhamento dos processos e mecanismos que controlaram a dinâmica fluvial e, consequente, evolução da paisagem depende de novos estudos possibilitem estabelecer um quadro geocronológico mais preciso.

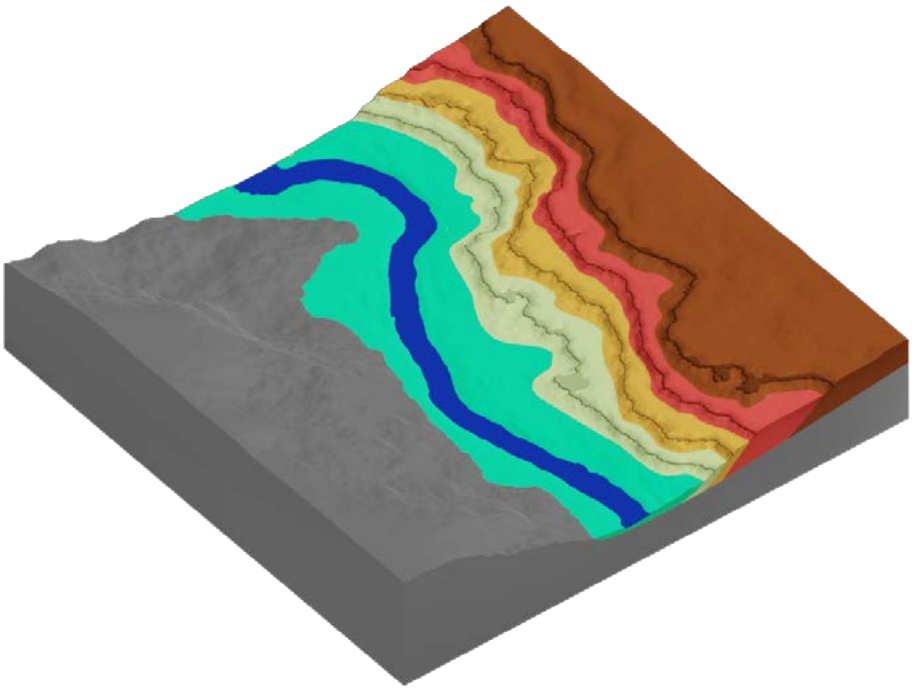


FIGURA 5: Esquema hipotético da evolução dos terraços.

5. Considerações Finais

O tratamento de imagens ALOS/PALSAR com aplicação de paleta de cores customizada na composição de um modelo digital de elevação (MDE) mostrou-se adequado para o mapeamento de terrenos planos, como o Sudoeste Amazônico. Além disso, o método criado para customizar paleta de cores se mostrou eficiente para este fim, embora tenha que ser aprimorado para ser aplicado em imagens de diferentes resoluções espaciais.

O mapa geomorfológico detalha outros mapeamentos realizados na região, identificando e classificando pelo menos 4 níveis de terraços. O mapa geomorfológico e sua correlação com dados regionais possibilitaram a proposição de um modelo evolutivo hipotético para a região, mas este ainda carece de dados sedimentológicos e geocronológicos para ser confirmado.

O mapa geomorfológico apresentado pode contribuir para informar gestores quanto as características físicas da região, contribuindo para tomadas de decisão que visem a conservação e uso sustentável do território e seus recursos naturais.

Agradecimentos

As atividades desse projeto foram financiadas pela National Geographic Society. Renan Brito foi bolsista PIBIC-CNPq (processo nº 126813/2019-1) e atualmente é bolsista de Iniciação Científica processo nº 2020/10146-6, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Fabiano Pupim agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em pesquisa (# 302411/2018-6).

Referências

ASF DAAC. ALOS PASAR Radiometric Terrain Corrected high res, JAXA/METI, https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA (2019).

BAKER, P. A. *et al.* Trans-Amazon Drilling Project (TADP): origins and evolution of the forests, climate, and hydrology of the South American tropics. Scientific Drilling, v. 20, p. 41–49, 17 dez. 2015.

BRASIL; BRASIL; DAS MINAS E ENERGIA, M. Projeto RadamBrasil, folha SB. 20, Purus Ministério das Minas e Energia Rio de Janeiro, , 1978.

BUSH, M. B.; GOSLING, W. D.; COLINVAUX, P. A. Climate and vegetation change in the lowlands of the Amazon Basin. In: Tropical Rainforest Responses to Climatic Change. [s.l: s.n.].

CARVALHO, A. T.; COSTA, M. L. DA; ALMEIDA, H. D. F. D. A. Os sedimentos em suspensão dos rios Purus e Juruá no Estado do Acre. Revista Científica Da Ufpa, p. 31, 2005.

CHENG, H. *et al.* Climate change patterns in Amazonia and biodiversity. Nature Communications, 2013.

CPRM, S. G. DO B. Estado do Amazonas - Geologia, 2010.

CREMON, É. H. *et al.* The role of tectonics and climate in the late Quaternary evolution of a northern Amazonian River. Geomorphology, 2016.

DAVIDSON, E. A. *et al.* The Amazon basin in transitionNature, 2012.

DE JESUS PARADA, N.; VENEZIANI, P.; EUSTAQUIO DOS ANJOS, C. Metodologia de interpretacao de dados de sensoriamento remoto e aplicacoes em geologia., 1982.

DOS SANTOS, Andre Luis Martinelli Real *et al.* Monitoramento por satélite dos fluxos sedimentares na bacia do rio Purus,

Amazônia, Brasil, 2013.

GONÇALVES, E. S. *et al.* Pleistocene-Holocene sedimentation of Solimões-Amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira, Central Amazon. Brazilian Journal of Geology, 2016.

HÄGGI, C. *et al.* Response of the Amazon rainforest to late Pleistocene climate variability. Earth and Planetary Science Letters, 2017.

HAMMEN, T. VAN DER *et al.* Late quaternary of the middle Caquetá River area (Colombian Amazonia). Journal of Quaternary Science, 1992.

HOORN, C. *et al.* Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversityScience, 2010.

HOURDIN, F. *et al.* The art and science of climate model tuning. Bulletin of the American Meteorological Society, 2017.

IBGE, I. B. DE G. E E. Estado do Amazonas - Geomorfologia, 2010.

IPCC. IPCC Fifth Assessment Synthesis Report, 2014.

KRONBERG, B. I.; FRALICK, P. W.; BENCHIMOL, R. E. Late Quaternary sedimentation and palaeohydrology in the Acre foreland basin, SW Amazonia. Basin Research, 1998.

LATRUBESSE, E. M.; RAMONELL, C. G. A climatic model for southwestern Amazonia in Last Glacial times. Quaternary International, 1994.

LATRUBESSE, E. M.; RANCY, A. The late Quaternary of the Upper Juruá River, southwestern Amazonia, Brazil: geology and vertebrate paleontology. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, v. 11, n. 2, 1998.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. Geomorphology, 2002.

LATRUBESSE, E. M.; KALICKI, T. Late Quaternary palaeohydrological changes in the upper Purus basin, southwestern Amazonia, Brazil. Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband, 2002.

LATRUBESSE, E. M.; FRANZINELLI, E. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. Geomorphology, 2005.

LATRUBESSE, E. M. *et al.* The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River systemEarth-Science Reviews, 2010.

LEWIN, J.; ASHWORTH, P. J. The negative relief of large river floodplainsEarth-Science Reviews, 2014.

LOMBARDO, U. Alluvial plain dynamics in the southern Amazonian foreland basin. Earth System Dynamics, 2016.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO. Brasília: 2012.

MERINO, E. R. *et al.* REALCE E INTEGRAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS ÓTICAS COM DADOS SRTM PARA MAPEAMENTO E ESTUDO DE GRANDES PLANÍCIES FLUVIAIS: EXEMPLOS DE APLICAÇÃO NO PANTANAL. Revista Brasileira de Geomorfologia, 2015.

MERTES, L. A. K.; DUNNE, T.; MARTINELLI, L. A. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. Bulletin of the Geological Society of America, 1996.

PUPIM, F. DO N.; ASSINE, M. L.; SAWAKUCHI, A. O. Late Quaternary Cuiabá megafan, Brazilian Pantanal: Channel patterns and paleoenvironmental changes. Quaternary International, 2017.

PUPIM, F. N. *et al.* Chronology of Terra Firme formation in Amazonian lowlands reveals a dynamic Quaternary landscape. Quaternary Science Reviews, 2019.

RÄSÄNEN, M. E. *et al.* Evolution of the Western Amazon Lowland Relief: impact of Andean foreland dynamics. Terra Nova, 1990.

RÄSÄNEN, M. *et al.* Recent and ancient fluvial deposition systems in the Amazonian foreland basin, Peru. Geological Magazine, 1992.

RIGSBY, C. A.; HEMRIC, E. M.; BAKER, P. A. Late Quaternary Paleohydrology of the Madre de Dios River, southwestern Amazon Basin, Peru. Geomorphology, 2009.

ROSSETTI, D.F.; MANN DE TOLEDO, P.; GÓES, A. M. New geological framework for Western Amazonia (Brazil) and implications for biogeography and evolution. Quaternary Research, 2005.

ROSSETTI, D. F. The role of tectonics in the late Quaternary evolution of Brazil's Amazonian landscapeEarth-Science Reviews, 2014.

SATALOFF, R. T.; JOHNS, M. M.; KOST, K. M. Alos User Handbook. [s.l: s.n.].

SCHOBBENHAUS, C.; BELLIZZIA, A. Geological Map of South America, 1: 5,000,000. CPRM-DNPM: Belo Horizonte, Brasil, 2001.

SIOLI, H. The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2012. v. 56

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. LÓGICA E SISTEMÁTICA NA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS EM GEOLOGIA, 1976.

WANG, X. *et al.* Hydroclimate changes across the Amazon lowlands over the past 45,000 years. Nature, 2017.

WHEATON, J. M. *et al.* Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. Geomorphology, 2015.

ZHANG, Y. *et al.* Equatorial Pacific forcing of western Amazonian precipitation during Heinrich Stadial 1. Scientific Reports, 2016.

AVALIAÇÃO DE CLASSIFICADORES BASEADOS EM APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA HIDROLÓGICA DA REGIÃO DA NHECOLÂNDIA (PANTANAL)

Mariana Dias Ramos
Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera, NUPEGEL-USP, Av. Centenário, 303, Agronomia,
13416000 - Piracicaba, SP - Brasil
E-mail: mariana.d.ramos@unesp.br
Eder Renato Merino
Universidade de Brasília, Departamento de Geografia.
Universidade de Brasília (UnB), Asa Norte
70910900 - Brasília, DF – Brasil
E-mail: eder.merino@unb.br
Célia Regina Montes
Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera, NUPEGEL-USP, Av. Centenário, 303, Agronomia
13416000 - Piracicaba, SP - Brasil
E-mail: crmlauar@usp.br

Adolfo José Melfi
Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente
Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera, NUPEGEL-USP
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289, Cidade Universitária - Butantã
05508900 - São Paulo, SP - Brasil
E-mail: ajmelfi@usp.br

Resumo

A região da Baixa Nhecolândia é uma das paisagens mais icônicas da Bacia do Pantanal. Sua morfologia única é composta por mais de 10.000 lagoas com águas salino-alcalinas e água doce que coexistem em uma área aproximada de 12.000km^2. Essa região está sujeita a alagamentos sazonais que atuam no escoamento superficial, porém, pouco se conhece sobre sua dinâmica de inundação. Avanços recentes na área do geoprocessamento têm ajudado a ampliar nosso conhecimento sobre ambientes lacustres. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de dois classificadores supervisionados baseados em aprendizado de máquina (*Classification and Regression Tree* e *Random Forest*), para a caracterização da dinâmica hidrológica da região da Nhecolândia. Os classificadores foram aplicados em imagens de nanossatélites (PlanetScope) por meio da plataforma de computação em nuvem Google Earth Engine. Os resultados evidenciaram o desempenho satisfatório e semelhante dos dois classificadores.

Palavras-chave: Nanossatélites, Google Earth Engine, Classificadores Supervisionados, Lagoas.

1. Introdução

A Bacia do Pantanal possui área aproximada de 150.000 km², ocupando parte dos estados brasileiros Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e também abrangendo parte da Bolívia e Paraguai, sendo considerada uma das maiores regiões contínuas de áreas alagadas (*wetlands*) do mundo (ASSINE *et al*., 2015a; KEDDY *et al*., 2009). Os distintos padrões hidrossedimentológicos resultam em complexos ecossistemas e na valiosa biodiversidade do Pantanal (JUNK *et al*., 2006, 1989). A região da Nhecolândia representa uma das paisagens mais conhecidas do Pantanal pois, em sua porção sul, apresenta mais de 10.000 lagoas distribuídas em uma área aproximada de 12.000 km².

As lagoas da Nhecolândia se diferem em suas características hidrobiogeoquímicas, variando desde a ocorrência de água salino-alcalina a água doce, e também apresentam diferentes tipos de vegetação aquática (ALMEIDA *et al.*, 2011). Além da concentração única de lagoas, esse ambiente lacustre conta com uma densa rede de canais rasos e esporadicamente alagados chamados localmente de vazantes (MERINO; ASSINE, 2020). Os processos que envolvem a dinâmica hidrológica da região da Nhecolândia são de alta sazonalidade, como a inundação das lagoas e a atuação das vazantes no escoamento superficial. Apesar da Nhecolândia apresentar características únicas e ser alvo de um grande número de pesquisas, não há estudos envolvendo análises de alta resolução temporal e espacial sobre o escoamento e inundações da região (COSTA; TELMER, 2006).

O sensoriamento remoto vem ganhando relevância em estudos de recursos aquáticos continentais, o uso de imagens orbitais, obtidas por sensores de radar e multiespectrais, já contribuíram muito para o mapeamento e identificação de *wetlands* ao redor do mundo (OZESMI; BAUER, 2002); contudo, ainda existem muitas áreas importantes sem mapeamento sistemático (FINLAYSON *et al*., 2018). O monitoramento das *wetlands* com séries temporais de imagens permite manter um inventário atualizado das áreas de preservação, bem como do uso da cobertura do solo e da atividade humana que podem constituir possíveis ameaças a esses ecossistemas (FINLAYSON *et al*., 2018). Por outro lado, muitos estudos de corpos hídricos sofrem com algumas limitações de sistemas sensores tradicionais, sendo as resoluções espaciais e temporais os principais desafios de pesquisas relacionadas às águas continentais (CARVALHO JÚNIOR, 2018; PEREIRA; MAILLARD, 2017). De acordo com tais pesquisas, a resolução espacial interfere no estudo de ambientes ou de alvos de dimensões reduzidas, da mesma forma, que a resolução temporal, ou o tempo de revisita dos sistemas sensores, costuma ser mais alta do que muitos processos importantes e de alta sazonalidade em ambientes lacustres.

Atualmente, a incorporação e uso de nanossatélites em estudos hídricos ganha espaço no debate das inovações tecnológicas e seu aporte para o desenvolvimento científico (COOLEY *et al*., 2019). Os nanossatélites são caracterizados por possuírem dimensões e peso muito reduzidos em relação aos satélites convencionais tradicionais devido a redução dos seus sensores e componentes eletrônicos. São projetados para orbitarem em constelações compostas por dezenas de satélites na intenção de superar as lacunas da resolução temporal, conseguindo um imageamento de todo o globo com revisita diária, e também da resolução espacial, com sensores capazes de capturar informações de dimensões sub métricas. Ao comparar o tamanho do Landsat 8, por exemplo, com um nanossatélite da empresa Planet Labs, observa-se que o primeiro, com suas dimensões e peso de 2 toneladas, é cinquenta vezes maior do que um nanossatélite convencional (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

A empresa Planet Labs foi a pioneira no lançamento de nanossatélites, desde 2017 foi iniciado o lançamento de uma constelação que atualmente é composta por mais de 150 sistemas sensores chamados de PlanetScope. Essa constelação consegue capturar imagens diárias de todo o globo com resolução espacial média de 3 metros, resultando em produtos de composição RGB e NIR (PLANET LABS, 2016). Desde então o uso desses nanossatélites de alta resolução espacial e temporal tem sido explorado pela comunidade acadêmica. Muitos pesquisadores têm usado imagens Planet em pesquisas de quantificação de carga e fluxo de sedimentos (STRICK *et al*., 2019), estudos batimétricos em águas rasas (POURSANIDIS *et al*., 2019) e monitoramento da dinâmica de inundações em lagoas (COOLEY *et al*., 2019; PEREIRA *et al*., 2019).

Assim como o desenvolvimento de novas alternativas de sistemas sensores, outra área de acelerado desenvolvimento e impacto nos estudos da superfície terrestre é a computação em nuvem. Em plataformas de processamento em nuvem é possível, por meio da internet, utilizar-se de recursos que envolvem o armazenamento e processamento de dados para manipular qualquer tipo de dado digital (BARBOSA *et al*., 2019; CARVALHO JÚNIOR, 2018). A computação em nuvem representa, portanto, uma poderosa ferramenta para o geoprocessamento, principalmente no que diz respeito a trabalhos que necessitam manipular grande quantidade de dados e/ou que se utilizam de imagens orbitais, tanto para otimização do tempo, quanto para aplicação de escalas e estudos nunca antes testados (BARBOSA *et al*., 2019; CARVALHO JÚNIOR, 2018; GORELICK *et al*., 2017).

Uma das principais plataformas da computação em nuvem é o Google Earth Engine (GEE) que funciona com uma biblioteca de petabytes de dados, como séries históricas de imagens orbitais e ferramentas pré-estruturadas (GORELICK *et al*., 2017). Dessa forma, o usuário pode controlar, por meio de uma interface de programação de aplicativos (API), a sua própria programação e processamento de dados de acordo com a sua finalidade (GORELICK *et al*., 2017; KUMAR; MUTANGA, 2018; PEKEL *et al*., 2016). Dentre as ferramentas de processamento de imagens oferecidas pelo GEE estão os classificadores supervisionados baseados em aprendizado de máquina. Esses classificadores utilizam métodos computacionais para organizar o conhecimento existente sobre o objeto ou área de estudo, usando a inteligência artificial para rotular grandes quantidades de dados de acordo com características pré-definidas (MITCHELL, 1997). O processamento de imagens de nanossatélites na plataforma de computação em nuvem do Google Earth Engine representa hoje um campo produtivo para estudos de sistemas aquáticos continentais. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso dos classificadores supervisionados *Classification And Regression Tree* (CART) e *Random Forest* (RF), disponibilizados na plataforma do GEE, em imagens Planet para a caracterização da dinâmica hidrológica na região da Nhecolândia.

2. Área de Estudo

A Bacia do Pantanal está inserida no interior da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraguai, essa grande planície aluvial é alimentada por rios que transportam sedimentos oriundos dos planaltos circundantes (ASSINE *et al*., 2015b). O clima é tropical de savana (Aw), segundo classificação de Köppen (1931), com verões chuvosos e invernos secos. As faixas médias anuais de temperatura vão de 20 a 27 ºC, enquanto a precipitação varia de 710 a 1.200 mm (ALHO, 2005; ASSINE *et al*., 2015b). O regime de chuvas da região é influenciado pela atuação da Monção Sul Americana (SASM) (PLINK-BJÖRKLUND, 2015), que ajuda a configurar a bacia como uma área sazonalmente alagada através do pulso de inundação que ocorre na direção norte-sul (JUNK *et al.*, 1989).

Dentre as distintas regiões pantaneiras, o megaleque do Rio Taquari é a feição mais marcante da Bacia do Pantanal com área aproximada de 50.000 km² distribuída em uma forma circular e que representa 37% da área total da bacia (ASSINE *et al*., 2005). O rio Taquari é responsável por transportar mais de 72% do total de sedimentos da Bacia do Pantanal, sendo que a maior parte dos sedimentos, permanece retida dentro da bacia devido ao escoamento raso e lento resultante do baixo gradiente da planície fluvial, com altitudes do megaleque variando de 85 a 190 metros (ASSINE *et al*., 2015b; ZANI *et al*., 2012). Na porção sul do megaleque está localizada a região da Nhecolândia com área aproximada de 26.900 km². Essa região é limitada pelo rio Taquari (ao norte) e pelo rio Negro (ao sul). A Nhecolândia pode ser dividida em duas unidades geomorfológicas distintas: (i) a Alta Nhecolândia, localizada na porção nordeste, que apresenta processos deposicionais controlados por fluxos de sedimentos do rio Taquari que cobrem lobos deposicionais abandonados (ASSINE, 2003); (ii) e a Baixa Nhecolândia, área de estudo deste projeto, localizada na porção sudeste, possuindo mais de 10.000 lagoas distribuídas em aproximadamente 12.000 km² (POR, 1995).

As lagoas da Nhecolândia são classificadas, localmente, em 'salinas' ou 'baías' de acordo com a ocorrência de água salino-alcalina ou doce, respectivamente. As lagoas salino-alcalinas podem ser identificadas pela presença de cianobactérias e por valores de pH acima de 8, representando cerca de 10% das lagoas da Nhecolândia (COSTA; TELMER, 2006; PEREIRA *et al.*, 2020). Enquanto as baías apresentam baixos valores de condutividade elétrica (da ordem de 0,3 mS/cm), valores de pH menores que 8 e são colonizadas por uma diversidade de macrófitas aquáticas em sua superfície (ALMEIDA *et al*., 2003; COSTA; TELMER, 2006; EVANS; COSTA, 2013; PEREIRA *et al.*, 2020).

Esse ambiente lacustre é moldado por processos altamente sazonais, que, além dos períodos de seca (julho - outubro) e inundação (fevereiro - abril), resultam em mudanças significativas na dinâmica hidrológica das lagoas e canais de distributários (HAMILTON *et al*., 1998). Na drenagem superficial, há a formação de canais conhecidos localmente como 'vazantes', que são cursos de água rasos alimentados pela água da chuva e do transbordamento do rio Taquari (MERINO; ASSINE, 2020). Em períodos de inundação, esses canais conectam as lagoas e drenam a água sentido rio Negro (ASSINE *et al*., 2015a; EVANS; COSTA, 2013; FURIAN *et al*., 2013). As vazantes são as principais responsáveis pela drenagem da água das lagoas durante todo o período de inundação na orientação norte-sul (HAMILTON, 1996; PADOVANI, 2010). As lagoas salino-alcalinas normalmente não participam da dinâmica do escoamento superficial devido à atuação de barreiras arenosas levemente elevadas, localmente conhecidas como 'cordilheiras', que são recobertas por densa vegetação arbórea (BARBIERO *et al*., 2008, FURIAN *et al.*, 2013).

Três áreas piloto foram delimitadas para o desenvolvimento do trabalho, considerando uma das vazantes que atravessa a região de Nhecolândia, na direção nordeste-sudoeste. Cada área possui aproximadamente 50 km², denominadas como áreas 1, 2 e 3, localizadas ao longo da vazante Mangabal (Figura 1).

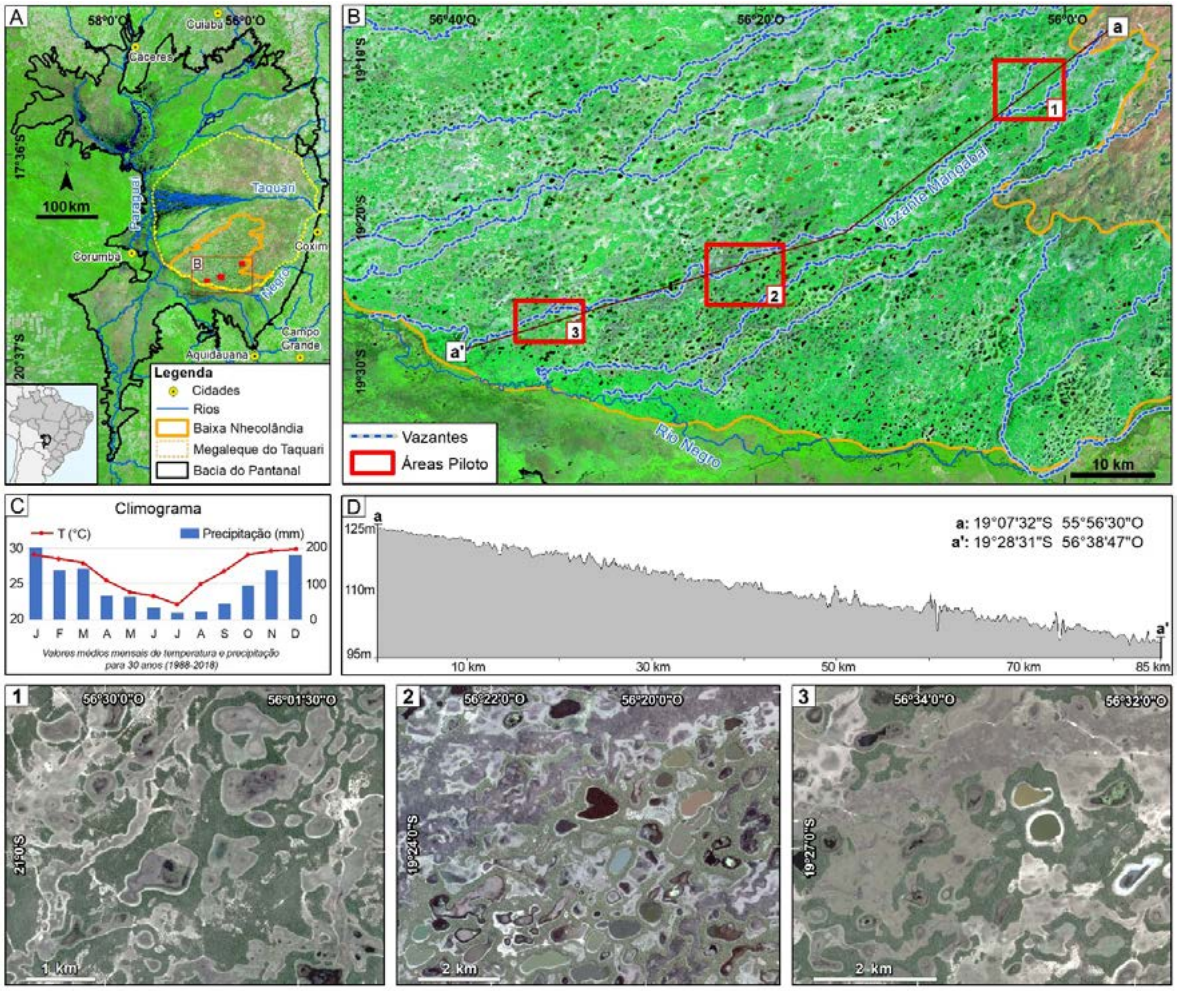


Figura 1: Localização da Área de Estudo: (A) Bacia do Pantanal com o Megaleque do Taquari e a Baixa Nhecolândia (Mosaico Landsat 8). (B) Localização das Áreas 1,2 e 3 (Mosaico Landsat 8). (C) Climograma (CHIRPS e MODIS). (D) Perfil Topográfico (MERIT-DEM). (1.2.3) Morfologia das Áreas Piloto (PlanetScope).

3. Materiais e Métodos

O presente trabalho foi baseado no uso integrado de dados provenientes de sensoriamento remoto e processamento em plataforma de computação em nuvem. Foram utilizadas imagens de nanossatélites da empresa Planet Labs referentes a um período de seca e outro de cheia na região da Nhecolândia. O processamento das imagens foi realizado no Google Earth Engine onde foram aplicados os classificadores baseados em aprendizado de máquina *Classification and Regression Tree* e *Random Forest*.

3.1 Imagens Planet

Através de uma parceria entre a empresa Planet Labs com estudantes e pesquisadores, foi possível ter acesso a imagens do sensor PlanetScope para o desenvolvimento do trabalho. O sensor PlanetScope possui dimensões de 10x10x30cm e conta com uma constelação de mais de 170 nanossatélites. Esse sistema sensor absorve a reflectância no espectro de luz visível, a banda azul (B) opera em uma faixa de 455 a 515nm, a verde (G) de 500 a 590nm e a vermelha (R) de 590 a 670nm. O sensor também captura informações no comprimento de onda do infravermelho próximo (NIR) de 780 a 860 nm, resultando em imagens

de 16 bits de informações radiométricas (PLANET LABS, 2016). As imagens adquiridas na plataforma da empresa correspondem ao nível 3B de pré-processamento, pois são cenas de 7x25km já ortorretificadas, com correção atmosférica e resolução espacial de 3 metros (PLANET LABS, 2016).

De acordo com as três áreas piloto, foram baixadas imagens que representassem cenas de períodos de seca e de cheia da região da Nhecolândia. As imagens do dia 05 de outubro de 2017 representam o ápice do período de seca da área após uma sequência de meses com baixos valores de precipitação. Apesar de outubro ser o mês de início da estação chuvosa, com base em dados do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (2020), observou-se que para ano de 2017 chuvas de acima de 5 mm foram observadas somente a partir do dia 21. Já as imagens do dia 24 de abril de 2018 representam um período de cheia característico na região.

As imagens foram processadas inicialmente no software ArcMap 10.5 no qual foram mosaicadas com a ferramenta '*mosaic to new raster*', e em seguida recortadas de acordo com a dimensão da sua respectiva área piloto com a ferramenta '*extract by mask'*. Esse tratamento inicial reduziu o volume de imagens para 6 (uma para cada área e para as duas datas) e o tamanho dos arquivos pela metade, otimizando as etapas subsequentes.

No software Global Mapper as imagens foram utilizadas para a localização da região, propiciando a elaboração do perfil topográfico (Figura 1D) através de dados MERIT-DEM (YAMAZAKI *et al*., 2017).

3.2 Google Earth Engine e Classificadores

Na plataforma do Google Earth Engine (GEE) foram carregadas as imagens pré-processadas como *'assets'* preservando toda a informação radiométrica dos arquivos rasters. O GEE permite que o usuário armazene e processe dados utilizando-se de ferramentas construídas em linguagem Python e JavaScript. Os processamentos são salvos como *scripts* compostos de dados de entrada, linhas de comando e organização dos dados de saída. Através de um comando com dados MODIS de temperatura e CHIRPS (FUNK, *et al.* 2015) para precipitação, foi gerado um climograma correspondente a região estudada (Figura 1C).

No GEE é possível utilizar dois dos principais classificadores supervisionados baseados em aprendizado de máquina, CART e RF, esses classificadores diferem-se tanto na metodologia, quanto no processamento e treinamento das amostras inseridas pelo analista (SHETTY, 2019). No processo de classificação de imagens, um rótulo é atribuído a cada pixel em função das suas características espaciais e espectrais (NOVO, 2008). Na classificação de imagens orbitais ocorre o 'aprendizado indutivo por exemplos', esse processamento compreende quatro etapas básicas: amostragem, treinamento de amostras, classificação e validação do processamento com dados independentes (BATISTA, 2003).

Para melhor visualização e inserção de amostras foram utilizadas as composições coloridas com as bandas R-G-B e NIR-R-G. Quatro classes foram delimitadas para a classificação das imagens da Nhecolândia: água (classe de valor 1), vazante (valor 2), solo exposto (valor 3, representam bancos de areia bastante comuns na região da Nhecolândia) e cordilheira (valor 4). Para cada classe, foram inseridas vinte regiões de amostras em formato de polígonos, polígonos esses que foram salvos como *FeatureCollection* e em seus metadados carregavam o respectivo valor de classe. Após delimitar as regiões de amostras, foram delimitados também 40 pontos de cada classe para posterior validação independente da acurácia de mapa. Com as regiões de amostras e os pontos para validação inseridos manualmente, foi escrito um *script* padrão para aplicar

os classificadores CART e RF, as variáveis do *script* foram apenas o tipo de classificador (CART ou RF) e variáveis espaciais a depender da imagem referente a área 1, 2 ou 3. O processamento foi o mesmo para cada uma das seis imagens Planet, gerando 12 classificações diferentes, 6 para o classificador CART e 6 para o classificador RF.

As amostras consistiram em 500 pontos distribuídos randomicamente dentro dos polígonos de amostras, ou regiões de amostras, para cada ponto sendo considerada a informação radiométrica das quatro bandas da imagem conforme as orientações de Olofsson *et al*. (2014). Do total de amostras, 70% foram destinadas para treinar o classificador, enquanto as 30% restantes foram reservadas para o processo de validação. Depois do treinamento de amostras, a imagem inteira foi classificada de acordo com o produto do classificador supervisionado CART ou RF.

O classificador supervisionado CART utiliza aprendizado de máquina para retornar dados classificados. A partir de amostras e de um treinamento das mesmas, o classificador gera uma árvore de decisão com ramos que representam as diferentes características das amostras. Essas características são vistas como variáveis a serem consideradas para associar o dado de entrada a uma classe (LOH, 2011). Na plataforma do GEE, o classificador CART analisa cada pixel da imagem Planet e, por meio da árvore de decisão formada com as amostras, retorna uma imagem produto na qual cada pixel foi definido de acordo com a classe dominante ao longo da árvore (BREIMAN, 1984).

O classificador RF desenha várias árvores de decisões e, assim como a única árvore do CART, elas representam possibilidades de classificação dos pixels a partir das características presentes nas amostras. Entretanto, esse classificador combina todos os resultados das árvores geradas, e, a partir dessa combinação, define a melhor classe a ser atribuída ao pixel com uma decisão chamada de voto máximo, a decisão considera o comportamento do pixel ao longo de todas as árvores geradas (BREIMAN, 2001; SHETTY, 2019). No processamento de cada imagem o *script* correspondente ao RF gerou 100 árvores de decisões para serem consideradas no voto máximo.

O resultado das classificações foi exibido no display do GEE, seguindo parâmetros de visualização pré-determinados ao longo do *script* dos classificadores, e pôde ser extraído da plataforma em formato raster.

3.3 Validação

Para validar a acurácia da classificação, ainda na plataforma do GEE, foram utilizadas as amostras que correspondiam às 30% restantes não destinadas para treinar o classificador, o que representou uma quantidade da ordem de 150 pontos de validação para cada classe. Essas amostras, portanto, se caracterizaram como os dados de referência enquanto os produtos de cada classificador foram os dados classificados. As amostras da validação foram comparadas com o produto dos classificadores. Esse processo consiste em, para cada ponto de amostra, a análise do valor de classe atribuído manualmente pelo analista (dado de referência) com o valor de classe do mesmo ponto como produto do classificador (dado classificado). A comparação é feita através da construção de uma matriz de confusão. Ao construir a matriz de confusão, a relação dado de referência x dado classificado torna possível aferir a acurácia global, a acurácia do produtor e acurácia do consumidor de cada metodologia (PONTIUS JUNIOR; MILLONES, 2011). A matriz de confusão de cada imagem classificada foi gerada de forma automática na plataforma a partir das quatro classes.

A acurácia de mapa, por sua vez, é a validação do produto dos classificadores a partir da comparação com dados independentes. Para tal, foi elaborada uma segunda matriz de confusão, mas os dados de referência foram os 40 pontos de cada classe inseridos manualmente no início do processamento. Esses pontos podem ser considerados independentes das amostras utilizadas e que não participaram do processo de classificação. Dessa forma, foi possível obter as métricas de acurácia da classificação (correspondente ao desempenho do classificador a partir das próprias amostras) e de mapa (desempenho da classificação em relação a sua representação do real).

4. Resultados e Discussões

4.1 Desempenho dos classificadores

Os produtos dos classificadores de cada imagem Planet podem ser conferidos nas Figuras 2 e 3, eles foram divididos de acordo com as imagens correspondentes às datas de seca e de cheia, respectivamente. As duas metodologias tiveram resultados muito parecidos, podendo-se observar pequenas nuances que diferenciam as duas classificações de uma mesma imagem, como por exemplo, as três lagoas indicadas em vermelho na Figura 2.

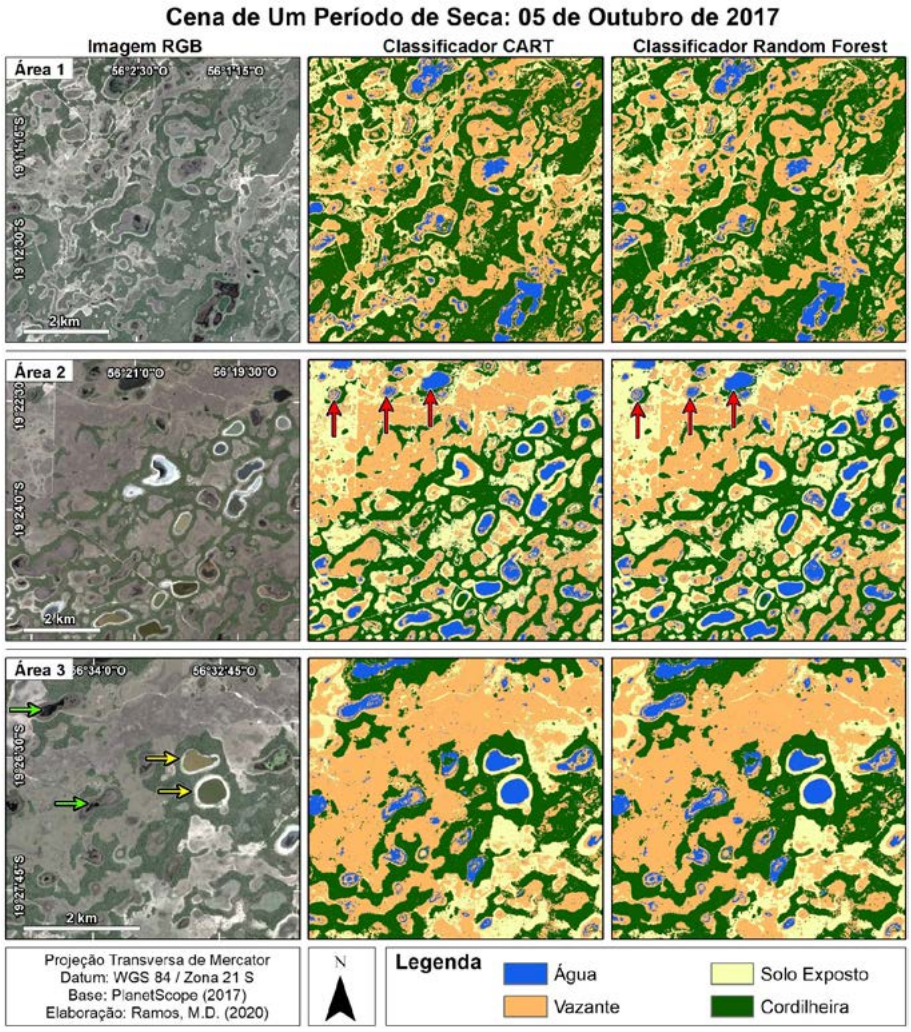


Figura 2: Produto dos Classificadores CART (*Classification And Regression Tree)* e RF (*Random Forest)* para Imagens do dia 05 de Outubro de 2017. Setas verdes indicam exemplos de duas baías; setas amarelas indicam duas lagoas salino-alcalinas; setas vermelhas exemplificam pequenas diferenças observadas nas duas classificações.

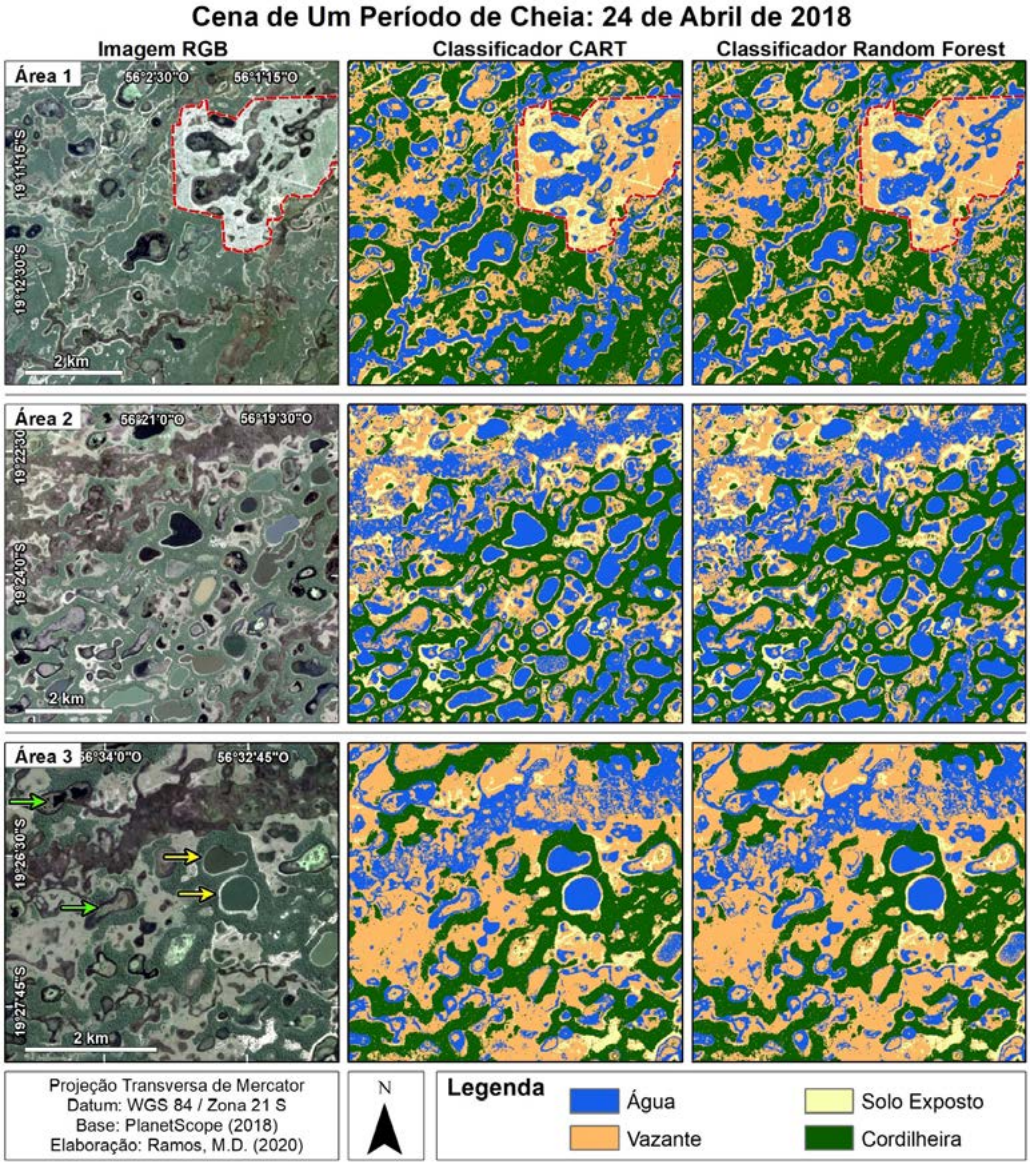


Figura 3: Produto dos Classificadores CART (*Classification And Regression Tree)* e RF (*Random Forest)* para Imagens do dia 24 de Abril de 2018. Polígono pontilhado em vermelho indica área de 8km² desmatada. Setas verdes indicam exemplos de duas baías; setas amarelas indicam duas lagoas salino-alcalinas.

No caso do classificador CART, a sua única árvore de decisão responde mais sensivelmente ao comportamento de pixels isolados, classificando-os sem considerar os pixels vizinhos, enquanto o classificador RF, após definir o voto máximo de todas as suas árvores de decisões, é propenso a gerar regiões mais homogêneas de uma mesma classe, como já observado por Shetty (2019).

O desempenho dos classificadores excedeu expectativas pela fidelidade da classificação baseada em apenas 4 classes, uma vez que as imagens Planet contam com limitações de resolução radiométrica e também operam em uma quantidade reduzida de bandas (POURSANIDIS *et al.*, 2019; COOLEY *et al.*, 2019). Os classificadores tiveram que avaliar limiares muito próximos de comprimento de onda para definirem o rótulo adequado de cada pixel, principalmente devido a diversidade de características das lagoas encontradas na Nhecolândia. Além da divisão entre lagoas salino-alcalinas e baías, os constituintes opticamente ativos

são aspectos muito relevantes para o sensoriamento remoto de imagens multiespectrais como a água cristalina, a matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM) e o material particulado total (Barbosa *et al*., 2019). Como exemplo pode-se citar as concentrações elevadas de cianobactérias que, quando presentes, conferem às lagoas salino-alcalinas a cor esverdeada e comportamento espectral parecido com o da vegetação, dificultando sua classificação. Apesar disso, os corpos hídricos foram corretamente classificados principalmente devido às informações espectrais da banda quatro, ou infravermelho próximo das imagens. A banda quatro também foi muito expressiva para a delimitação da classe de cordilheiras devido a vegetação arbórea.

O alto desempenho e a qualidade dos resultados das classificações CART e RF são confirmados pelos valores resultantes das matrizes de confusão. A acurácia global das seis classificações baseadas na metodologia CART variaram de 95,16% a 99,15% enquanto os valores correspondentes às classificações RF variaram de 97,24% a 99,67%. A matriz de confusão gerada a partir dos pontos de validação independentes também resultou em valores altos para os produtos dos classificadores. A acurácia global, ou aqui chamada de acurácia de mapa, desses pontos viraram de 94,38% a 98,13% para o classificador CART e de 94,38% a 98,75% com a metodologia RF. A título de exemplo, pode-se conferir a construção das matrizes de confusão da acurácia global e de mapa referentes ao produto do classificador CART para a Área 1 no dia 05 de outubro de 2017, período de seca, nos Quadros 1 e 2.

QUADRO 1

Matriz de confusão da área 1 no dia 05 de outubro de 2017 a partir de regiões de amostras

Matriz de Confusão do Classificador CART a Partir de Regiões de Amostras							
Área 1 Data: 05/10/2017		Dado de Referência					Acurácia do Usuário (%)
		Água	Vazante	Solo Exposto	Cordilheira	Total	
Dado Classificado	Água	141	0	0	0	141	100
	Vazante	1	145	0	1	147	98,64
	Solo Exposto	0	3	154	0	157	98,09
	Cordilheira	0	0	0	149	149	100
	Total	142	148	154	150	594	Acurácia Global
Acurácia do Produtor (%)		99,30	97,97	100	99,33	Acurácia Global	99,16

QUADRO 2

Matriz de confusão da área 1 no dia 05 de outubro de 2017 a partir de amostras independentes

Matriz de Confusão do Classificador CART a Partir de Amostras Independentes							
Área 1 Data: 05/10/2017		Dado de Referência					Acurácia do Usuário (%)
		Água	Vazante	Solo Exposto	Cordilheira	Total	
Dado Classificado	Água	40	0	0	0	40	100
	Vazante	1	36	2	1	40	90,00
	Solo Exposto	0	0	40	0	40	100
	Cordilheira	0	0	0	40	40	100
	Total	41	36	42	41	160	Acurácia de Mapa
Acurácia do Produtor (%)		98	100	95,24	98	Acurácia de Mapa	97,50

4.2 Análise das imagens

Com base na análise das Figuras 2 e 3 percebe-se, ao longo da Vazante do Mangabal, a distribuição espacial e temporal da dinâmica hidrológica da região da Nhecolândia para uma data de período de seca (05 de outubro de 2017) e um período de cheia (24 de abril de 2018). As áreas piloto 1, 2 e 3 seguem, respectivamente, uma disposição nordeste-sudoeste. No início de outubro de 2017, as três áreas apresentam água concentrada apenas nas lagoas, o limite entre a faixa das cordilheiras e das vazantes deixa em evidência a área de alagamento. Em novembro inicia-se o período de chuvas da região e o fluxo de água das vazantes se caracterizam por canais finos e irregulares. Ao longo dos meses seguintes, a inundação das baías que alimentam o escoamento das vazantes modifica a Nhecolândia até a morfologia atingida em abril de 2018, um dos meses do ápice do período de cheia. No período de cheia, as vazantes se destacam por serem ocupadas por água em quase toda a área de drenagem, os canais conectam as baías e se tornam canais de água delimitados pela vegetação. Também as lagoas salino-alcalinas, que normalmente são isoladas do escoamento superficial, diminuem significativamente a área da faixa de areia circundante (ver exemplo na Área 3, Figuras 2 e 3).

Ao comparar as imagens da Área 1 para as duas datas, fica evidente uma extensão de aproximadamente 8km^2 de mata nativa que, dentro do período de seis meses entre as imagens da área, foi desmatada e destinada para a monocultura (polígono pontilhado em vermelho; Figura 3). A área encontra-se entre dois canais que compreendem a drenagem da vazante do Mangabal. Esse fato reforça a necessidade do monitoramento e inventário das *wetlands* ao redor do mundo com o auxílio do sensoriamento remoto. Em 1988, Aziz Ab'Saber já alertava sobre a expansão da fronteira agrícola nas cabeceiras de drenagem do Pantanal como um perigo potencial para químicos e agrotóxicos participarem das inundações de paisagens preservadas como a Nhecolândia.

5. Considerações Finais

O uso de integrado de ferramentas de computação em nuvem e dados provenientes de nanossatélites configuram novas possibilidades de trabalho para o geoprocessamento e estudos da superfície terrestre. As metodologias CART e RF, disponibilizadas na plataforma do Google Earth Engine, tiveram um desempenho satisfatório no processamento e classificação de imagens do sensor PlanetScope para a caracterização da dinâmica hidrológica da região da Nhecolândia. Apesar de limitações radiométricas deste sensor que é, por ora, utilizado principalmente para fins comerciais, as imagens Planet processadas no GEE representam uma importante fonte de dados para estudo de ambientes lacustres altamente sazonais. O processamento das imagens na plataforma com os classificadores foi muito eficiente, principalmente se considerado a quantidade de amostras utilizadas (2000 amostras por imagem). Vale ressaltar que as resoluções temporais e espaciais do sistema sensor PlanetScope foram essenciais para o desenvolvimento do trabalho, tanto para a para a obtenção de boas imagens em datas ideais, quanto para o nível de detalhamento das classificações e análises. Com essa facilidade de processamento de grande quantidade de dados orbitais, será possível obter significativas informações sobre a paisagem e o escoamento superficial da área, permitindo a elaboração de um mapa de frequência de inundação da região da Nhecolândia, primeira sistematização de alta resolução (espacial e temporal) dos alagamentos sazonais da área.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da pesquisa de iniciação científica deste trabalho (processo 2019/1440-0), assim como pela pesquisa de Pós-Doutorado (2017/26318-8) e o Projeto Temático (2016/14227-5) dos quais o trabalho está vinculado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; processo nº 307024/2018-0) pela bolsa de pesquisa de CRM.

Referências

AB'SABER, A.N. O pantanal mato-grossense e a teoria dos refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 50, n. esp., p. 9-57, 1988.

ALHO, C.R.J., The Pantanal. In FRASER, LH. and KEDDY, PA., Org. **The World's Largest Wetlands – Ecology and Conservation**. New York, USA: Cambridge University Press. p. 203-271, 2005.

ALMEIDA, T. I. R. de; SÍGOLO, J. B.; FERNANDES, E.; QUEIROZ NETO, J.P.; BARBIERO, L.; SAKAMOTO, A. Y.; Proposta de classificação e gênese das lagoas da Baixa Nhecolândia-MS com base em sensoriamento remoto e dados de campo. **Revista Brasileira de Geociências**. 33(2-Suplemento):83-90, 2003. https://doi.org/10.25249/0375-7536.200333s28390

ASSINE, M. L. **Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil.** 2003. 106 f. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2003.

_____; River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil, **Geomorphology**, V.70, 357-371p., 2005. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.013.

_____; MERINO, E.; PUPIM, F.; WARREN, L.; GUERREIRO, R.; MCGLUE, M. Geology and Geomorphology of the Pantanal Basin. In: Bergier, I. & Assine, M. L. (ed.) **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer International Publishing, (The Handbook of Environmental Chemistry), 37: 23- 50p, 2015a.

_____; MERINO, E.R., DO NASCIMENTO PUPIM, F., DE AZEVEDO MACEDO, H., DOS SANTOS, M.G.M., he Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal Of Geology**, [s.l.], v. 45, n. 3, p.475-489, 2015b. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201520150014.

BARBIERO, L., FILHO, A.R., FURQUIM, S.A.C., FURIAN, S., SAKAMOTO, A.Y., VALLES, V., GRAHAM, R.C., FORT, M., FERREIRA, R.P.D., NETO, J.P.Q., Soil morphological control on saline and freshwater lake hydrogeochemistry in the Pantanal of Nhecolândia, Brazil. **Geoderma**, 148(1), 91-106p., 2008. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.09.010.

BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.M.; MARTINS, V.S., **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações**. 1a edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 161p. 2019.

BATISTA, G.E.A.P.A. **Pré-processamento de dados em aprendizado de máquina supervisionado**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) -Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. doi:10.11606/T.55.2003.tde-06102003-160219.

BREIMAN,L.,FRIEDMAN, J. H., OLSHEN, R. A., STONE, C. J.. **Classification and Regression Trees**. CRC Press. 368p., 1984.

_____. Random Forests. **Machine Learning**, [s.l.], Springer Science and Business Media LLC. v. 45, n. 1, p.5-32, 2001. http://dx.doi.org/10.1023/a:1010933404324.

CARVALHO JÚNIOR, O.A., 2018. Aplicações E Perspectivas Do Sensoriamento Remoto Para O Mapeamento De Áreas Inundáveis. **Revista de Geografia (Recife**) V. 35, No. 4 (especial XII SINAGEO), 412–431p.,2018.

COOLEY, S. W., SMITH, L. C., Ryan, J. C., PITCHER, L. H., PAVELSKY, T. M. Arctic-Boreal lake dynamics revealed using CubeSat imagery. **Geophysical Research Letters,** 46, 2111–2120. 2019. https://doi.org/10.1029/2018GL081584

COSTA, M., TELMER, K., Utilizing SAR imagery and aquatic vegetation to map fresh and brackish lakes in the Brazilian Pantanal wetland. **Remote Sens. Environ**. 105, 204–213, 2006. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.06.014

_____; _____; EVANS, T.; ISNARD, T.; DIAKUN, M., The lakes of the Pantanal: inventory, distribution, geochemistry, and surrounding landscape. **Wetlands Ecology and Management**. 23, 2015. 10.1007/s11273-014-9401-3.

EVANS, T.L.; COSTA, M., Landcover classification of the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal Wetlands using ALOS/PALSAR, RADARSAT-2 and ENVISAT/ASAR imagery. **Remote Sens. Environ.** 128, 118–137, 2013. https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.022

FINLAYSON C.M., MILTON G.R., PRENTICE R.C., Wetland Types and Distribution. In: Finlayson C., Milton G., Prentice R., Davidson N. (eds) **The Wetland Book**. Springer, Dordrecht, 2018. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4001-3_186

FUNK, C., PETERSON, P., LANDSFELD, M., The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Sci Data 2**, 150066, 2015. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66

FURIAN, S., MARTINS, E.R.C., PARIZOTTO, T.M., REZENDE-FILHO, A.T., VICTORIA, R.L., BARBIERO, L.. Chemical diversity and spatial variability in myriad lakes in Nhecolândia in the Pantanal wetlands of Brazil. **Limnol. Oceanogr**. 58, 2249–2261, 2013. https://doi.org/10.4319/lo.2013.58.6.2249

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sens. Environ**. 202, 18–27, 2017. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

GUERREIRO, R.L., MCGLUE, M.M., STONE, J.R., BERGIER, I., PAROLIN, M., DA SILVA CAMINHA, S.A.F., WARREN, L. V., ASSINE, M.L.. Paleoecology explains Holocene chemical changes in lakes of the Nhecolândia (Pantanal-Brazil). **Hydrobiologia** 815, 2018. https://doi.org/10.1007/s10750-017-3429-3

HAMILTON, S.K., DE SOUZA, O.C., COUTINHO, M.E.. Dynamics of floodplain inundation in the alluvial fan of the Taquari River (Pantanal, Brazil). **SIL Proceedings**, 1922-2010, 26(3), 916-922, 1998. https://doi.org/10.1080/03680770.1995.11900852.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep. Acesso em:09 de março de 2020.

JUNK, W.; BAYLEY, P.; SPARKS, R. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. **Can. Spec. Public Fish. Aquat. Sci**.. 106, 1989.

_____; CUNHA, C.N.; WANTZEN, K.M.; PETERMANN, P.; STRÜSSMANN, C.; MARQUES, M.I.; ADIS, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquat. Sci.** 68, 278–309, 2006. https://doi.org/10.1007/s00027-006-0851-4

KEDDY, P.A., FRASER, L.H., SOLOMESHCH, A.I., JUNK, W.J., CAMPBELL, D.R., ARROYO, M.T.K., ALHO, C.J.R. Wet and Wonderful: The World's Largest Wetlands Are Conservation Priorities. **Bioscience** 59, 39-51p. 2009. https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.1.8

KÖPPEN,W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlin: Walter de Gruyter, 390p, 1931.

KUMAR, L., MUTANGA, O. Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. **Remote Sens**. 10, 1–15, 2018. https://doi.org/10.3390/rs10101509

LOH, W., Classification and Regression Trees. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery**. 1. 14 – 23p., 2011. doi:10.1002/widm.8

MERINO, E. R.; ASSINE, M. L., Hidden in plain sight: How finding a lake in the Brazilian Pantanal improves understanding of wetland hydrogeomorphology. **Earth Surf. Process. Landforms,** 45: 440– 458p., 2020. https://doi.org/10.1002/esp.4745.

MITCHELL, T.M., **Machine Learning**, 1ª ed, McGraw-Hill, Inc., USA,1997.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3ª ed, São Paulo:Edgard Blucher, 2008.

OLOFSSON, P.; FOODY, G.M.; HEROLD M.; STEHMAN, S.V.; WOODCOCK, C.E.; WULDER, M.A., Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change, **Remote Sensing of Environment**, Volume 148, 42-57p., 2014. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015.

OZESMI, S.L., BAUER, M.E.,Satellite remote sensing of wetlands. **Wetlands Ecology and Management** 10, 381–402p. 2002. https://doi.org/10.1023/A:1020908432489

PADOVANI C.R. **Dinâmica das Inundações do Pantanal**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - USP/ESALQ,

Piracicaba - SP, 174p, 2010.

PEKEL, J.F., COTTAM, A., GORELICK, N., BELWARD, A.S., High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature** 540, 418–422p., 2016. https://doi.org/10.1038/nature20584

PEREIRA, E.; MAILLARD, P., Altimetria Por Satélite Radar Aplicada A Hidrologia No Brasil**. Revista Brasileira de Cartografia**. 69. 347-360p, 2017.

PEREIRA, O.J.R.; MERINO, E.R.; MONTES, C.R.; BARBIERO, L.; REZENDE-FILHO, A.T.; LUCAS, Y.; MELFI, A.J. Estimating Water pH Using Cloud-Based Landsat Images for a New Classification of the Nhecolândia Lakes (Brazilian Pantanal). **Remote Sens**. , 12, 1090. 2020

PEREIRA, F.J.S., COSTA, C.A.G., FOERSTER, S., BROSINSKY, A., DE ARAÚJO, J.C., Estimation of suspended sediment concentration in an intermittent river using multi-temporal high-resolution satellite imagery. **Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf**. 79, 153–161p., 2019. https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.02.009

PLANET LABS, **Planet Imagery Product Specification** 56, 2016.

PLINK-BJÖRKLUND, P. Morphodynamics of rivers strongly affected by monsoon precipitation: Review of depositional style and forcing factors. **Sedimentary Geology**, 323, 110-147p., 2015. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.04.004 .

POURSANIDIS, D.; TRAGANOS, D.; CHRYSOULAKIS, N.; REINARTZ, P., Cubesats allow high spatiotemporal estimates of satellite-derived bathymetry. **Remote Sens**. 11, 2019. https://doi.org/10.3390/rs11111299

PONTIUS JUNIOR, R.G.; MILLONES, M., Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment, **International Journal of Remote Sensing**, 32:15, 4407-4429p., 2011. DOI: 10.1080/01431161.2011.552923

SHETTY, SHOBITHA. **Analysis of Machine Learning Classifiers for LULC Classification on Google Earth Engine**. 2019. Tese de mestrado na Universidade de Twente. 2019.

STRICK, R.J.P., ASHWORTH, P.J., SAMBROOK SMITH, G.H., NICHOLAS, A.P., BEST, J.L., LANE, S.N., PARSONS, D.R., SIMPSON, C.J., UNSWORTH, C.A., DALE, J., Quantification of bedform dynamics and bedload sediment flux in sandy braided rivers from airborne and satellite imagery. **Earth Surf. Process. Landforms** 44, 953–972p, 2019. https://doi.org/10.1002/esp.4558

YAMAZAKI, D., IKESHIMA, D., TAWATARI, R., YAMAGUCHI, T., O'LOUGHLIN, F., NEAL, J.C., SAMPSON, C.C., KANAE, S., BATES, P.D., A high accuracy map of global terrain elevations, **Geophysical Research Letters**, vol.44, pp.5844-5853, 2017 doi: 10.1002/2017GL072874

ZANI, H., ASSINE, M.L., SILVA, A., CORRADINI, F.A., Redes de drenagem distributária e formas deposicionais no megaleque do Taquari, Pantanal: uma análise baseada no MDE-SRTM. **Rev. Bras. Geomorfol.** 10, 21–28p., 2009. https://doi.org/10.20502/rbg.v10i2.127

_____;_____;. Paleocanais no megaleque do rio Taquari: mapeamento e signifcado geomorfológico. **Rev. Bras. Geociencias** 41, 37–43p., 2011. https://doi.org/10.25249/0375-7536.20114113743

_____;_____; MCGLUE, M.M., Remote sensing analysis of depositional landforms in alluvial settings: Method development and application to the Taquari megafan, Pantanal (Brazil). **Geomorphology**, 82–92p., 2012. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.04.003

CARACTERÍSTICAS LITOESTRUTURAIS E FORMAS DE RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BAGAGEM, REGIÃO DE ROMARIA E ESTRELA DO SUL (MG)

Mendo Amaral de Almeida Neto
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: mendoprado5@hotmail.com
Alan Silveira
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: alan.silveira@ufu.br
Marília Inês Mendes Barbosa
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: mariliabarbosa@ufu.br
Larissa Marques Barbosa de Araújo
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: larissa.marques@ufu.br

Resumo

Este trabalho se concentra na transição do compartimento da Alta para a Média Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem, nos municípios de Romaria e Estrela do Sul, na mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG). Essa região ficou conhecida pelos garimpos de diamantes que se instalaram, no passado, ao longo do Rio Bagagem, mas, hoje em dia, a agropecuária está em franca expansão e se tornou a principal atividade. O objetivo deste estudo foi procurar entender os agentes endógenos envolvidos no modelamento do relevo, com base no mapeamento geológico, ficando nítida a correlação entre características litoestruturais e formas de relevo. As áreas elevadas de topos aplainados e vertentes suaves são sustentadas por terrenos mesozoicos da Bacia Sedimentar do Paraná e Bauru com espessos perfis de alteração. Nas regiões de cotas inferiores, o relevo dissecado apresenta maior densidade e entalhe dos canais fluviais com perfis de alteração menos espessos e rochas neoproterozoicas da Faixa Brasília.

Palavras-chave: Geologia, Morfoestrutura, Morfoescultura.

1. Introdução

O Rio Bagagem, drenagem principal da bacia hidrográfica homônima, é um dos mais importantes afluentes da margem esquerda do Rio Paranaíba (ANA, 2013), no centro-oeste do estado de Minas Gerais. O Rio Bagagem tem marcante relevância histórica para a região, por conta das riquezas diamantíferas de origem aluvionar, que motivaram o surgimento de vilas e povoados no século XVIII, posteriormente elevados à categoria de cidades tais como Romaria e Estrela do Sul (CORTES, 2015). O mítico diamante Estrela do Sul (COELHO, 2010), de matiz rosada e originalmente com 261 quilates, ganhou considerável projeção internacional pela fascinante história de sua descoberta, em 1853 pela escrava Rosa, mas seu paradeiro, depois de lapidado e leiloado, é uma incógnita hoje em dia.

A bacia hidrográfica do Rio Bagagem chama a atenção pela amplitude altimétrica do relevo, tanto nas cartas topográficas quanto nos modelos digitais de elevação (MDE), tornando possível delimitar diferentes unidades geomorfológicas (IBGE, 2009). Conforme Florenzano (2008), o sensoriamento remoto também é uma técnica que permite detectar mudanças de relevo e avaliar os diversos aspectos da paisagem. As imagens de satélite do Google Earth (2019) constituem como boa ferramenta para análise da paisagem, podendo destacar as formas de relevo, a frequência e a densidade de drenagem e o uso e a ocupação da Terra, colaborando para a interpretação e correlação das litologias, estruturas geológicas e solos.

Ao destacar a relação da Geomorfologia com outras ciências, Penteado (1983) destaca o papel da descrição dos elementos tectoestáticos e litológicos e à reconstituição dinâmica, para precisar o estilo tectônico e as etapas da sua evolução, sendo indispensável para compreender a disposição da rede hidrográfica e as condições particulares da erosão diferencial. Ross (1990), referindo-se a Penck (1953), sobre as forças concomitantes geradoras do relevo, indica que as forças endógenas se revelam através do processo ativo comandado pela dinâmica da crosta terrestre e pela resistência da litologia e arranjo estrutural frente a ação dos processos exógenos.

Este trabalho é parte do projeto institucional voluntário de iniciação científica (PIVIC), durante o qual foi realizado o mapeamento geológico e pedológico de toda a extensão da bacia hidrográfica do Rio Bagagem. Durante o trabalho de campo dessa pesquisa, ficou evidente a relação entre as formas de relevo e as litologias aflorantes, assim como seus solos resultantes, que ocorrem no âmbito dessa bacia hidrográfica.

Deste modo, este trabalho diz respeito aos dados obtidos no mapeamento geológico da bacia hidrográfica do Rio Bagagem, levando em consideração as relações de campo entre os aspectos geomorfológicos e litoestruturais, na média bacia do Rio Bagagem, entre as cidades de Romaria e Estrela do Sul.

2. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Bagagem está localizada no centro-oeste do estado de Minas Gerais, e inserida na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. A história da região está ligada à extração de diamantes em garimpos, mas o foco atual é a agropecuária, principalmente com cultivo de café e grãos (CORTES, 2015).

A bacia hidrográfica do Rio Bagagem drena aproximadamente 1.344 Km2, e o canal principal percorre cerca de 111 Km (REIS *et al.*, 2017). As nascentes do Rio Bagagem estão situadas no município de Patrocínio e a foz localizada em Grupiara, desaguando no reservatório da Usina Hidroelétrica de Emborcação. Nesse percurso, o Rio Bagagem tem área drenada nos municípios de Irai de Minas, Nova Ponte, Romaria, Monte Carmelo, Estrela do Sul e Cascalho Rico.

Com o intuito de tornar mais clara a exposição dos dados, a bacia hidrográfica do Rio Bagagem (Figura 1) foi dividida nos segmentos Alta, Média e Baixa Bacia. Vale ressaltar que este trabalho trata da bacia hidrográfica entre as cidades de Romaria e Estrela do Sul, abrangendo a transição da Alta para a Média Bacia.

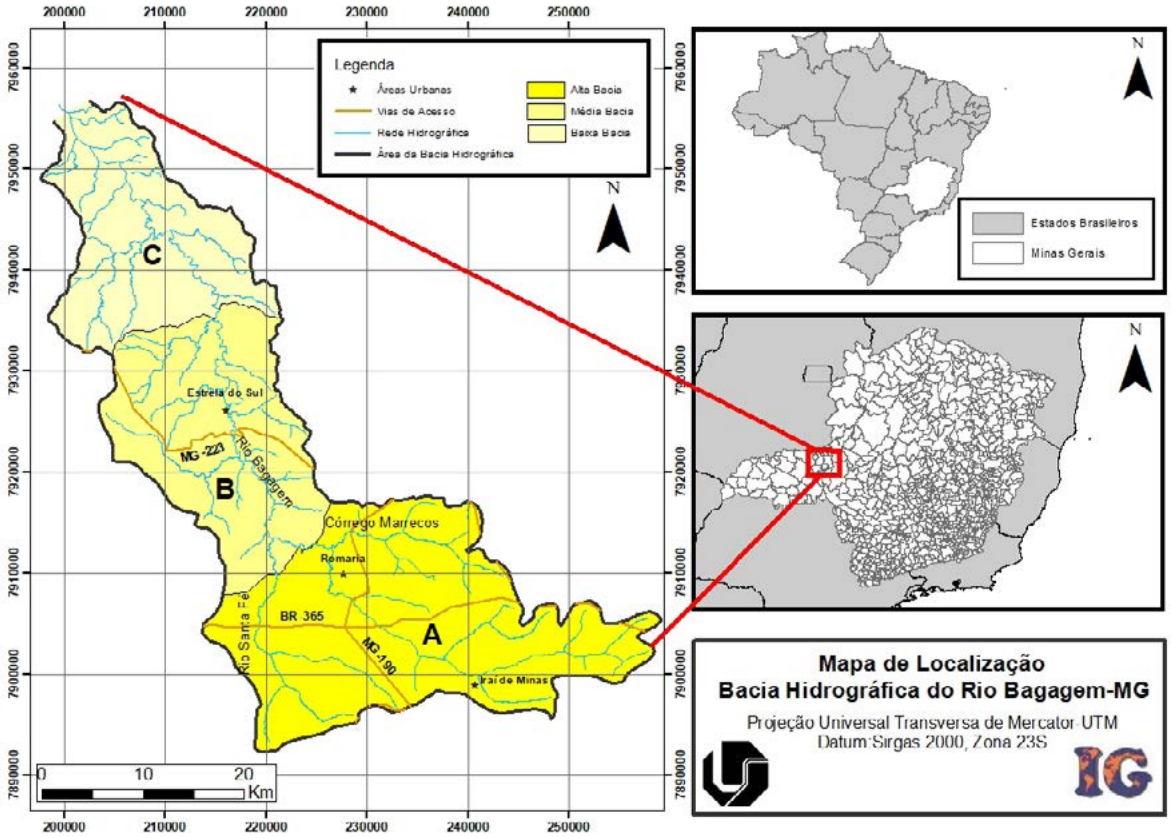


FIGURA 1: Mapa de Localização e Vias de Acesso à Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem, no Centro-Oeste do Estado de Minas Gerais. Setor **A**: Alta Bacia, Setor **B**: Média Bacia, Setor **C**: Baixa Bacia. Fonte: Compilado e extraído do IBGE (2019) e modificado pelos autores.

O arcabouço geológico (CODEMIG, 2017) da hidrográfica do Rio Bagagem compreende domínios morfoestruturais com idades contrastantes (Figura 2). A Alta Bacia corre em terrenos da Bacia Bauru, que se instalou, no Cretáceo Superior, na Bacia do Paraná. Já a Média e Baixa Bacias estão no segmento meridional da Faixa Brasília, reunindo rochas do Neoproterozoico. Depósitos cenozoicos ocorrem nas planícies e coberturas detrito-lateríticas encontradas nas cotas mais elevadas da Alta e Média Bacia.

A Faixa Brasília (ALMEIDA *et al.*, 1977) é um cinturão de dobramentos neoproterozoicos, com escamas tectônicas empurradas para leste, em direção à margem ocidental do Cráton São Francisco (ALMEIDA, 1967). Apesar da complexidade do setor meridional dessa Faixa Móvel podem ser encontrados terrenos geológicos do Ortognaisse Goiandira, Grupo Araxá, Complexo Monte Carmelo e Suíte Granítica Estrela do Sul.

As principais litologias do Ortognaisse Goiandira, conforme Klein (2008), são biotita-muscovita gnaisses inequigranulares de granulação média e grossa, porfiroblásticos, com enclaves anfibolíticos e feições migmatíticas. A área de ocorrência está restrita à porção oeste na Média e Baixa Bacia. O Grupo Araxá (SEER, 1999) pode ser encontrado nos vales das drenagens, com ocorrência expressiva em áreas elevadas na porção central da Média Bacia e setor leste

da Baixa Bacia. Via de regra, rochas do Grupo Araxá estão intemperizadas, mostrando colorações avermelhadas a rosadas, compostos por xistos finos com muscovita, por vezes com granada. São frequentes intercalações de anfibolitos nos xistos e, em menor proporção, rochas ultramáficas. Rochas do Complexo Monte Carmelo (SEER *et* al., 2007) têm ocorrência restrita no segmento leste da Baixa Bacia. São granitos e gnaisses graníticos equigranulares a porfiríticos, de coloração esbranquiçada, por vezes com xenólitos de anfibolito. Os plutonitos da Suíte Granítica Estrela do Sul (SEER e MORAES, 2013) têm ocorrência localizada na Média e Baixa Bacia, como pequenas intrusões no Grupo Araxá. São granitos a duas micas homogêneos, equigranulares, de cor cinza clara, muitas vezes com pegmatitos ricos em turmalina.

Vale ressaltar que, referente a um período geológico mais recente, sedimentos do Neocretáceo foram desvinculados da Bacia Sedimentar do Paraná (MILANI, 1997), constituindo a Bacia Bauru (FERNANDES e COIMBRA, 1996), conforme esclarecimentos de Milani *et al.* (2007).

Deste modo, rochas do Cretáceo Inferior da Bacia Sedimentar do Paraná constituem uma sequência que reúne as Formação Botucatu e Serra Geral, que compõem o Grupo São Bento (BARBOSA *et al.*, 1970). A sedimentação do Cretáceo Superior é representada pela Formação Marília do Grupo Bauru (BARCELOS, 1984) da bacia homônima.

A Formação Botucatu (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998) é composta por arenitos avermelhados, selecionados, com grãos arredondados de quartzo, exibindo estratificação cruzada de pequeno a médio porte, localmente silicificados. Esses arenitos ocorrem em fundos de vale na Média Bacia e, em cotas elevadas, como *intertrap* intercalado ao basalto da Formação Serra Geral na Média Bacia. Os derrames da Formação Serra Geral (TURNER *et al.*, 1994) sustentam as chapadas da bacia do Rio Bagagem, mas também encontrados em leitos de drenagens. São rochas que exibem textura afanítica, granulação fina e constituídas basicamente por piroxênios e plagioclásios. A Formação Marília (FERNANDES e COIMBRA, 1996) mostra arenitos de granulometria fina a média, imaturos, maciços a estratificados, com conglomerado clasto-suportados na base da sequência. As rochas estão presentes nos topos e vertentes da Alta e Média Bacia, com ocorrência expressiva na porção oeste da Baixa Bacia.

Coberturas Detrito-Lateríticas Coluvionares ocorrem nos altiplanos dos interflúvios na Alta e Média Bacia, podendo ter couraças ferruginosas e cascalheiras de quartzo associado (CPRM, 2014).

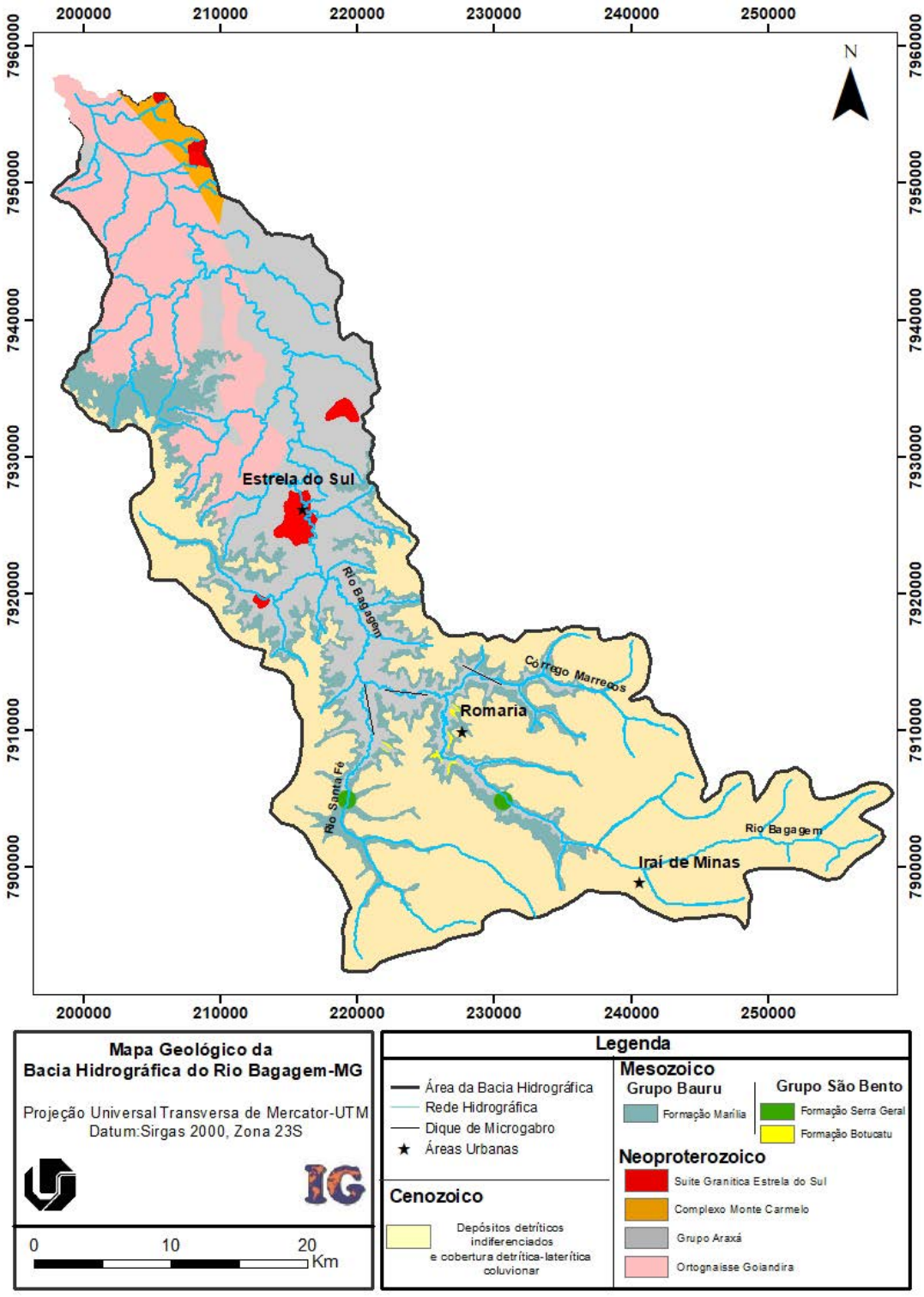


FIGURA 2: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem, no Centro-Oeste do Estado de Minas Gerais. Fonte: Compilado e extraído da CPRM (2014) e CODEMIG (2017), e modificado pelos autores.

3. Metodologia

O método convencional de mapeamento geológico (LISLE *et al.*, 2014) foi adotado neste trabalho de pesquisa sobre a bacia hidrográfica do Rio Bagagem, e dividido basicamente em três etapas consecutivas.

Na primeira etapa do trabalho foi reunido o maior número de informações sobre a área, tais como imagens de satélite (*Google Earth*, 2019), cartas topográficas do Ministério do Exército (ME, 2020) e mapas temáticos (CPRM, 2014; CODEMIG, 2017), estes últimos em escala 1:100.000. De posse dessas informações foram reconhecidas as vias de acesso, rios e córregos, áreas vegetadas e, principalmente, as feições de relevo que sobressaem do ponto de vista morfológico. A base bibliográfica consistiu de pesquisa dos trabalhos técnicos anteriores, visando o atual estágio de conhecimento da região. Nessa mesma etapa foi gerado, ainda, um produto cartográfico com a definição dos pontos de interesse para auxiliar nas etapas subsequentes do trabalho de campo propriamente dito.

Na etapa de campo foi realizado o mapeamento geológico tradicional, também observando a geomorfologia e a pedologia com estabelecimento dos pontos de interesse em coordenadas geográficas por GPS (*Global Positioning System*), compatível com as imagens de satélite do *Google Earth* (*Datum WGS-84*). Na descrição dos afloramentos rochosos ou, na ausência destes, dos solos, levou-se em conta os principais aspectos macroscópicos (mineralogia, petrografia e estruturas). Quando possível, registradas as medidas estruturais dos afloramentos (foliação metamórfica, fraturas, lineação mineral, eixo de dobras, etc.) e, eventualmente, coletadas amostras de rochas e solos. Fotografias panorâmicas, com ênfase nas feições geomorfológicas, e de detalhe dos afloramentos, rochas, minerais e solos foram registradas nesta etapa de campo.

Na última etapa do trabalho, a localização de cada ponto estudado foi transferida para a base cartográfica e anotadas as atitudes das camadas de acordo com as diferentes litologias reconhecidas em campo. Foi possível estabelecer, com base nessas informações, os contatos geológicos e estruturas para elaboração do mapa geológico-estrutural da bacia hidrográfica do Rio Bagagem. Por fim, os resultados obtidos foram reunidos e organizados em relatório técnico em elaboração, mas já ficou evidente a correlação entre os tipos litológicos e as formas de relevo.

4. Resultados e Discussões

Como mencionado anteriormente, a bacia hidrográfica do Rio Bagagem foi dividida nos segmentos Alta Bacia (A), Média Bacia (B) e Baixa Bacia (C). O limite entre a Alta Bacia e Média Bacia é marcado, do ponto de vista morfoestrutural, pela transição entre a Bacia Sedimentar do Paraná e a Faixa de Dobramentos Brasília. Já do ponto de vista morfoescultural, a partir de escarpas acentuadas, transitam dos Planaltos Tabulares em valores altimétricos mais elevados para os Planaltos Dissecados em cotas inferiores.

A Alta Bacia do Rio Bagagem (Figura 3) corresponde aos terrenos cenozoicos da cobertura detrito-laterítica e da sequência de rochas vulcânicas e sedimentares mesozoicas, onde mostra reduzida densidade drenagem e extensos interflúvios, com drenagens, por vezes, em padrão retilíneo que acompanham a estruturação geral regional, na direção NW-SE e subordinados lineamentos NE-SW.

Essa Alta Bacia do Rio Bagagem exibe feições de chapada com topo aplainado e vertentes extensas (Figura 3A) com reduzidas declividades que se dirigem aos canais fluviais, frequentemente marcados pela presença de veredas, que estão posicionadas em cabeceiras de drenagem (em vales) ou nas margens fluviais.

Ainda com relação à Alta Bacia, afloram rochas sedimentares da Formação Marília, como arenitos e conglomerados, muito provavelmente pertencentes ao Membro Serra da Galga. Na zona rural de Romaria (bairro Pachecos), na base da Formação Marília (Figura 3 B), ocorrem conglomerados com matriz arenosa ferruginosa e clasto-suportados de seixos e blocos de diversas litologias (basalto, xisto, granito e gnaisse). Sobrejacentes, os arenitos da Formação Marília são imaturos, constituídos por grãos de quartzo, feldspatos alterados para caulinita e opacos ferruginosos, mostrando colorações esbranquiçadas a avermelhadas, granulometria fina à média, exibindo, muitas vezes, acamamento plano-paralelo. Esses arenitos ocorrem também na Alta Bacia onde estão situadas as nascentes do Rio Bagagem, no município de Iraí de Minas (Figura 3C).

No leito dos canais fluviais do Rio Bagagem (Figura 3D) e Rio Santa Fé (Figura 3E) foram encontrados afloramentos das rochas basálticas da Formação Serra Geral. Esses basaltos têm coloração escura, por vezes esverdeada, mostram granulação fina e textura afanítica, sendo possível reconhecer cristais de piroxênios e plagioclásios, e apresentam forte magnetismo (magnetita e/ou ilmenita) e muito frequentemente mostram faturamento ortogonal (Figura 3F). Importante destacar o papel dos basaltos como níveis de base, considerando a resistência da litologia frente ao entalhe da drenagem.

Afloramentos da Formação Botucatu ocorrem tanto na Alta como na Média Bacia. Os arenitos que afloram na localidade de Pachecos, em Romaria, são bimodais com grãos de quartzo de alta esfericidade, foscos e recobertos por película ferruginosa, conferindo à rocha uma coloração avermelhada. Estratificações cruzadas de médio a grande porte são nítidas e frequentes (Figura 3G). No Morro Vermelho, no município de Estrela do Sul, foram encontrados arenitos estratificados da Formação Botucatu que ocorrem na forma de *intertraps* intercalado ao basalto da Formação Serra Geral que, neste local, estão bastante alterados, mas possível reconhecer resquícios de vesículas ou amígdalas.

Na intersecção da Alta com a Média Bacia do Rio Bagagem (Figura 4), principalmente na região de Romaria, observa-se o contato geológico do tipo não conformidade, do terreno sedimentar com o embasamento cristalino. Na Média Bacia foram encontradas as maiores diferenças dos valores altimétricos entre o topo do relevo e fundo de vale (Figura 4A e 4B). É nítida a mudança do relevo que passa a ser dissecado, com interflúvios mais estreitos e canais encaixados, por vezes com corredeiras. É nessa área que a drenagem transita da Bacia Sedimentar do Paraná para a Faixa Brasília.

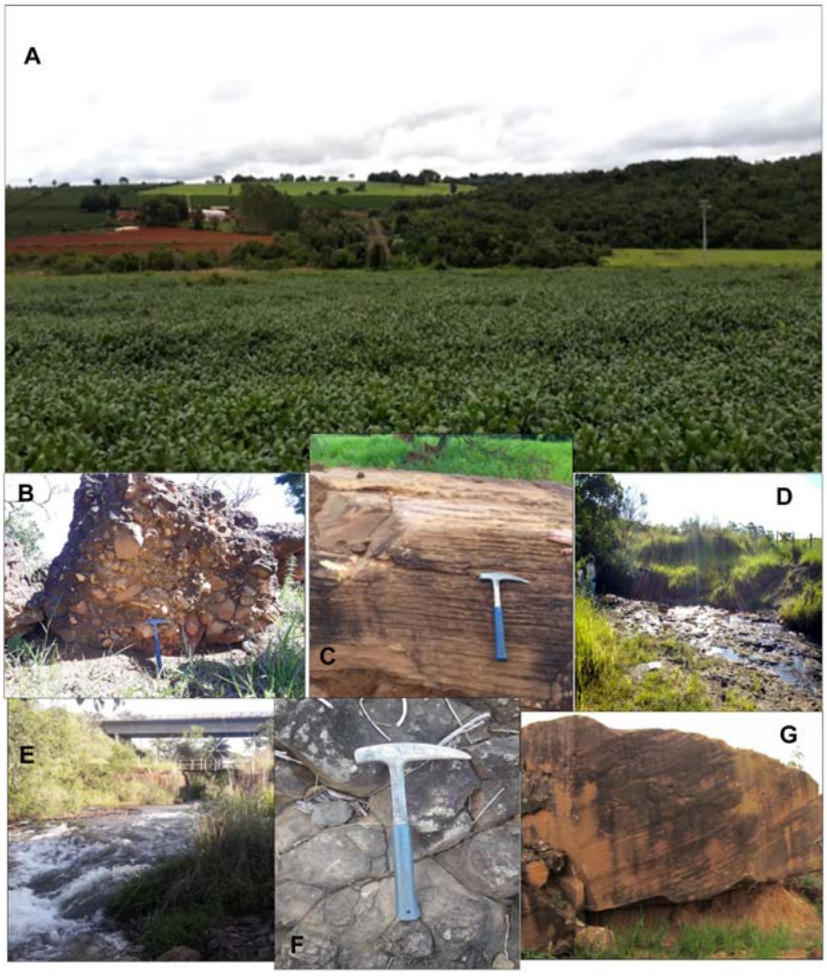
Com estruturação geral NW-SE, os metamorfitos do Grupo Araxá é uma unidade geológica de considerável distribuição espacial no âmbito do Rio Bagagem, predominando na Média e Baixa Bacia, embora também encontrada de forma mais restrita em fundos de vales na Alta Bacia. O Grupo Araxá mostra uma variedade de litotipos com predomínio de muscovita xistos de granulação fina e coloração cinza (Figura 4C e 4D), mas frequentemente avermelhados em função do avançado estágio de intemperismo. Os xistos exibem marcante foliação metamórfica, muitas vezes com forte mergulho para sul, e são frequentes intercalações de faixas máficas e subordinadas ultramáficas. As intercalações máficas (Figura 4E) mais comuns são corpos foliados de anfibolitos escuros a levemente esverdeados, granulação variando de média à grossa e constituídos principalmente por anfibólios e plagioclásios. As rochas ultramáficas ocorrem de modo restrito na Média Bacia, formando faixas estreitas fortemente foliadas, constituídas por clorita xistos e anfibólio xistos.

Na Média Bacia, no município de Romaria, as instalações do balneário do Córrego Marrecos (Figura 4F) estão sobre um dique de microgabro de granulação fina, textura ofítica, constituído principalmente por piroxênios e plagioclásios, e

forma uma pequena queda d'água. Também foram encontrados diques básicos no leito do canal do Rio Bagagem e do Rio Santa Fé, desenvolvendo corredeiras e pequenas cachoeiras.

Corpos graníticos intrusivos no Grupo Araxá concentram-se na interface da Média para Baixa Bacia do Rio Bagagem, nas imediações da cidade de Estrela do Sul. Trata-se da Suíte Granítica Estrela do Sul que compreende granitos a duas micas (muscovita e biotita), de modo geral com textura equigranular, granulação média e coloração cinza claro. Pegmatitos ricos em turmalina negra (schorlita) frequentemente estão associados a esses corpos graníticos.

Depósitos indiferenciados e coberturas detrito-lateríticas podem ser observadas em toda a área da bacia hidrográfica do Rio Bagagem. Geralmente ocorrem nos topos dos interflúvios da Média Bacia, mas principalmente na Alta Bacia sobre as rochas do Grupo São Bento e Bauru. São materiais avermelhados areno-siltosos com grãos de quartzo e óxi-hidróxidos de ferro. Em associação com essas coberturas, podem ser encontradas carapaças lateríticas ferruginosas.



Tais carapaças muitas vezes estão expostas em escarpas dissecadas por canais de primeira ordem que se dirigem à Média Bacia, sustentando feições tabulares típicas da Alta Bacia.

FIGURA 3: Alta Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem, no município de Romaria (MG). **A** – Vista panorâmica do relevo aplainado e colinas suaves; **B** – Conglomerado clasto-suportado da base da Formação Marília, na localidade de Pachecos; **C** – Arenito com estratificação plano-paralela da Formação Marília, na região de Pachecos; **D** – Afloramento de basalto da Formação Serra Geral no



leito do Rio Bagagem; **E** - Basalto da Formação Serra Geral aflorando no canal do Rio Santa Fé; **F** – Fraturamento em basalto da Formação Serra Geral no Rio Santa Fé; **G** – Arenito com estratificação cruzada de médio porte da Formação Botucatu, na região de Pachecos.
Fonte: Autores (2019).

FIGURA 4: Média Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem, entre Romaria e Estrela do Sul. **A** – Vista panorâmica mostrando relevo dissecado; **B** – Vale encaixado em terrenos do Grupo Araxá; **C** – Muscovita xisto do Grupo Araxá nas imediações do Morro Vermelho; **D** – Muscovita xisto do Grupo Araxá nas proximidades do Rio Bagagem; **E** – Corredeira em dique de microgabro no Córrego Marrecos. **F** – Faixa de anfibolito intercalado no xisto do Grupo Araxá. Fonte: Autores (2019).

5. Considerações Finais

O mapeamento da bacia hidrográfica do Rio Bagagem foi desenvolvido com o intuito de contribuir para o conhecimento da geologia, associando os solos resultantes, uma vez que se trata de região que tem a agricultura intensiva como sua principal atividade, e durante os trabalhos de campo ficou nítida a relação entre a morfologia do relevo e os vários litotipos aflorantes.

O fator mais desafiador no desenvolvimento do trabalho na bacia hidrográfica do Rio Bagagem foi, sem dúvida, a complexidade geológica da região, que aliada às formas de relevo possibilitaram, por vezes, aferir ou inferir os litotipos. Assim, foi possível estabelecer uma clara correlação entre a geologia e a geomorfo-

logia, com delimitação das unidades morfoestruturais em escala de maior detalhe (limite Bacia Sedimentar - Faixa Móvel), a partir das formas de relevo.

As nascentes do Rio Bagagem estão situadas no Planalto Tabular, sustentado por chapadas com solos espessos e usados amplamente para o cultivo de café e grãos, com amplo uso de irrigação. Esses terrenos englobam sequência de rochas basálticas e sedimentares da Bacia do Paraná e os sedimentos da Bacia Bauru, ambas do Cretáceo, além de coberturas cenozoicas detrito-lateríticas.

A Média e Baixa Bacia do Rio Bagagem correm em terrenos do Planalto Dissecado, cujo relevo apresenta topos convexos com vertentes mais íngremes de onde partem abundantes drenagens e desenvolvem solos rasos com utilização mista, tanto para a agricultura como pecuária, além das áreas destinadas às reservas legais. Englobam terrenos proterozoicos de diferentes idades da Faixa de Dobramentos Brasília, compreendendo Ortognaisses Goiandira, metamorfitos do Grupo Araxá, Complexo Monte Carmelo e Suíte Granítica Estrela do Sul.

Agradecimentos

Este artigo é parte dos trabalhos desenvolvidos no Projeto de Institucional Voluntária de Iniciação Científica da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Agradecimentos aos moradores do entorno do Rio Bagagem, precisos nas indicações de relevância na região.

Referências

ALMEIDA, F. F. M. de Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, **DNPM/DGM**. Boletim 241, 36 p. 1967.

ALMEIDA, F. F. M. de; CARNEIRO, C. D. R. Botucatu: o grande deserto brasileiro. São Paulo: **Ciência Hoje**, 24 (143):36-43. 1998.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977. ***Atas...***Campina Grande, SBG, 1977. p. 363-391.

ANA **Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba CBH-AMAP**. Plano de Ação dos Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba. Brasília, 2013. 189 p.

CODEMIG Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Cartas Geológicas: Folha Catalão (SE.23-Y-A-I), Estrela do Sul (SE.23-Y-A-IV), Nova Ponte (SE.23-Y-C-I.) e Perdizes (SE.23-Y-C-II). Departamento de Serviço Geográfico, Belo Horizonte, 2017. Escala 1:100.000.

CPRM Carta Geológica: Folha Monte Carmelo (SE.23-Y-A-V). Gerência de Relações Institucionais e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 2014. Escala 1:100.000.

COELHO, F. de M. **Aspectos geológicos e mineralógicos da mina de diamantes de Romaria, Minas Gerais**. 2010, 105 f. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo. 2010.

CORTES, J. P. S. Interpretação aerogeofísica, geológica e estrutural na bacia hidrográfica do rio Bagagem (MG). In: I SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ÁGUAS, SOLOS E GEOTECNOLOGIAS - SASGEO, Uberaba. ***Anais...*** 2015.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e Evolução Geológica da Parte Oriental da Bacia Bauru**. São Paulo. 1998. 216 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo.1998.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). São Paulo: **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 717-728. 2000.

FERREIRA, I. L.; BACCARO, C. A. D. **Mapeamento Geomorfológico do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba**. Relatório

FAPEMIG / UFU. Uberlândia. Agosto de 2000.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 320 p.

GOOGLE EARTH. Disponível http://www.kh.google.com. Acesso em 2019.

KLEIN, P. B. W. **Geoquímica de rocha total, geocronologia de U-Pb e geologia isotópica de Sm-Nd das rochas ortognáissicas e unidades litofaciológicas associadas da região de Ipameri – Catalão (Goiás)**. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, 155 p. 2008.

IBGE **Manual Técnico de Geomorfologia.** 2a ed. Rio de Janeiro. 2009. 182p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf

IBGE **Geociências**: organização do território/malhas territoriais. Acesso 2019: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html/15774-malhas.html?=&t=downloads

LISLE, R. J.; BRABHAM, P. J.; BARNES, J. W. **Mapeamento geológico básico: guia geológico de campo**. 5a ed., Porto Alegre: Ed. Bookman. 248 p. 2014.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. 1997. 2 v. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G. de; SOUZA, P. A. de; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. Rio de Janeiro: **Bol. Geociências Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265-287, maio/nov. 2007.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO Diretoria de Serviços Geográficos Cartas Topográficas: Folha de Catalão (SE-23.Y.A.I), Estrela do Sul (SE-23.Y.A.IV), Monte Carmelo (SE-23.Y.A.V), Nova Ponte (SE-23.Y.C.I) e Perdizes (SE-23.Y.C.II). Departamento de Serviço Geográfico, Belo Horizonte, 1973. Escala 1:100.000.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Pedologia**. 2a. ed., Rio de Janeiro: IBGE. 186 p. 1983.

REIS, L. N. G.; MARTINS, M. T.; ROSA, D. A. Mapeamento Multitemporal da Bacia do Rio Bagagem-MG. *In*: XIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, Tupã. ***Anais...*** Tupã, v. 13. p. 115-130, 2017.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo: Edusp. n. 6, 17-30p. 1992.

SEER, H. J. **Evolução tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Araxá, Minas Gerais**. 1999. 267 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UNB, Brasília. 1999.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. **Within plate, arc, and collisional Neoproterozoic granitic magmatism in the Araxá Group, Southern Brasília belt, Minas Gerais, Brazil**. Brazilian Journal of Geology, 43, p. 333-354. 2013.

SEER, H.J.; MORAES, L. C.; CARNEIRO, A. C. B. Geologia e deformação do Grupo Araxá na região de Estrela do Sul-Monte Carmelo-Abadia dos Dourados, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 14, Diamantina: **Livro de Resumos**, p. 44-44. 2007.

SEER, H. J.; BROD, J. A.; FUCK, R. A.; PIMENTEL, M. M.; BOAVENTURA, G. R.; DARDENNE, M. A. O Grupo Araxá em sua área tipo: um fragmento de crosta oceânica neoproterozoica na Faixa de Dobramento Brasília. São Paulo**: Rev. Bras. Geociências**, 31 (3): 385-396. 2001.

TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M. **Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision 40Ar-39Ar geochronology**. Earth and Planetary Science Letters, 21: 333–348. 1994.

UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENNE, M. A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional. **Geonomos**, 20 (2): 1-14. 2012.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DO PANTANAL DE CÁCERES – MATO GROSSO

Thales Ernildo de Lima
Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat
Av. Tancredo Neves, 1095 - Cavalhada III -78217-900
E-mail: lima.thales@outlook.com
Cristiane da Silva Lima
Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat
Av. Tancredo Neves, 1095 - Cavalhada III -78217-900
E-mail: cristiane-silva89@hotmail.com
Celia Alves de Souza
Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat
Av. Tancredo Neves, 1095 - Cavalhada III -78217-900
E-mail: celiaalvesgeo@globo.com

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar a geologia e geomorfologia do Pantanal de Cáceres, ou seja, a sua estrutura interna (base) com as formas externas do relevo no Pantanal de Cáceres – Mato Grosso. foi realizado levantamento ambiental dos condicionantes ambientais geológicos, geomorfológicos, utilizando referencias como mapeamento do projeto CRPM (geodiversidade). A litologia predominante é Formação Pantanal (61,18%), com fácies depósitos aluvionares. Enquanto a Formação Diamantino ocupa apenas 0,27 km^2. Unidade geomorfológica Planícies e Pantanais mato-grossense predomina no Pantanal de Cáceres, abrangendo 11.371,34 km^2 (91,86). A unidade geomorfológica Planície Fluvial registra menor ocorrência 11,82 km^2 (0,10%).

1. Introdução

O Pantanal, estrutura compreendida com uma área de contato resultado da convergência de quatro grandes domínios, sendo esses a Floresta Amazônica e Atlântica, Cerrado e Chaco (JUNK, 2002), resultado da existência de uma abóboda na região Centro Oeste, que posteriormente cedeu dando "origem à Depressão do Alto Paraguai" (ASSINE, 2010), possui um panorama caracterizado por áreas permanentemente alagadas, áreas de solos alagadiços durante a cheia e que não secam completamente no período de vazante (MORENO; HIGA, 2005) e pela maior floresta inundável do planeta (BIUDES et. Al, 2015; MACHADO et. Al, 2016).

A Depressão do Alto Paraguai é definida por uma feição côncava em "terrenos pré-cambrianos sobre área de fronteira entra Bolívia e Paraguai, à margem noroeste da bacia do Paraná" (ASSINE, 2010). Sobre a perspectiva de planejamento e desenvolvimento regional foi desenvolvido o Plano de Desenvolvimento da Região Centro-Oeste foi proposto ação denominada "Programa Pantanal" que tem como um dos objetivos constituir um plano diretor sobre o uso dos solos no Pantanal, considerando as particularidades das "microrregiões", "após caracterização e zoneamento desta região" (SILVA; ABDON, 1998).

Deste modo, o zoneamento permitiu o desenvolvimento, de acordo com os aspectos fisiomorfologicos e geopolíticos, a delimitação de seis (06) sub-regiões em relação ao regime de inundação sobre o espaço quantificado de todo o Pantanal (SILVA; ABDON, 1998). Deste modo o Pantanal de Cáceres foi difundido pelas suas características: "diferenças na drenagem, o material de origem (rochas calcárias, arenitos, etc), altimetrias, solos, permeabilidade dos solos e vegetação",

Deste modo, o mesmo encontra-se "abrigado entre a Depressão do Alto Paraguai e a Província Serrana, expande-se, depois de superados essas barreiras, até a porção côncava a oeste na fronteira entre Brasil e Bolívia" (BRASIL, 1997), e corresponde a uma:

superfície de acumulação extensa, com topografia predominantemente plana e polco ondulada, sujeita a inundações comandada pelo tronco de drenagem o rio Paraguai. [...] O sistema de inundação caracteriza-se por uma inundação "fraca", que intercorre sobre uma faixa estreita de planície fluvial ao longo do rio Paraguai, com existência de feições flúvio morfológicas, a exemplo de báias, lagoas, barras de sedimentos, canais comaltados, entre outros (SOUZA; LANI; SOUSA, p.37-38, 2009).

De acordo com Souza, Lani e Sousa (2009) a formação deste Pantanal não está vinculada apenas ao processo de inundação, outros elementos contribuem para a origem destes ambientes, que temporariamente estão inundados, a exemplo:

O índice de precipitação pluviométrica, declividade do terreno (inferior 1% / 5 km), litoestrutura local (Formação Pantanal – areias incosolidadas, de granulometria fina a média, intercalada por materiais sílico-argilosos favorecendo maior retenção de água) e características do solo (SOUZA; LANI; SOUSA, p. 38, 2009).

Pelo exposto e por outros trabalhos, a exemplo, Leandro e Souza (2014) que trabalharam os sedimentos de fundo transportados no rio Paraguai, Souza (2004/2012) com estudo sobre a granulometria dos sedimentos e as geoformas ao longo do rio Paraguai entre cidade de Cáceres a Ilha Taimã, Silva *et. Al,*(2012) que apresentaram uma discussão das feições morfológicas do rio Paraguai. Assim, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar a geologia e geomorfologia do Pantanal de Cáceres, ou seja, a sua estrutura interna (base) com as formas externas do relevo no Pantanal de Cáceres – Mato Grosso.

2. Materiais e Métodos

2.1 ***Área de estudo***

A área de estudo caracteriza-se pelo Pantanal de Cáceres inserido no Pantanal-norte que se localiza sobre o limite municipal de Cáceres do Estado de Mato Grosso, converge às áreas húmidas de baixa topografia dos rios Jauru, Paraguai e Corixo Grande. A área total de estudo que corresponde também as nascentes possui uma área de 61.105 km², enquanto que a área correspondente à depressão possui área de 12.379 Km² (Figura 01).

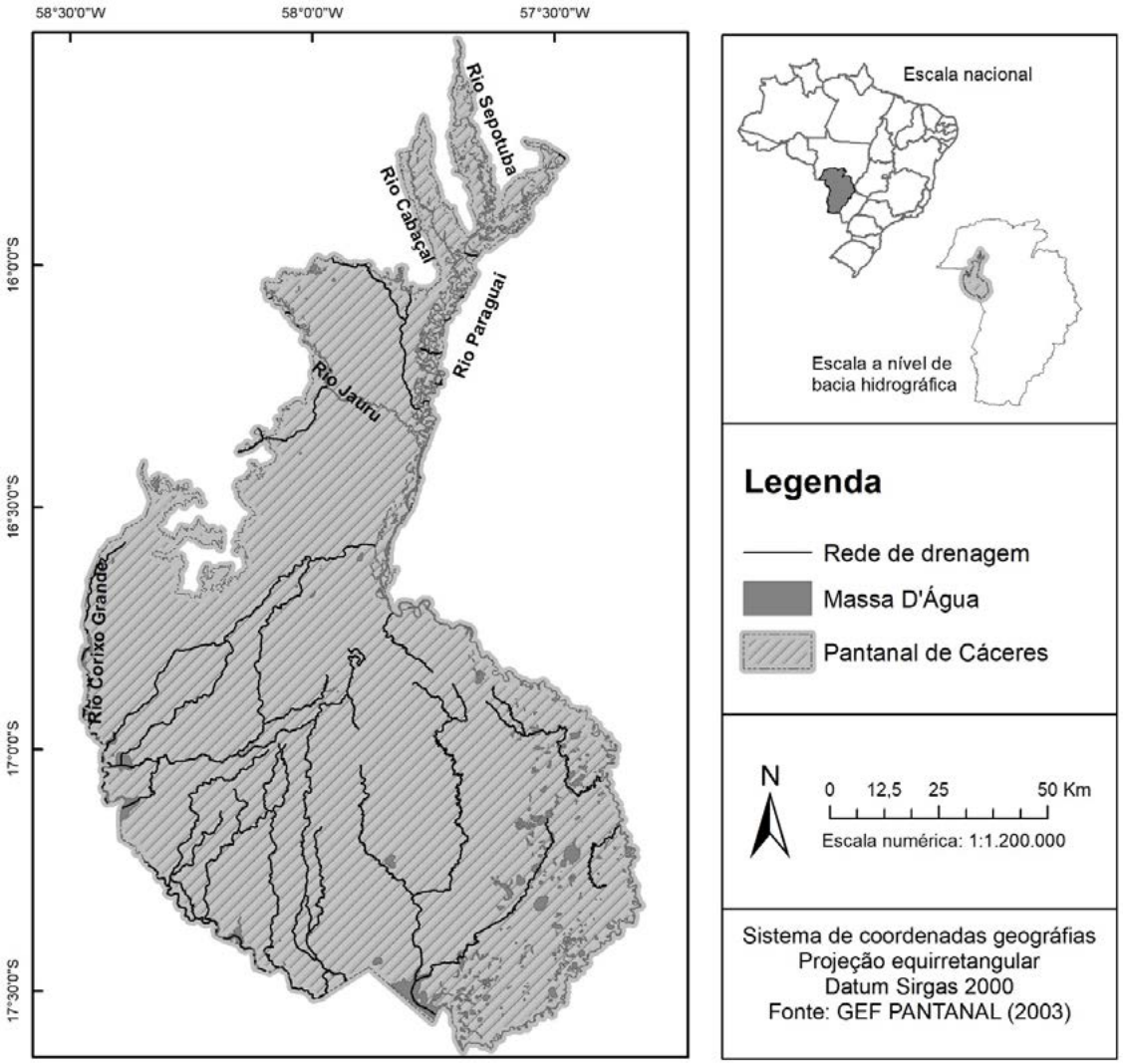


Figura 01: Pantanal de Cáceres no Estado de Mato Grosso.

Este mesmo foi executado em gabinete com levantamento documental e analise de mapas temáticos Marconi e Lakatos (2002) são instrumentos metodológicos para a construção da pesquisa cientifica relacionado "aos fatores relacionados com a pesquisa, ou seja, a natureza dos fenômenos, e/ou problemática.

2.2. Caracterização dos condicionantes ambientais (geológicos, geomorfológicos, solo) na bacia hidrográfica do Paraguai.

Foi realizado levantamento ambiental dos condicionantes ambientais geológicos, geomorfológicos, utilizando referencias como mapeamento do projeto CRPM (geodiversidade), FRANCO E PINHEIRO (1982) e GROSSO (2011).

Geologia: Foi avaliada a geologia pelos dados vetoriais atualizados do CPRM, projeto este denominado de "geodiversidade", definindo a depressão e as planícies de inundação. Esta base de dados corresponde a 1:2.500.000 publicado em 2006, sendo esses dados compilados sobre a da área de estudo.

Geomorfologia: Os dados geomorfológicos serão definidos com base em levantamentos feitos pelo projeto Franco e Pinheiro (1982) sobre escala de 1:1.000.000 e pelos dados vetoriais atualizados do IBGE (geociências) sobre escala de 1:250.000, posteriormente foi definido basicamente duas classes geomorfológicos Planície e Depressão, de onde sucederá toda as análises e produção da pesquisa em questão.

3. Resultados

A caracterização ambiental (Geologia e geomorfologia) surge também para justificar a relação hidrológica do Pantanal-Norte, sua base e estrutura externa lapidada pelo intemperismo físico e químico foram os responsáveis pelas feições morfológicas do rio Paraguai e de sua planície de inundação.

3.1. Geologia

3.1.1. Pantanal de Cáceres

A ocorrência e distribuição das unidades geológicas no Pantanal-norte ocorrem conforme figura 02, apresentada, e tabela 01 abaixo:

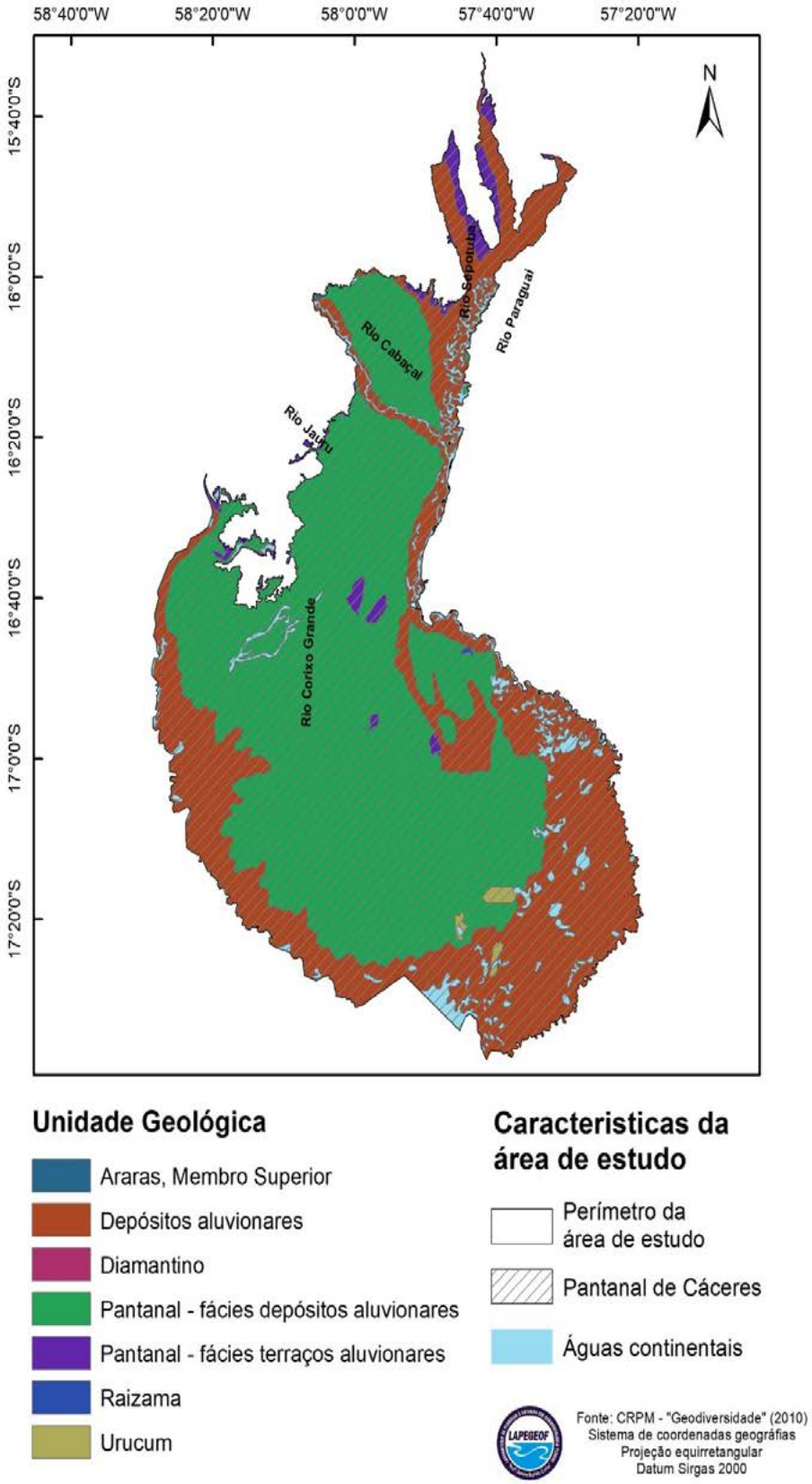


Figura 02: Unidades geológicas do Pantanal de Cáceres.

TABELA 01
Geologia do Pantanal-norte

Eon	Era	Período	Unidade	Área (km²)	Porcentagem (%)
Fanerozoico	Cenozoico	Quaternário	Depósitos aluvionares	4.276,24	36,07
			Formação Pantanal - fácies depósitos aluvionares	7.251,90	61,18
			Formação Pantanal - fácies terraços aluvionares	266,69	2,25
Proterozoico	Superior Grupo Alto Paraguai - Formação Diamantino		Formação Urucum	48,67	0,41
	Grupo Alto Paraguai - Formação Raizama		0,27	0,00	
			5,35	0,05	
	Neoproterozóico		Araras, Membro Superior	4,68	0,04

Fonte: MORAES (2010) e GROSSO (2011).

A extensão dos Depósitos aluvionares sua composição litológica corresponde a uma área de 4.276,24 km² referente a 36,07%, caracterizando-se por areia, silte, cascalho, argila; classificado também como materiais superficiais. Sua origem está associada ao Domínio dos sedimentos Cenozóicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso. Está unidade apresenta ambiente de planície aluvionar recente - Material inconsolidado e de espessura variável que da base para o topo é formado por cascalho, areia e argila. Deste modo, estes depósitos não apresentam deformações ou fraturas, apenas o aspecto Anisotrópica Estratificada, com porosidade alta (> 30%), classificado com declividade nula e forma do relevo por Planícies fluviais ou flúvio-lacustres.

A unidade geológica denominada Formação Pantanal (fáceis depósitos aluvionares), consiste em materiais superficiais compostos por Argila, Areia e Silte. Caracteriza-se por domínio dos sedimentos Cenozóicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso; e pelo ambiente flúvio-lacustre. Predomínio de sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilosas, ocasionalmente com presença de turfa. Não possui dobramentos ou fraturas, com aspecto Anisotrópica Estratificada, sua porosidade é alta (>30%) com forma denominada de terraços fluviais com declividade de 0 a 3 graus. Compõe dominantemente todo o Pantanal de Cáceres com 61,18% da área equivalente a 7.251,90 km².

Com apenas 266,69 km² o equivalente a 2,25%, a Formação Pantanal (fácies terraços aluvionares) apresenta Argila, Areia, Silte, Sedimento detrito-laterítico, Laterita. Classificado como materiais superficiais. Possui domínio dos sedimentos Cenozóicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso, do mesmo modo que apresenta ambiente de terraços aluvionares - Material inconsolidado a semi-consolidado e de espessura variável que da base para o topo é formado por cascalho, areia e argila. Não apresenta deformações tectônicas ou fraturas, apresenta aspecto Anisotrópica Estratificada e porosidade alta (>30%). Esta unidade apresenta a menor declividade (0 – 3 graus) e sua forma é conhecido por terraços fluviais.

A Formação Urucum de classificação sedimentar, apresenta materiais como Grauvaca, Arenito, Conglomerado e Siltito. Caracteriza-se por domínio das coberturas Sedimentares Proterozóicas, não ou muito pouco dobradas e metamorfizadas. Caracterizadas por um empilhamento de camadas horizontalizadas e sub-horizontalizadas de várias espessuras, de sedimentos clasto-químicos, possuindo em sua unidade predomínio de sedimentos arenosos e conglomeráticos, com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos. Não possui dobramentos ou fraturas, de aspecto Anisotrópica Acamadada com intemperismo físico e químico moderado a alto, possui alta porosidade (>30%) de textura predominantemente arenosa. Sua baixa declividade (0 a 5 graus) caracterizam superfícies aplainadas conservadas. Sua representação na área de estudo é pequena, com área equivalente a 48,67 km² representando 0,41% do Pantanal-norte.

Apresentando apenas área 0,27 km² o equivalente a 0%, ou seja, esta área é apenas um resíduo das áreas montantes ao Pantanal de Cáceres, a Formação Diamantino caracteriza-se por litologia Folhelho, Argilito, Siltito, Arcóseo; corresponde a classe sedimentar por domínio das sequências sedimentares Proterozóicas dobradas, metamorfizadas em baixo grau a médio grau. Corresponde também a predominância de metassedimentos síltico-argilosos, com intercalações de metagrauvacas. Este configura-se com deformação tectônica intensamente dobrado, do mesmo modo que intensamente fraturado. Possui aspecto Anisotrópica Acamadada/Filitosa possui indo baixa a alta intemperismo físico e químico na vertical. Apresenta textura predominantemente argilo-síltico-arenoso com porosidade variável (0 a >30%), possuindo relevo com superfícies aplainadas retocadas ou degradadas e declividade de 0 a 5 graus.

Subsequentemente, a Formação Raizama é composta por Arenito, Siltito, Arcóseo, Argilito e Conglomerado, também classificado como sedimentar, predomina sequências sedimentares Proterozóicas dobradas, metamorfizadas em baixo grau a médio grau. Da mesma maneira, a unidade geológica possui Metarenito, quartzitos e metaconglomerados, com deformações tectônicas pouco a moderadamente dobrada e fraturada com aspecto Anisotrópica Xistosa. O processo de intemperismo físico e químico é moderado a alto. A textura desta formação é predominantemente arenosa com porosidade alta (>30%) com declividade 25 - 45 graus, localmente 60 – 90, seu relevo denomina-se domínio montanhoso. A Formação Raizama também se encontra em (0,05%) do Pantanal de Cáceres, equivalente a 5,35 km².

A Litofácies da unidade Araras, membro superior, que se encontra no perimétrico do Pantanal de Cáceres ocupando 0,04% o equivalente a 4,68 km² da área pantaneira, possui Dolomito, Argilito, Arenito, Silexito, Siltito como característica litológica, de classe sedimentar. Possui domínio das sequências sedimentares Proterozóicas dobradas, metamorfizadas em baixo grau a médio grau, com predomínio de metacalcários, com intercalações subordinadas de metassedimentos síltico-argilosos e arenosos. Possui deformação de dobramentos intensos, do mesmo modo que possui intensas fraturas. Seu aspecto corresponde a Anisotrópica Acamadada, com intemperismo físico e químico baixo, de texturas predominantemente argilosas, porosidade baixa (0 – 15%), com declividade entre 15 a 35 graus, proporcionando, também, o domínio de morros e serras baixas.

3.2. Geomorfologia

A Geomorfologia da área de estudo correspondente a uma vasta área de terras baixas, correspondendo a Depressão do Rio Paraguai, Planície Fluviolacustre, Planície Fluvial e Planícies e Pantanais mato-grossense, Terraço Fluvial.

Cada unidade acima apresentada foi levantada é descrita por Franco e Pinheiro (1982) nas folhas SD-21-Cuiabá e SE-21-Corumbá. Exposto o contexto, a Geomorfologia do Pantanal de Cáceres caracteriza-se por (Tabela 02):

TABELA 02

Unidades Geomorfológicas

Pantanal de Cáceres		
Unidades	Área (km²)	Porcentagem (%)
Águas Continentais	244,92	1,98
Depressão do Rio Paraguai	306,88	2,48
Planície Fluvial	11,82	0,10
Planícies e Pantanais Mato-Grossense	11.371,34	91,86
Terraço Fluvial	444,26	3,59

Fonte: Adaptado de Franco e Pinheiro (1982).

3.2.1. Depressão do Rio Paraguai

Segundo Franco e Pinheiro (1982) localiza-se sobre o contato da Serra Tapirapuã a norte, a noroeste com o Planalto dos Parecis e a Serra do Roncador, com a Província Serrana a leste alongando-se a oeste até as áreas denominadas de interfluviais junto ao médio curso dos tributários (Jauru, Bagres e Aguapeí) do rio Paraguai. Abrange área de 306,88 km², ou seja, 2,48% no Pantanal de Cáceres.

Compreende extensas áreas rebaixadas e drenadas pelos afluentes do Alto curso do rio Paraguai, apresenta diferenças nas feições por região caracterizando diferentes altimetrias. Entende-se, também, sobre o recorte da área de estudo, como superfície de relevo pouco dissecado com baixa declividade de norte a sul se estendendo a oeste, possui altimetria de 120 a 300 metros (FRANCO E PINHEIRO, 1982).

Sua forma erosiva é entendida por Pediplano inundado, ou seja, possui superfície aplanada produzida por processos de pediplanação, posteriormente essa mesma área foi coberta por sedimentos quaternários. É também característica, formas de dissecação por topo convexo, com diferentes ordens de grandeza e aprofundamento de drenagem com separação pela presença de vales de fundo plano. Do mesmo modo que apresenta, formas tabulares com relevos no topo aplanado, possuindo ainda drenagem com diferentes ordens de grandeza e aprofundamento, separados por vales de fundo plano (FRANCO E PINHEIRO, 1982).

3.2.5. Planície Fluviolacustre e Planícies e Pantanais mato-grossense

Possui formas de acumulação inundáveis com características de aplanadas com ou sem cobertura arenosa, anualmente possui sistema periódico ou permanente de alagamento, sobretudo incorporado ao sistema de drenagem. Apresenta áreas de acumulação inundáveis com fraco alagamento, do mesmo modo que planície fluvial, ou seja, áreas aplanadas resultante de acumulação fluvial, estando para sistema periódica ou permanentemente alagado. As Planícies Fluviolacustre presente na área, resulta em uma área plana derivado da combinação de processos de acumulação fluvial e lacustre, que, geralmente exprimem drenagem com canais anastomosados (FRANCO E PINHEIRO, 1982). A Planície fluvial ocupa 11,82 km², o que representa apenas 0,10% (Figura 03).

Caracterizadas como áreas expressivamente de acumulação com frequentes inundações de caráter fluvial e pluvial, sua altimetria varia de 80 a 220 metros. Entendida por extensa área de topograficamente plana formada pela acumulação de sedimentos quaternários (areias, siltes, sedimentos arenoso-argilosos, parcialmente laterizados) da Formação Guapóre (FRANCO E PINHEIRO, 1982). As Planícies e Pantanais mato-grossenses constituem-se sobre uma área de 11.371,34 km² equivalente a 91,86% do montante total no perímetro do Pantanal de Cáceres.

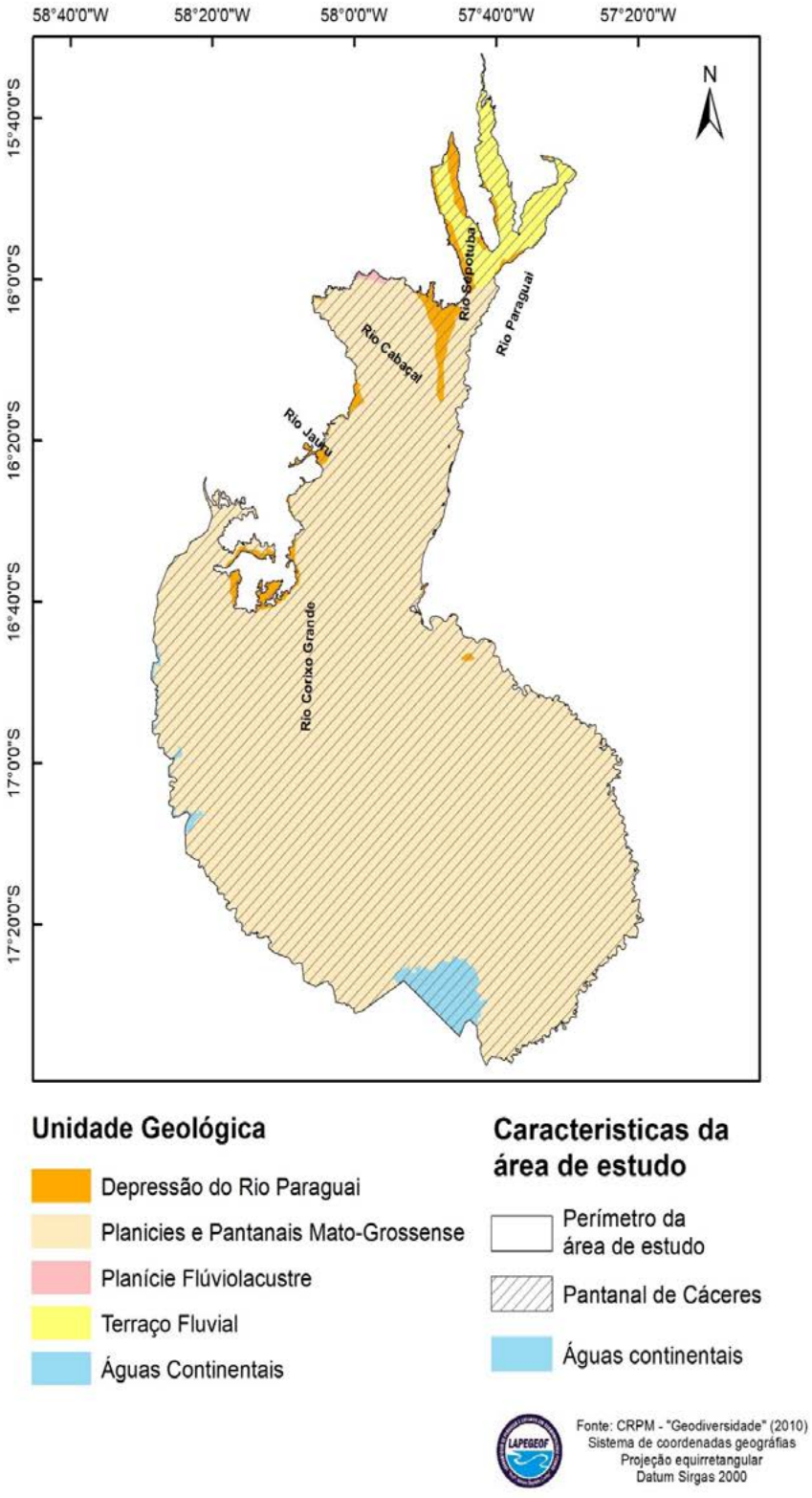


Figura 03: Geomorfologia da área de estudo que corresponde ao Pantanal de Cáceres.

Os terraços fluviais são caracterizados dentro das planícies fluviais como forma determinada por alterações climáticas que ao longo do tempo escavam formas que caracterizavam o leito sobre determinada altura. Os sedimentos encontrados sobre os terraços são pretéritos em relação aos que são encontrados dentro da calha de drenagem atual (CHRISTOFOLETTI, 1980). Por fim, os terraços fluviais ocupam 444,26 km², 3,59% do Pantanal de Cáceres.

4. Considerações Finais

Desde modo podemos concluir que a estrutura de base do Pantanal de Cáceres corresponde majoritariamente pela Formação Pantanal - fácies depósitos aluvionares com 61,18%, que tem sua origem do Quaternário, caracteriza-se por domínio dos sedimentos Cenozóicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso. consiste em materiais superficiais compostos por Argila, Areia e Silte.

Enquanto que, a Formação Diamantino ocupa apenas 0,27 km², ou seja, 0,00% em relação ao perímetro da área de estudo, sendo apenas resíduos da área de captação. O mesmo apresenta litologia Folhelho, Argilito, Siltito, Arcóseo; corresponde a classe sedimentar por domínio das sequências sedimentares Proterozóicas dobradas, metamorfizadas em baixo grau a médio grau.

A unidade geomorfológica Planícies e Pantanais mato-grossense, ocupa predominantemente o Pantanal de Cáceres. Recobre uma área equivalente a 11.371,34 km² (91,86). Área está, expressivamente de acumulação com frequentes inundações de caráter fluvial e pluvial, sua altimetria varia de 80 a pequenos morros que chegam a 220 metros.

Enquanto que, a menor unidade geomorfológica Planície Fluvial recobre a menor área, 11,82 km² (0,10%), corresponde a formas de acumulação inundáveis com características aplanadas com ou sem cobertura arenosa, anualmente possui sistema periódico ou permanente de alagamento, sobretudo incorporado ao sistema de drenagem.

Pelo exposto e de sua complexidade, faz necessário averiguar a Geologia e as unidades geomorfológicas da área de captação para melhor compreender o processo de constituição das feições morfológicas no Pantanal de Cáceres.

Referências

ASSINE, M. L. Pantanal Mato-Grossense: Uma paisagem de exceção. In: MODENESI-GAUTTIERI, M. C.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C. R. LSIBOA, M. B. A. L. (Org.). **A obra de Aziz Nacib Ab'Saber**. São Paulo: Beca-BALL edições, 588 p, 2010.

BIUDES, M. S; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; DE ARRUDA, P. H. Z.; NEVES, G. A. R.; LOBO, F. DE A.; NEALE, C. M. U.; NOGUEIRA, J. S. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and forest Meteorology**, v.202, p.112 - 124, 2015.

BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HIDRICOS E DA AMAZONIA LEGAL (BRASILIA, DF). **Plano de Conservacao da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal)-PCBAP: analise integrada e prognostico da Bacia do Alto Paraguai**. 1997.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**, São Paulo: Editora Blucher, 1980. 188p.

FRANCO, M. S. M.; PINEHIRO, R. Geomorfologia. In: Brasil Ministério de Minas e Energia. Secretária geral. (Ed.). **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SE.21. Rio de Janeiro, MME/SG/RADAMBRASIL, p.161-221. 1982.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2 ed., 1989. 206 p.

GROSSO, Mato. **Atlas de Mato Grosso**: abordagem socioeconômica-ecológica. Cuiabá/MT: Entrelinhas, 2011.

JUNK, W.J. Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands. **Environmental Conservation**, v.29, n.4, p.414-435, 2002.

LEANDRO, G. R. S.; SOUZA, C. A.; NASCIMENTO, F. R. Processo de deposição fluvial na baía Comprida, rio Paraguai, município de Cáceres–Mato Grosso, Brasil. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 32, p. 296-316, 2014.

MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S.; ANGELINI, L. P.; MÜTZENBERG, D. M. S.; NASSARDEN, D. C. S.; BILIO, R. DE S.; DA SILVA, T. J. A.; NEVES, G. A. R.; ARRUDA, P. H. Z.; NOGUEIRA, J.S. Sazonalidade do balanço de energia e evapotranspiração em área arbustiva alagável no Pantanal mato-grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n1, p. 82 - 91, 2016.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed.-São Paulo: Atlas, 2003.

MINAYO, M. C. S. & SANCHES, O. Quantitative and Qualitative Methods: Opposition or Complementarity? **Cad. Saúde Públ.**, Rio de Janeiro, 9 (3): 239-262, jul/sep, 1993.

MORAES, J. M. **Geodiversidade do estado do Mato Grosso**. – Goiânia: CPRM, 2010.

MORENO, G.; HIGA, T. C. S. (Org.) **Geografia do Mato Grosso**: território, sociedade, ambiente. Cuiabá, Entrelinhas, 269 p, 2005.

SILVA, E. S. F. **Dinâmica fluvial do rio Paraguai no segmento entre Furado do Touro e Passagem Velha, Pantanal de Cáceres - Mato Grosso**. Dissertação - Universidade do Estado de Mato Grosso. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Mato Grosso, 2012 113 fls.

SILVA, J. S. V. e ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária.** v.33, Número Especial, Brasília. 1998. p. 1703-1711.

SOUZA, C. A. **Bacia hidrográfica do rio Paraguai – MT**: Dinâmica das águas, uso e ocupação e degradação Ambiental – São Carlos: Ed Cubo, 2012. p 162.

SOUZA, C. A. **Dinâmica do corredor fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da ilha de Taiamã – MT**. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2004.

SOUZA, C. A.; LANI, J. L.; SOUSA, J. B. **Questões ambientais**: Pantanal mato-grossense. Cáceres: Unemat, 2009.

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO VERDADEIRO COMO SUBSÍDIO NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS NATURALMENTE VULNERÁVEIS A PROCESSOS EROSIVOS

Patricia Antonio de Oliveira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE
Rua Maringá, 1200 Bairro Vila Nova Francisco Beltrão – PR
Caixa Postal: 370 - CEP: 85.605-010
E-mail: patricia.oliveira2401@hotmail.com
Marcia Regina Calegari
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE
Rua Pernambuco, 1777 – Centro Marechal Cândido Rondon –PR
Caixa Postal: 91 – CEP 85.960-000
E-mail: marciareg_calegari@hotmail.com
Newmar Wegner
Fundação Parque Tecnológico de Itaipu – FPTI
Av. Tancredo Neves, 6731, Foz do Iguaçu – PR
Caixa Postal 2039 – CEP 85.867-900
E-mail: newmar.wegner@pti.org.br
Ericson Hideki Hayakawa
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE
Rua Pernambuco, 1777 – Centro Marechal Cândido Rondon –PR
Caixa Postal: 91 – CEP 85.960-000
E-mail: ericson.geo@gmail.com

Resumo

A erosão dos solos é um processo complexo ligado a diversos fatores e elementos da paisagem. Uma das maneiras de se identificar onde os processos erosivos podem se instalar mais facilmente é através do reconhecimento das características quantificáveis, do relevo, geometria e drenagem das bacias hidrográficas. Tais características compõem um importante grupo de fatores que influenciam na formação e intensidade do escoamento superficial, e desta maneira, permitem identificar áreas mais vulneráveis aos processos erosivos. Neste sentido, o trabalho em questão tem por objetivo caracterizar alguns aspectos morfométricos da Bacia do Rio São Francisco Verdadeiro, no oeste do Estado do Paraná, objetivando identificar os locais naturalmente mais vulneráveis a processos erosivos nesta bacia. Para tanto, foram discriminadas a declividade, o Índice de Máximo Fluxo (IMF), Fator-LS, Índice de compacidade (Kc) e densidade de drenagem (Dd) da bacia. Os resultados indicaram que o terço superior e inferior da bacia, compreendem as áreas mais estáveis da bacia, enquanto o terço médio representa o setor com declives mais acentuados da paisagem, com predomínio de relevo fortemente ondulado e montanhoso. Também coincidem os valores mais altos do índice de máximo fluxo e do Fator-LS, e maior densidade de drenagem, que indicam a presença de linhas de fluxo concentradas e áreas de maior retirada de material. O aspecto circular (Kc) das sub-bacias reafirmam este efeito, já que tais características possuem relação com o tempo de concentração da água na bacia.

Palavras-chave: Erosão, Índice Topográfico, Escoamento superficial, solos.

1. Introdução

A erosão dos solos é um processo complexo, e está associada não só as características pedológicas, mas também as climáticas, geomorfológicas, e ao tipo de cobertura e uso da terra existente (LEPCSH et al. 1983; SALOMÃO, 2005; SILVA, 2005). Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1999) a erosão é causada por forças ativas e passivas. As forças ativas são aquelas relacionadas as características das chuvas, as quais erodem os solos pelo impacto das gotas de chuva, e as características da inclinação do terreno, que influem no volume e na velocidade da água que o solo não conseguiu absorver. As forças passivas são aquelas correspondentes a resistência dos solos aos processos erosivos, dada pelas suas propriedades físicas e químicas. Assim sendo, a identificação dos fatores e mecanismos que determinam o processo erosivo tornam-se crucial para a determinação de projetos e práticas de conservação que visem o controle da erosão dos solos (OLIVEIRA, 2005).

A morfometria corresponde ao estudo matemático das formações e configurações da superfície de uma bacia hidrográfica, sendo expressa em índices, que podem ser divididos em 3 grandes grupos: índices que expressam características do relevo; indicam características geométricas; indicam características da rede de drenagem (CAMPANHARO, 2010). A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas, são imprescindíveis para determinação da espacialidade deste sistema no que se refere aos seus limites externos, área de abrangência e comprimento da bacia, hierarquia da rede de drenagem, densidade de drenagem e etc. (CALÇAVARA, 2012). Além disso, apresentam dados importantes acerca da dinâmica desses ambientes, como o reconhecimento das potencialidades naturais existentes, identificação de áreas que apresentam risco de ocupação, ambientes naturalmente frágeis e locais degradados pela atuação antrópica na evolução natural da paisagem (BARBOSA & FURRIER, 2012).

As características quantificáveis de uma bacia compõem um importante grupo de fatores que influenciam no escoamento superficial e a combinação destes dados auxiliam na diferenciação de áreas homogêneas, revelando indicadores físicos específicos de forma a qualificarem as alterações ambientais ocorridas ou que podem ocorrer nas bacias (PINTO et al., 2014). Desta maneira, estudos que agregam informações obtidas a partir destas características são essenciais no processo de planejamento integrado da paisagem (ROCHA, 2016). A utilização dessas informações pode subsidiar estratégias de gerenciamento urbano e ambiental, já que apresentam diversas possibilidades de associação com a dinâmica de uso e cobertura do solo, disponibilidade e qualidade da água, potencial erosivo e capacidade de infiltração, risco de cheias, tipo de solos e exploração de recursos ambientais, entre outros (CARVALHO, 2014; SOARES et al., 2016).

O objetivo deste trabalho consiste em caracterizar alguns aspectos morfométricos da Bacia do Rio São Francisco Verdadeiro – PR, com o intuito de identificar os locais naturalmente vulneráveis aos processos de erosão. Tal caracterização é pertinente, visto que, o uso dos recursos naturais, sem o devido conhecimento e observância de suas particularidades tem potencializado impactos ambientais negativos nos ambientes rurais e urbanos (FERNANDES & SOUZA, 2013). Ademais, a bacia em estudo compreende uma das dezoito bacias que compõe a Bacia Hidrográfica do Paraná 3 (BP3), cujos canais desaguam no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu, e nos últimos anos essa região do oeste do Estado do Paraná, tem apresentado graves problemas de degradação dos solos e dos recursos hídricos em função de processos erosivos (CURCIO & BONNET, 2018). Desta maneira, reconhecer os locais naturalmente mais propícios a processos erosivos e as áreas fonte de sedimento, fornece subsídio para o planejamento de ações de conservação ambiental nas bacias de contribuição

do reservatório de ITAIPU, bem como, benéfica àqueles que fazem uso desses ambientes, no que tange a preservação da qualidade da água e estabilidade do sistema para produção agrícola.

2. Material e métodos

2.1 Área do estudo

A Bacia do Rio São Francisco Verdadeiro (BRSFV) localiza-se no oeste do Estado do Paraná e está inserida na Bacia Hidrográfica do Paraná 3 (BP3). Possui cerca de 224.650 hectares, abrangendo a área de 11 municípios (Figura 1).

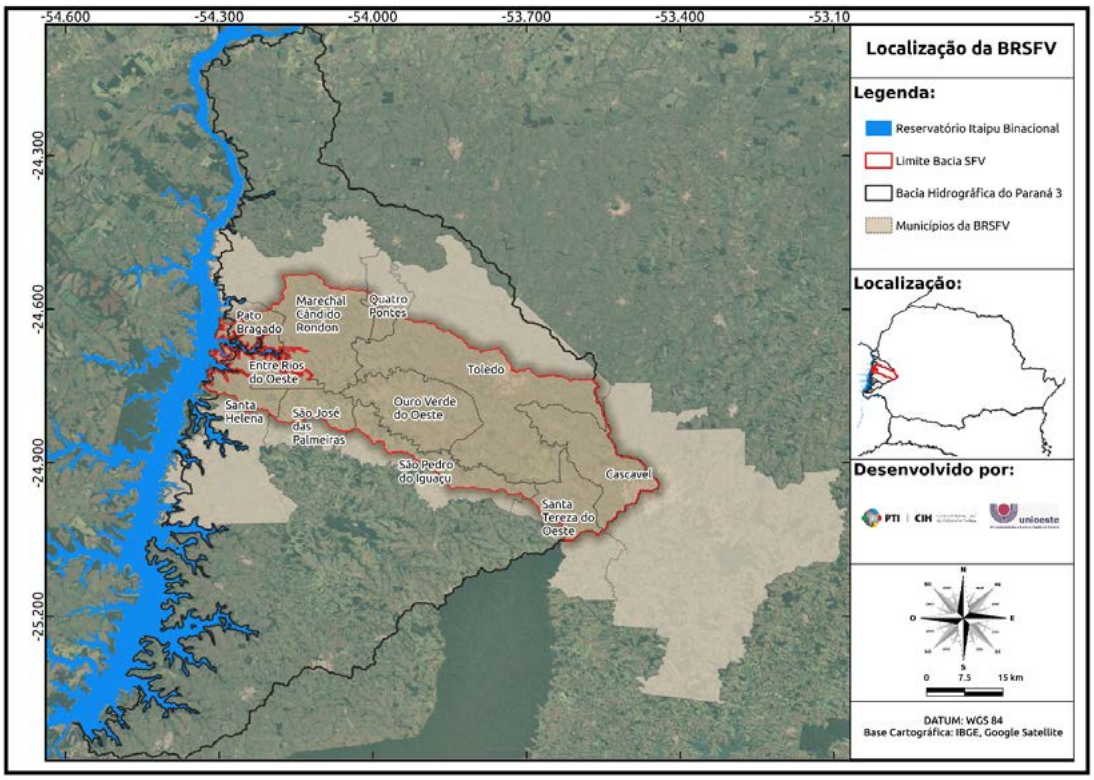


Figura 1: Localização da área do estudo.

A geologia da BRSFV é representada por basaltos do Grupo Serra Geral, oriundos de derrames tabulares de intenso vulcanismo do tipo fissural (NARDY et al., 2002; FERNANDEZ et al., 2011; ARIOLI & LICHT, 2013). A disposição dos derrames favoreceu a formação de interflúvios alongados e aplainados com predomínio de declividades entre 6 a 12% na BP3 e padrão de drenagem dendrítico a sub-dendrítico (FERNANDEZ et al., 2011; ARIOLI & LICHT, 2013; ARIOLI & SALAZAR JÚNIOR, 2014). O clima, do tipo Cfa, apresenta precipitação média anual de 1.600 a 2.000 mm e a temperatura média anual varia de 19°C a 24 °C (CAVIGLIONE et al., 2000; BORSATO & MENDONÇA, 2013).

O clima, quente e úmido e predomínio de vertentes longas contribuíram para a evolução de sistemas pedológicos formados por Latossolos Vermelho Distro e Eutroférrico nos seguimentos de topo e de menor declividade, Nitossolo Vermelho Distro e Eutroférrico na média vertente, solos rasos (Neossolos Regolíticos e Litólicos e Cambissolos) nos setores mais íngremes que definem o fundo de vale e, nos setores onde o fundo do vale é amplo, tem-se o desenvolvimento de Neossolos Flúvicos (FERNANDEZ et al., 2011).

2.2 Procedimentos

A caracterização morfométrica do relevo, ou dos atributos topográficos, são derivadas de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e podem ser divididos em dois tipos: os atributos topográficos primários e atributos topográficos secundários. O primeiro refere-se aqueles que são extraídos diretamente do MDE. Representam características básicas como a altitude, declividade, orientação e forma da vertente. Esses atributos permitem inferir respectivamente sobre a energia potencial do terreno, o volume e velocidade de escoamento superficial e ao conteúdo de água no solo (MOORE et al., 1991; LEPSCH, 2002; KAMPF & CURI 2012).

Já os atributos topográficos secundários são calculados a partir de um ou mais atributos primários e representam características mais complexas. Por exemplo, a umidade no solo e as áreas preferenciais de escoamento superficial e erodibilidade dos solos, dentre outros (MOORE et al., 1991; WILSON & GALLANT, 2000; SIRTOLI, 2008, MINELLA & MERTEN, 2012).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 20 metros, do qual foram extraídos os atributos topográficos citados, foi obtido através de interpolação de vetor de isolinhas de 10 metros de equidistância. O vetor de isolinhas é de propriedade da Fundação Parque Tecnológico de Itaipu (FPTI) e é oriundo do mapeamento sistemático 1:50.000 executado pela COPEL, em convênio com a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército – DSG e com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE na década de 90 (COPEL et al., 2011)1. Os métodos e procedimentos adotados para interpolação das isolinhas e geração do MDE utilizado são descritos em Oliveira et al. (no prelo).

Em posse do MDE, para identificação de áreas naturalmente propícias a processos erosivos, seguiu-se com a obtenção dos atributos topográficos primários e secundários em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) Qgis versão 3.4. O atributo topográfico primário utilizado consiste na Declividade, cujo atributo corresponde a primeira derivada do MDE e pode ser definido como a diferença da elevação em relação ao plano horizontal (VALERIANO, 2008). Esse atributo ressalta o poder erosivo do terreno, pois está diretamente ligado ao volume e velocidade do escoamento superficial (MOORE et al., 1991). Áreas com maior declividade representam locais propícios a maior potencial de escoamento superficial e retirada de material. Já áreas com menor declividade relacionam-se com locais onde há pouco escoamento superficial e maior percolação de água no solo (LEPSCH, 2002; KAMPF & CURI 2012). As classes de declividade foram definidas conforme Quadro 1, proposto pela Embrapa (2018).

QUADRO 1
Gradiente de declividade e suas respectivas denominações qualitativas

Gradiente (%)	Classes de Relevo
0- 3	Plano
3 -8	Suave ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte ondulado
45 - 75	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (2018).

1 Curvas de nível com equidistância de 20 metros podem ser obtidas em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Instrucoes_Acesso_FTP_v2018.pdf

Os atributos topográficos secundários utilizados consistem no Índice de Máximo Fluxo (IMF) e Fator LS. Esses índices ressaltam os locais de potencial de erodibilidade e transporte de sedimentos (MOORE et al., 1991; WILSON & GALLANT, 2000; SIRTOLI, 2008, MINELLA & MERTEN 2012).

Esses atributos são calculados a partir da declividade expressa em radianos e da área de contribuição específica (MOORE et al., 1991; WILSON & GALLANT, 2000; BOEHNER & SELIGE, 2006; SIRTOLI, 2008). O raster de declividade em radianos foi gerado pela ferramenta de 'análises morfométricas do terreno' na interface SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) do Qgis. E a área de contribuição foi gerada pela ferramenta de 'análises hidrológicas do terreno' pelo método *Multiple Flow Direction.* Este método é o método padrão do SAGA, e corresponde a área de contribuição total da bacia (FREEMAN, 1991).

O Fator LS corresponde a dois elementos da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), e representam a intensidade dos processos erosivos dados pela influência do perfil da encosta, avaliada pelo comprimento (L) e grau do declive (S), em que *As* é a área de contribuição específica, sin*ß* é o seno da declividade, e os valores das constantes *m* e *n* são 0.6 e 1.3, respectivamente, conforme Equação 1 (MOORE et al., 1991; WILSON & GALLANT, 2000; BOEHNER & SELIGE, 2006; COUTINHO et al., 2014).

$$LS = (m+1)\left(\frac{As}{22.13}\right)^{m}\left(\frac{\sin\beta}{0.0896}\right)^{n}$$

Equação 1. Fator-LS

Por sua vez, o IMF é um índice topográfico que integra a declividade, o comprimento da rampa, e a forma da vertente (MOORE et al., 1991; MINELLA & MERTEN, 2012). Este índice calcula o potencial erosivo da água em movimento e, desta maneira, ressalta locais com maior propensão a perda de solo por unidade de área. É definido pelo produto da área específica de contribuição (*Ac*) e a tangente da declividade (*ß*), conforme Equação 2.

$$IMF = \text{Ac tan } ß$$

Equação 2. *Índice de Máximo Fluxo*

Esses índices indicam, nos valores elevados, os locais preferenciais de escoamento superficial e produção de sedimentos, e os locais de deposição, onde prevalecem os valores mais baixos. Esses atributos foram obtidos na interface SAGA pelas ferramentas de 'análises hidrológicas do terreno'.

Os produtos secundários obtidos a partir do MDE identificam com melhor precisão o comportamento resultante da interação dos atributos primários do relevo. Matematicamente, os produtos secundários descrevem o padrão de comportamento como uma função dos processos gerados pelos produtos primários (WILSON & GALLANT, 2000).

Além de índices que expressam as características do relevo, foram também utilizados índices que expressam características geométricas (forma), e características da rede de drenagem de bacias hidrográficas. Os índices utilizados são o coeficiente de compacidade (Kc) a densidade de drenagem (Dd), respectivamente. A utilização destes índices é importante pois têm efeito sobre o comportamento hidrológico das mesmas. Como por exemplo, no tempo de concentração (Tc), o qual corresponde ao tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle (CARVALHO & SILVA, 2006). Desta maneira, a configuração de área e da forma da bacia e

o arranjo da sua rede de drenagem está diretamente relacionado ao modo de resposta da bacia frente a ocorrência de precipitação (VILLELA & MATTOS, 1975; RODRIGUES, 2014).

O coeficiente de compacidade (Kc) é a relação entre o perímetro (P, em km) da bacia e a circunferência de círculo de área (A, em km²) igual à da bacia, conforme equação 3.

$$Kc=0{,}28P\sqrt{A}$$

Equação 3. Índice de compacidade

Bacias arredondadas tem tendência de apresentar vazão de pico de cheia maior que bacias mais alongadas. Isto porque nas primeiras a água tende a chegar simultaneamente ao canal, enquanto nas segundas, a água da chuva é mais distribuída no tempo (VILLELA & MATTOS, 1975). Quanto mais os valores se aproximam da unidade (próximo a 1) maior a chance de pico de cheias, pois mais a bacia se assemelha a um círculo. Desta maneira, os maiores valores de Kc indicam menor probabilidade de enchente, pois correspondem a bacias mais alongadas.

A densidade de drenagem (Dd) indica o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem e é expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água (l, em km), sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes, de uma bacia e sua área total (A, em km²), conforme equação 4 (VILLELA & MATTOS, 1975).

$$Dd=\Sigma l/A$$

Equação 4. Densidade de drenagem

Para o cálculo do Kc e Dd foram utilizados vetor de polígonos com bacias de menor ordem da BRSFV e vetor de linhas dos cursos d'água. O vetor de polígonos foi elaborado pelo Núcleo de Inteligência Territorial (NIT) da FPTI e corresponde a bacias de até terceira ordem, conforme classificação de Strahler (1964). O vetor dos cursos d'água tem escala de 1:50.000 (COPEL et al., 2011) e está disponível em FTP do Instituto de Águas do Paraná (Águas Paraná). No vetor de polígono de bacias de menor ordem, na tabela de atributos, foram criadas colunas com a área e o perímetro de cada uma delas (em km). Criadas estas colunas, seguiu-se com a obtenção do Kc e Dd conforme equações 3 e 4. Tais procedimentos foram executados através de operações e funções disponíveis na calculadora de campo no Qgis.

4. Resultados e discussão

Na BRSFV o relevo planialtimétrico apresenta inclinação para oeste, apresentando um desnível de aproximadamente 580 m, com altitude variando de cerca de 220, próximo ao Lago (a oeste) a 800 m no divisor entre as bacias do Iguaçu e Piquiri (a leste). No que tange a declividade da área do estudo apresenta em sua maioria áreas com relevo suave-ondulado a ondulado (Figura 2; Quadro 1; Figura 3). Cerca de 11,5% da área (~26.000 ha) apresenta relevo plano (0 – 3% de declividade), nestes locais o potencial erosivo é praticamente nulo e com maior tempo de concentração da água no solo e estão comumente associadas a áreas de deposição. No contexto pedológico, por exemplo, nestes locais prevalece a pedogênese sobre a morfogênese. As áreas de relevo suave-ondulado, 3-8% de declividade, compreendem aproximadamente 100.00 ha, cerca de 42% do total da bacia (Figura 3). Estão distribuídas principalmente no terço superior da bacia e no terço inferior (exutório da bacia), e correspondem aos setores de topo das vertentes e divisores de água das bacias de menor ordem. Nesta condição de declividade, o tempo de concentração é menor que nas anteriores, no entanto, estes locais tendem a apresentar pouco escoamento superficial, não se caracterizando como locais naturais de risco de processos erosivos acelerados (GUERRA,

2005).

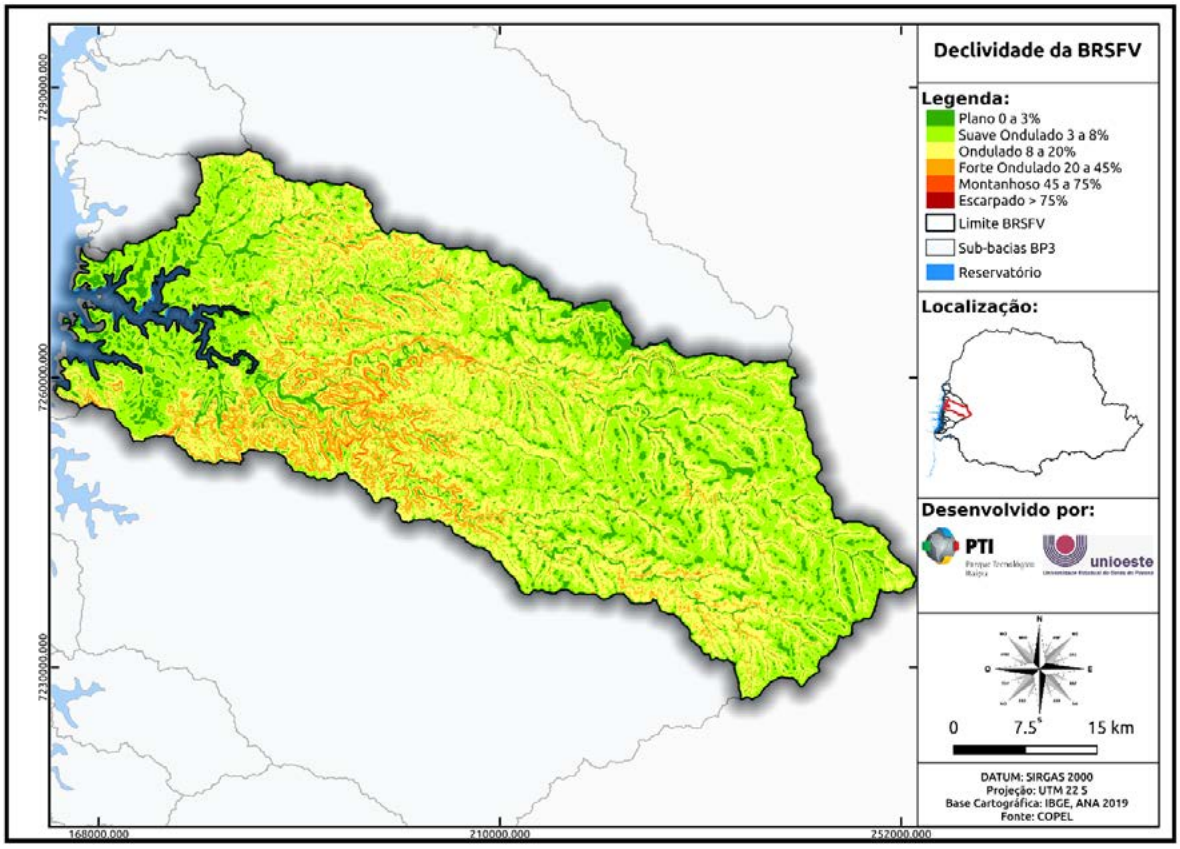


FIGURA 2: Caracterização da declividade da Bacia do Rio São Francisco Verdadeiro

Os declives de 8-20% representam as áreas de relevo ondulado e compreendem cerca de 38%, aproximadamente 90.000 ha, da área do estudo. Esta condição de declividade é mais expressiva ao longo do terço médio da bacia em direção a foz, sobressaindo-se também no setor sul do terço superior. Estes locais naturalmente possuem menor tempo de concentração e maior potencial erosivo. É também no terço médio em direção a foz da bacia que se situam os locais mais propensos ao escoamento superficial acelerado e processos erosivos intensos, dados por declives acima de 20%, onde prevalece relevo fortemente-ondulado e montanhoso. Os declives acima de 20% somam juntos aproximadamente 9% da área, cerca de 35.000 ha.

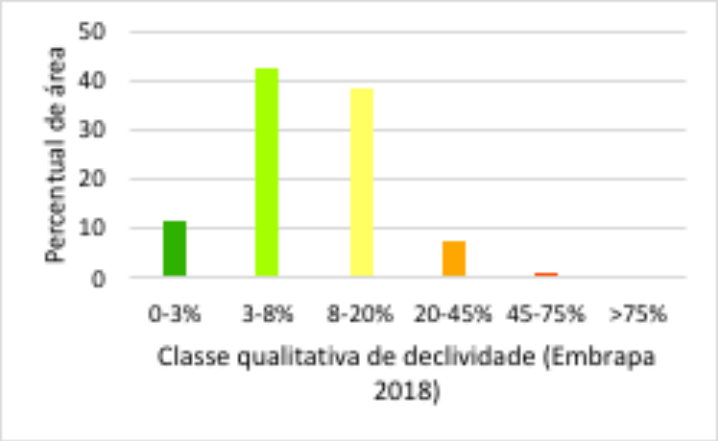


FIGURA 3: Percentual de área por classe qualitativa de declividade

De acordo com Rocha (2016) o terço médio da bacia em estudo, integra a unidade de paisagem com relevo mais dissecado da Bacia do Paraná 3 e naturalmente mais suscetível à ocorrência de processos erosivos intensos. Segundo ele, do ponto de vista geomorfológico, nesta área, predomina um relevo de aspecto amorreado, onde os topos são estreitos e os vales são encaixados. As vertentes geralmente apresentam formas compostas, alternadas por segmentos convexos, côncavos e retilíneos, marcadas por rupturas de declividade acentuadas, o que também contribui para formação de solos pouco espessos e menos evoluídos pedogenéticamente (ROCHA, 2016).

Embora a declividade já demonstre muito a respeito dos locais mais vulneráveis aos processos erosivos, a partir dos resultados dos índices secundários (Figura 4) é possível identificar o comportamento da água em movimento e os locais preferenciais de escoamento, permitindo reconhecer com maior precisão as áreas mais propensas a erosão.

O Fator-LS (Figura 4A), que corresponde ao grau de declive associado ao comprimento da rampa, demonstra as rampas mais longas e de menor declividade encontram-se principalmente o terço inferior na foz da bacia. No mapa de declividade o terço superior da bacia indica uma área teoricamente estável do ponto de vista erosivo, no entanto, o Fator-LS, ao levar em conta o comprimento da rampa, revela que neste setor há a ocorrência de vertentes que também podem sofrer com processos erosivos mais acelerados (com valor de Fator-LS acima de 20, adimensional), isto porquê, essas vertentes apresentam comprimento inferior a 900 metros e declividade acima de 20%. O maior desnível em função do comprimento das vertentes (Fator-LS acima de 28, adimensional) encontram-se no terço médio em direção a foz da bacia e caracterizam-se como os locais mais vulneráveis à erosão. Como destacado por Rocha (2016), este setor é marcado por vertentes curtas, com vales encaixados de maior declividade, o que permite inferir maior propensão a erosão.

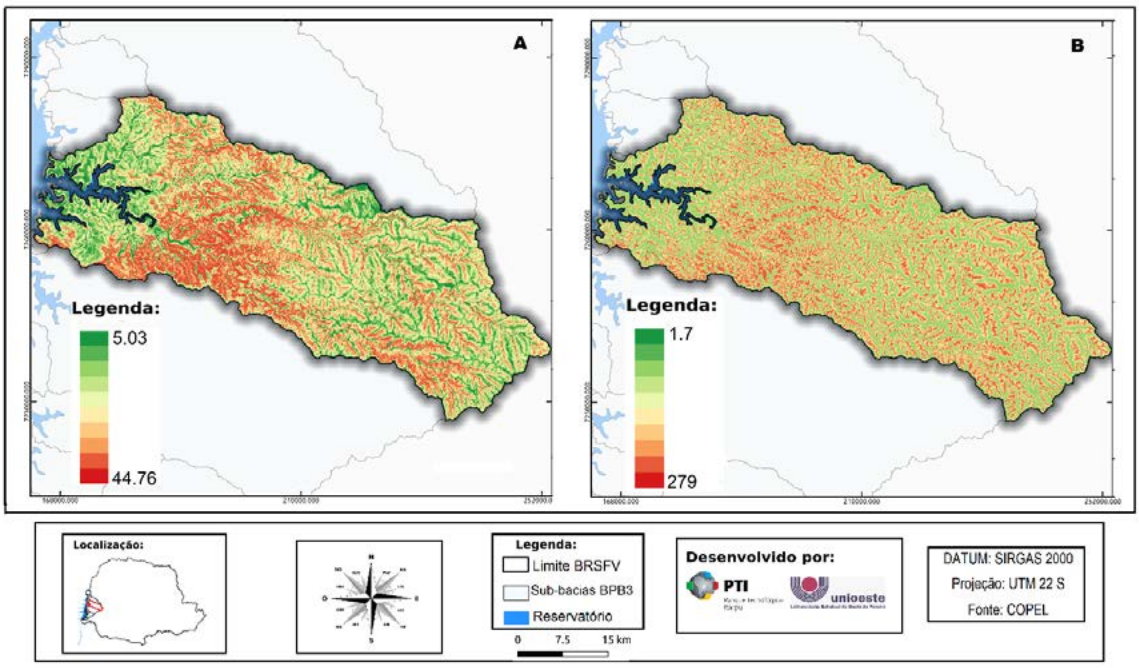


FIGURA 4: Distribuição dos valores dos índices Fator-LS (A) e IMF (B).

O Índice de Máximo Fluxo (Figura 4 B) corrobora os valores do Fator-LS e demonstra os locais preferencias do escoamento superficial. As áreas representadas pelos maiores valores do IMF (acima de 85, adimensional) configuram-se como os locais onde os possíveis fluxos acumulados mais a montante já estão concentrados, e nesse caso, podem ser as áreas mais propícias à erosão devido ao escoamento superficial acelerado e concentrado. Ademais, essa condição de retirada de material favorece a formação de solos mais rasos e menos evoluídos pedogenéticamente que, por sua vez, contribuem para o agravamento do escoamento superficial (LEPSCH, 2002; GUERRA, 2005; KAMPF & CURI 2012).

Relações matemáticas construídas para descrever os atributos topográficos, principalmente relacionados aos atributos topográficos secundários, não se apresentam de forma explícita na paisagem, indicando que, embora fundamentados teoricamente, a aplicação destes índices muitas vezes é comprometida no que tange a validação ou verificação em campo de tais processos. Desta maneira, em trabalho detalhado realizado em uma bacia de primeira ordem na BRSFV, Oliveira (2019) exemplifica a aplicabilidade e precisão dos índices topográficos secundários na identificação de locais com maior propensão a processos erosivos. Em função de um evento de precipitação intensa ocorrido no final do mês de outubro de 2017, Oliveira (2019) verificou que os maiores valores de IMF coincidiram com os locais afetados pela erosão linear (sulcos e pequenas ravinas) na área estudada pela autora, corroborando de certa forma, com a importância, aplicabilidade e acurácia destes índices.

É sabido que a precipitação tem papel importante no processo erosivo e que o sucesso da ação das chuvas na erosividade dos solos vai depender da sua intensidade, duração e frequência (GUERRA, 2005). No entanto, outros fatores também influenciam, como aqueles referentes ao relevo, já citados, e a configuração da forma das bacias. No que tange o reconhecimento hidrológico das bacias de menor ordem da área do estudo e sua resposta frente a ocorrência de precipitação, o índice de compacidade Kc (Figura 5 A) relevou que as bacias de

menor ordem na BRSFV tendem a apresentar delineamento alongado. As bacias com arranjo mais próximo ao formato circular encontram-se dispersas ao longo da área do estudo. No entanto, pode-se notar uma pequena concentração de bacias de caráter circular ao norte do terço superior e ao longo do terço médio da BRSFV, estes locais exprimem maior tendência a ocorrer picos de cheia, isto porque a água da chuva tende a chegar ao mesmo tempo no canal principal.

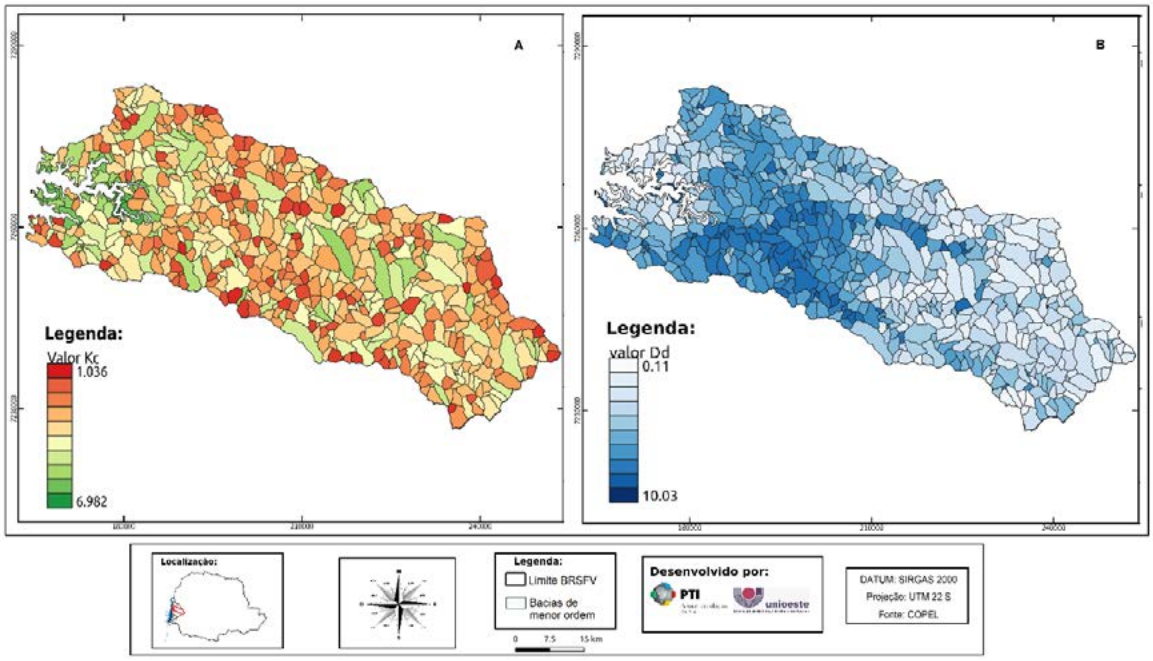


FIGURA 5: A) Valores de índice de compacidade (Kc), e B) densidade de drenagem (Dd).

Somado a isto, a densidade de drenagem (Figura 5 B) demonstra que as bacias de menor ordem, que possuem maior número de canais também se distribuem entre o terço médio e o terço inferior da BRSFV. A maior densidade de drenagem condiz com os locais de maior gradiente de declividade e dos valores mais elevados do Fator-LS e de IMF vistos anteriormente. Tal aspecto, reforça a indicação de que esses locais possuem maior propensão a processos erosivos intensos. Uma vez que, conforme indicado por Guimarães (2012), o padrão do sistema de drenagem das bacias hidrográficas tem um efeito marcante na taxa de escoamento superficial. Isto porque, os cursos de água efêmeros que existem apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação, consistem em locais preferenciais e de concentração do escoamento superficial. Ademais, bacias bem drenadas têm menor tempo de concentração, ou seja, o escoamento superficial concentra-se mais rapidamente e os picos de enchente e de retirada de material são altos.

As áreas com características mais estáveis da BRSFV, relacionadas à relevo mais plano de vertentes longas, bem como locais com menor densidade de drenagem e bacias de menor ordem com caráter mais alongado encontram-se principalmente do terço superior da bacia. Tais características indicam que há neste setor maior tempo de concentração da água e maior percolação da água no solo, que por sua vez, retratam menor potencial natural de erosão. As áreas de maior vulnerabilidade da BRSFV estão situadas no terço médio em direção a foz da bacia, pois é evidente que nestes locais, as características de relevo, de geometria/forma da bacia e da disposição da rede de drenagem, que favorecem o escoamento superficial e a concentração dos fluxos d'água, encontram-se sobrepostas (Figura 6). A coincidência de locais com maior Fator-LS (Figura 6

A), isto é, vertentes curtas com maior gradiente de declividade, com os locais onde predominam maior valor de IMF (Figura 6 B), indicam as áreas com maior potencial natural de retirada de material e transporte de sedimentos. Uma vez que nestas áreas predominam relevo de maior dissecação (acima de 20%) e os áreas que concentram os fluxos superficiais. Como já evidenciado no estudo de Vidal-Torrado et al. (2005), o relevo tem grande influência na hidrologia interna da vertente, e por conseguinte, na formação dos solos.

Áreas correspondentes a interflúvios e/ou áreas mais planas e alongadas tendem a ser mais estáveis e os processos pedogenéticos mais intensos, devido a erosão mínima e maior infiltração de água no solo. Por esta razão, os solos desenvolvidos nestas condições são sempre mais profundos, com horizontes mais espessos (KÄMPF e CURI, 2012). De outro lado, em locais de topografia mais íngreme, o escoamento superficial tende a superar a infiltração de água no solo, os solos são menos espessos e, dependendo do grau de inclinação da rampa, podem ocorrer afloramento de rocha associados a Neossolos Litólitos e Regolíticos (LEPSCH, 2002; KÄMPF e CURI, 2012). Isto significa que, conforme salientado por Rocha (2016) nos locais onde a erosão já é evidente pelas características do relevo, podem agravar-se devido a formação e as características pedológicas.

As características da forma da bacia e seu arranjo de drenagem (Figura 6 C e D), embora menos explicitas que as características relacionadas ao relevo, também permitem inferir uma correlação com o arranjo da distribuição da cobertura pedológica da área. Nas bacias com forma circular o tempo de concentração da água é menor e, desta forma, tende a prevalecer a morfogênese sobre a pedogênese. E como evidenciado por Hiruma e Ponçano (1994) a densidade de drenagem apresenta algumas tendências gerais na formação dos solos. Como por exemplo, a presença de horizonte B latossólico em bacias de baixa densidade de drenagem, pois estão associadas principalmente a áreas de relevo suave e pouco ondulado, o que permite maior infiltração da água no solo e menor formação de canais de escoamento. Tais características podem ser verificadas no terço superior da bacia, onde predominam relevo de 8% de declividade.

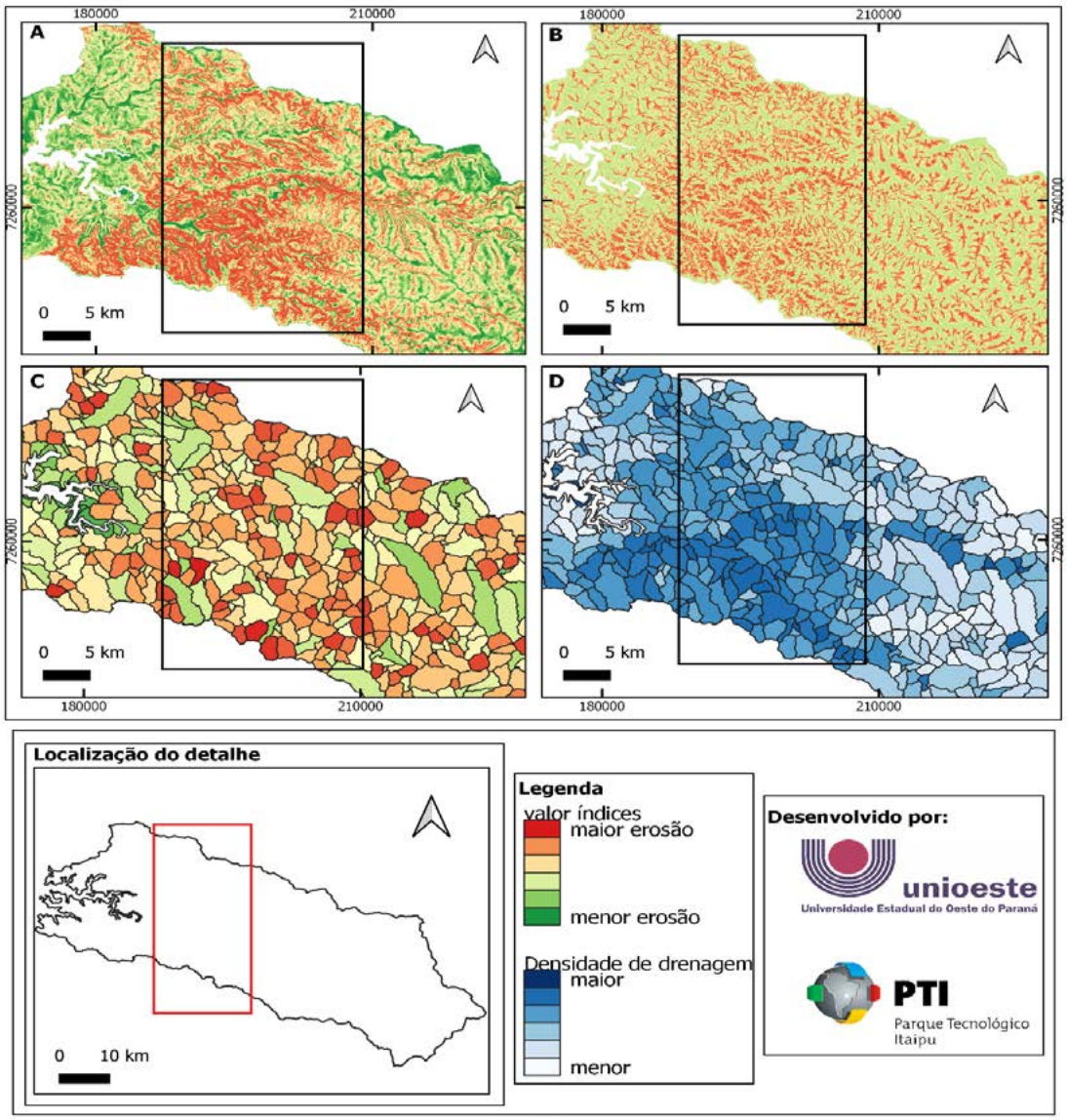


Figura 6: Características do relevo (A e B), da geometria/forma (C) e da rede de drenagem (D) no terço médio em direção a foz da bacia, indicando os locais naturalmente mais vulneráveis aos processos erosivos.

Já nas áreas de maior densidade de drenagem tendem a ocorrer solos com horizontes B texturais e incipientes, menos espessos que os anteriores e mais resistente a percolação de água no interior do solo (HIRUMA & PONÇANO, 1994). Desta forma, a maior densidade de drenagem associada a relevo de vertentes curtas de maior dissecação, locais de acumulação de fluxo, sob influência de bacias mais circulares (Figura 5), configuram-se como locais onde ocorrem formação de linhas de fluxo e canais d'água e escoamento superficial, que além de indicarem locais de maior vulnerabilidade a erosão, favorecem também a formação de solos menos desenvolvidos.

4. Considerações finais

Os resultados obtidos neste trabalho, permitiram reconhecer qualitativamente os aspectos fisiográficos da BRSFV e identificar os locais de acumulação de fluxo superficial e de perda de sedimentos, bem como, as áreas e bacias de menor ordem que possuem maior propensão em desenvolver processos erosivos. E desta forma, auxiliar no direcionamento de ações que visem minimizar os efeitos da erosão. No entanto, é necessário reforçar, que este trabalho é uma parte de um conjunto de estudos que veem sendo realizados para identificação e elaboração de um protocolo de reconhecimento de áreas vulneráveis a erosão na BP3.

Ademais, a erosão dos solos é um processo complexo e envolve vários outros fatores não analisados aqui. Como por exemplo, características intrínsecas dos solos, isto é, seus atributos químicos e físicos, os quais irão determinar sua maior ou menor capacidade de infiltração de água e a sua resiliência aos processos erosivos. Também ao tipo de uso e cobertura do solo, e seu respectivo manejo. Em áreas agrícolas, por exemplo, a compactação do solo devido a utilização de máquinas intensifica o processo natural de erosão, e estradas vicinais, sem as devidas manutenções, têm sido indicados como fatores que têm favorecido a concentração e maior volume de fluxo superficial.

Neste sentido, é evidente que estudos deste caráter devem ser continuados, principalmente aqueles em detalhe e que visem abarcar o máximo de informações possíveis no reconhecimento dos fatores que influenciam na erosão dos solos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Itaipu Binacional e a Fundação Parque Tecnológico de Itaipu (FPTI) pelo apoio financeiro e disponibilização de infraestrutura. E a Universidade Estadual do Oeste do Paraná pelo apoio acadêmico e científico.

Referências

ARIOLI, E. E.; LICHT, O. A. B. **O Grupo Serra Geral no Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2013. 2 v.

ARIOLI, E. E.; SALAZAR JR, O. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 193 p. 2014.

BARBOSA, T. S.; FURRIER, M. **Avaliação morfológica e morfométrica da bacia hidrográfica do rio Marés–PB, para verificação de influência neotectônica**. Cadernos de Geociências, v. 9, n. 2, p. 112-120, 2012.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2.ed. São Paulo, Ícone, 1999.

BORSATO, V. A.; MENDONÇA, F. A. A Dinâmica dos sistemas atmosféricos no verão 2012-2013 no Paraná e em Campo Mourão. SIMPÓSIO DE ESTUDOS URBANOS: a dinâmica das cidades e a produção do espaço, v. 2, p. 1-30, 2013.

CALÇAVARA, R. A. Uso de Sistemas de Informação Geográfica e Modelo Digital de Elevação para Obtenção de Variáveis Morfométricas da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente, Cachoeiro de Itapemirim (ES). **Rev. Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1788-1800, 2012.

CAMPANHARO, W. A. **Diagnostico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce-ES**. 2010. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2010.

CARVALHO D. F.; SILVA, L. D. B. Bacia Hidrográfica. In Carvalho D. F.; Silva L. D. B. Hidrologia. Cap. 3. p. 15-32. Apostila de ensino, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro* – UFRRJ, 2006. Acesso em 16 de março de 2020. Disponível em http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf

CARVALHO, R. G. **As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil**.

Caderno Prudentino de Geografia, n. 36, p. 26-43, 2014.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina, IAPAR, 2000.

COPEL, Companhia Paranaense de Energia; PARANÁ, Governo do Estado; ÁGUAS PARANÁ, Instituto das Águas do Paraná. **Base Hidrográfica do Estado do Paraná 1:50.000**. Acesso em 5 de agosto de 2019. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Instrucoes_Acesso_FTP_v2018.pdf

COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A.; DE OLIVEIRA GARCIA, G.; XAVIER, A. C.; ZANETTI, S. S.; MOREIRA, M. C. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p.01-09, 2014.

CURCIO, G. R.; BONNET, A. **Análise de erosão em nascentes e segmento de rio, município de Toledo, Paraná**. Dados eletrônicos Documentos / Embrapa Florestas,; 323) - Colombo: Embrapa Florestas, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. Ed., Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FERNANDES, M. R.; SOUZA, L. M. M. Parâmetros básicos de bacias hidrográficas – inferências. 2013. Disponível em http://ciflorestas.com.br/arquivos/d_d_d_1850.pdf Acesso em 10 de out. 2019.

FERNANDEZ, O. V. Q.; CALEGARI, M. R.; BINDA, A. L.; MEITH, J. C.; AZEVEDO, S. T.; FOGAÇA, T. K. Meio Físico. In: FEIDEN, A. (org.). **Plano da bacia hidrográfica do Paraná 3:** Características gerais da bacia. Cascavel, 2011.

FREEMAN, G. T. (1991): Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. **Computers and Geosciences**, 17:413-22.

GIASSON, E; SARMENTO, E. C.; WEBER, E.; FLORES, C. A.; HASENACK, H. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steeplands. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 2, p.167-174, 2011.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2ed. p.340, 2005.

GUIMARÃES, R. C. Bacia Hidrográfica. In: Shahidian S, GUIMARÃES R, RODRIGUES C. 2012. **Hidrologia Agrícola**. Capítulo 2 – (Editores). ICAAM- ECT Universidade de Évora, 2012.

HIRUMA, Silvio Takashi; PONÇANO, Waldir Lopes. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG. **Revista do Instituto Geológico**, v. 15, n. 1-2, p. 49-57, 1994.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J.C. *et al.* **Pedologia: Fundamentos.** Viçosa: SBCS, 2012, p.207-302.

LEPSCH, I. F.; BELINAZZI JR. R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. Manual para Levantamento Utilitário do meio Físico e Classificação das Terras no sistema de Capacidade de Uso. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1983.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** São Paulo. Oficina de Textos, 2002.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, 2012.

MOORE, I. D., GRAYSON, R. B., LADSON, A. R**.** Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological processes**, v.5, n.1, p.3-30, 1991.

NARDY, A. J. R.; OLIVEIRA, M. A. F.; BETANCOURT, R. H. S.; VERDUGO, D. R. H.; MACHADO, F. B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. **Revista Geociências**, 21:15-32, 2002.

OLIVEIRA, M. A. T. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas**. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro:

Bertrand Brasil, 2ed. p.340, 2005.

OLIVEIRA, P. A. **Relação solo-relevo assistida por árvore de decisão**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 128 p. Marechal Cândido Rondon, 2019. (Dissertação de Mestrado).

OLIVEIRA, P. A.; WEGNER, N.; HAYAKAWA, E. H.; CALEGARI, M. R. **Comparação de interpoladores na geração de modelo digital de elevação a partir de isolinhas na bacia do rio São Francisco Verdadeiro – PR**. Revista Acta Geográfica, no prelo.

PINTO, V. G., LIMA, R. N. D. S., RIBEIRO, C. B. D. M., & MACHADO, P. J. D. O. Diagnóstico físico-ambiental como subsídio a identificação de áreas vulneráveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Ambiente & Água**, *9*(4), 632-646, 2014.

ROCHA, A. S. **As vertentes características e os sistemas pedológicos como instrumentos de análise para a identificação das fragilidades e potencialidades ambientais na bacia hidrográfica do paraná 3.** Universidade Estadual de Maringá, Programa de pós-graduação de Geografia, 2016. (Tese de doutorado).

RODRIGUES, N. M. **Índices de características físicas hidrográficas aplicados a bacia do rio Bituri de Belo Jardim- PE com uso de imagem do Google Earth**. 2014, (Blog). Acesso em 12 de dezembro de 2019. Disponível em <https://natalgeo.blogspot.com/2014/11/indices-de-caracteristicas-fisicas.html>

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2ed. p.340, 2005.

SILVA, A. S. Análise morfológica dos solos e erosão. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2ed. p.340, 2005.

SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MANTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; CHISATO, O. F. Atributos do Relevo derivados de modelos digitais de elevação e suas relações com os solos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, n.3, p.317-329, 2008.

SOARES, L. S., LOPES, W. G. R., CASTRO, A. C. L., & DE ARAUJO, G. M. C. **Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado**. Revista do Departamento de Geografia, v.*31*, p.82-100, 2016.

STRAHLER, Arthur N. Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. **Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York**, p. 4-39, 1964.

VALERIANO, M. M. **Topodata:** guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos, SP. INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais, 2008.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. **Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas**. In: Vidal-Torrado, P.; Alleoni, L. R. F.; Cooper, M.; Silva, A. P.; Cardoso, E. J.; Prochnow, L. I. (org.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: SBCS, 2005. v.4, p.145-192.

VILLELA, S. M. & MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo

245p., 1975.

WILSON J. P.; GALLANT J. C. Digital terrain analysis. In: **Terrain Analysis: Principles and Applications**, Wilson JP, Gallant JC (eds). John Wiley: New York; 1–27, 2000.

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA DO RIO IGUAPE, ILHÉUS-BA

André Luis Silva Andrde
Universidade Estadual de Santa Cruz
Laboratório de Geoprocessamento da UESC, CEP: 45662-900
E-mail: alsandrade.bge@uesc.br
Samuel de Amaral Macedo
Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Geociências, CEP: 13083-855
E-mail: macedo.samuel@yahoo.com
Victória Dejan Paganotto
Universidade Federal de Santa Maria
Programa de Pós-Graduação em Geografia, CEP: 97105-900
E-mail: vic_paganotto@hotmail.com

Resumo

A presente pesquisa tem por objetivo a caracterização morfométrica da Microbacia Hidrográfica do rio Iguape (MBRI). Para isso, utilizaram-se os modelos digitais de elevação *Alos Palsar*, com resolução espacial de 12,5m e o modelo hidrológico *ArcSWAT 2012.10.190*, instalado no *Qgis 3.10*. Os resultados revelaram que a MBRI apresenta baixa capacidade de gerar novos cursos d'água, possuindo tendência mediana a grandes enchentes, por apresentar baixas altitudes e canais com baixa sinuosidade, a amplitude altimétrica em relação ao relevo e gradiente de canais indicam o não favorecimento do escoamento superficial. Tais características associadas ao solo com baixa porosidade e clima com índice pluviométrico superior a 2000mm por ano, faz com que a MBRI tenha boa quantidade de recursos hídrico disponíveis na sua superficie.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, Hidrografia, Morfometria, ArcSWAT.

1. Introdução

A bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, formada inicialmente nas regiões mais elevadas do relevo por divisores de águas, onde as águas das chuvas podem escoar superficialmente formando riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático (BARRELA, et al., 2007). Uma bacia recebe energia através de agentes climáticos e perdem através do deflúvio (LIMA; ZAKIA, 2003). Os principais componentes - solo, água, vegetação e fauna - coexistem em permanente e dinâmica interação, respondendo às interferências naturais e àquelas de natureza antrópica, afetando os ecossistemas como um todo (CARDOSO et al., 2006). Além dessas características supracitadas, a bacia hidrográfica também pode ser entendida partindo das suas características geométricas, hipsométricas e lineares (CRHISTOFOLETTI, 1980).

A análise das formas da bacia é conhecida como morfometria, na qual é possível estudar o seu formato, suas formas de relevo e características da rede de drenagem em comum. A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007). A morfometria permite entendimento do comportamento hidrológico a partir de parâmetros geométricos, lineares e hipsométricos (CHRISTOFOLETTI, 1980). “Os estudos relacionados com as drenagens fluviais pode levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre” (ALCÂNTARA; AMORIN, 2005, p. 70).

A realização desse tipo de estudo vem sendo facilitada com o avanço da cartografia, atualmente, é possível delimitar uma bacia hidrográfica utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE) em ambiente de Sistema de Informações Geográficas.

O SIG é definido como um “Sistema de computadores e periféricos, programas, dados, pessoas, organizações e instituições com o propósito de coletar, armazenar, analisar e disseminar informações sobre áreas da terra” (CHISMAN, 1997, p. 5). “Um elemento importante no ambiente de sistema de informação geográfica é o recurso humano, responsável por definir projetos, implementar, usar e prestar assistência ao SIG” (MIRANDA, 2015, p. 38).

Partindo da importância do estudo morfométrico para melhor entendimento de uma bacia hidrográfica e as possibilidades de realização do estudo partindo dos dados atuais e téncias da cartografia moderna, delineou-se como objetivo da presente pesquisa, a caracterização morfométrica da Microbacia Hidrográfica do rio Iguape (MBRI), Ilhéus, no estado da Bahia.

2. Metodologia

2.1. Área de Estudo

A MBRI possui área de 49,9 km^2, está localizada entre entre as coordenadas UTM - 83760; 83660 de Latitude Sul e 49300;48200 de Longitude Oeste (Figura 1). A geologia apresenta terrenos granulíticos do Proterozóico representados pelas rochas gnáissicas do complexo Buerarema (NACIF, 2000).

A geomorfologia é predominantemente de planície costeira, por conta de depósitos arenosos da restinga e fluviais. Os solos são bem intemperizados e com alta concentração de argila. Atratando-se dos aspectos climáticos, observa-se a predominância do clima tipo *Af*, com índice pluviométrico superior a 2000 mm por ano (CEPLAC, 1976).

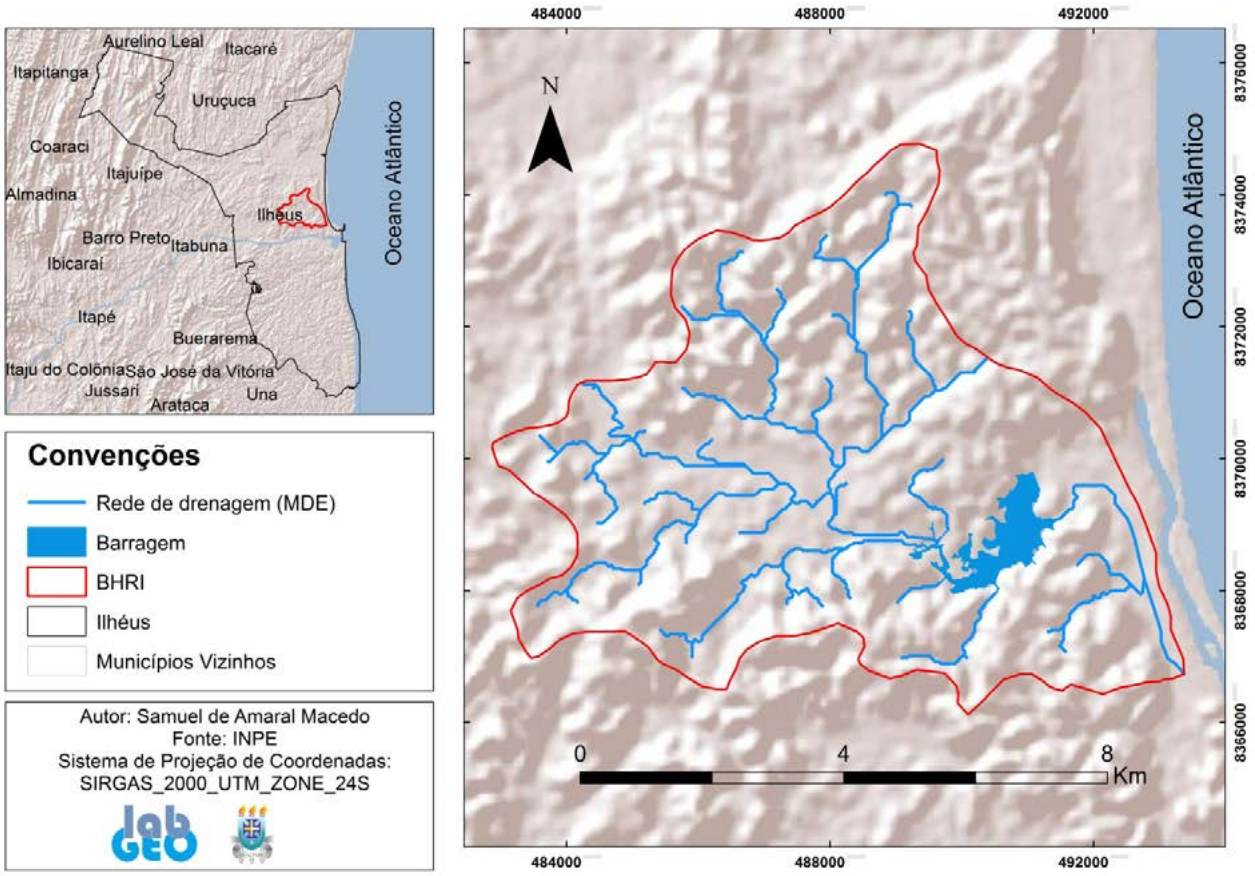


Figura 1: Localização da MBRI. Fonte: INPE (2018).

2.2. Delimitação da MBRI

A MBRI foi delimitada a partir dos modelos digitais de elevação *Alos Palsar* com resolução espacial de 12,5 m, e TOPODATA/SRTM (30 m), esse procedimento foi realizado no Sistema de Informações Geográficas (SIG) *Qgis 3.10* (*software* livre). Realizou-se uma delimitação automática, no software *ArcSWAT*, utilizando a metodologia sugerida por Di Luzio (2002):

Fill Sinks (Correção de depressão espúria);

Flow Direction (Direcionamento de fluxo);

Flow Accumulation (Acumulação de fluxo);

Stream Definition: (Utilizando-se valor 50 como o número mínimo de células para a geração de fluxo);

Create Streams and outlets (Criação de fluxos e saídas);

Outlet and Inlet Definition (Definição de saída e entrada);

Watershed Outlets(s) Selection and Definition (Seleção e definição das saídas de bacias hidrográficas);

Delineate Watershed (Delimitação da bacia hidrográfica).

Em seguida realizou-se a delimitação manual, a partir da metodologia proposta por Sperling (2007). A eficiência da delimitação manual de uma bacia hidrográfica depende do conhecimento de fotointerpretação do intérprete, sendo passível de erros humanos, em alguns casos, podem acontecer erros grotescos, principalmente, quando não se conhece a área de estudo. Por isso, considerou-se necessária a realização das delimitações manual e automática. Os *softwares ArcSWAT*, *TauDEM 5.1.2* e *GRASS GIS 7.2.0* possuem algoritmos eficientes, capazes de produzir uma delimitação automática satisfatória considerando os valores de área e perímetro, ambos são essenciais para realização dos cálculos morfométricos, logo, é imprescindível que a delimitação da microbacia seja mais fidedigna possível. Por fim, realizou-se as correções finais sugeridas por Macedo e Moreau (2019) evidenciadas na Figura 2.

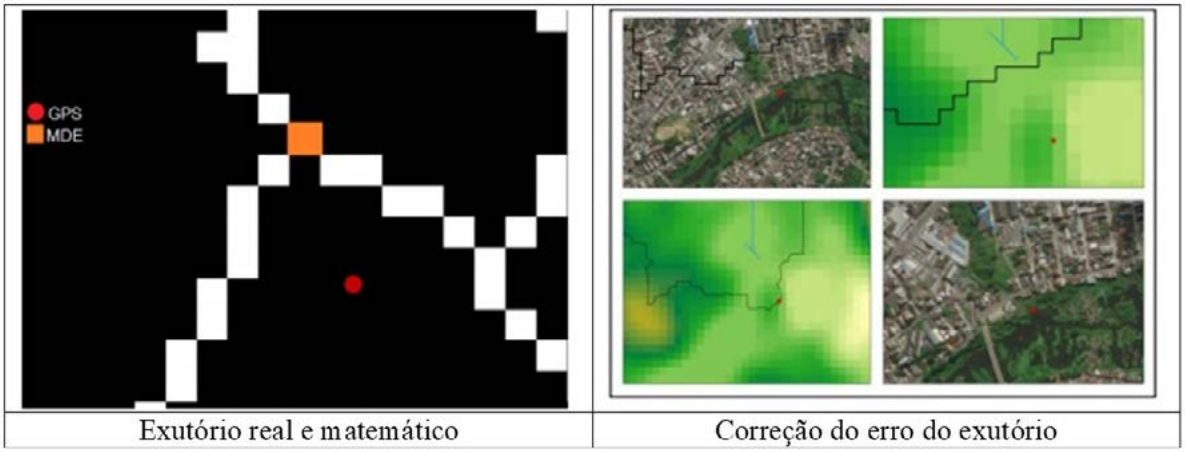


Figura 2: Erros e correções do polígono da Bacia. Fonte: Macedo e Moreau (2019).

Após a realização das delimitações manual e automática e correções, utilizou-se dados de GPS coletados em divisores de água para correções do polígono gerado, essa preocupação com os limites da bacia se deve pelo motivo da delimitação influenciar nos valores de área e perímetro, sendo esses valores utilizados nos cálculos morfométricos, seguindo a proposta de Christofoletti (1981).

2.3. Morfometria da MBRI

Partindo da proposta de análise de bacia hidrográficas de Christofoletti (1981), organizou-se a tabela 1, a qual apresenta os parâmetros e as equações utilizadas para caracterização morfométrica, que se subdivide nas análises geométricas, hipsométricas e lineares, sendo essa última denominada no presente estudo como sendo a análise da rede de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1981)

TABELA 1
Parâmetros morfométricos.

Fonte: Christofoletti (1981)

PARÂMETRO	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
Características geométricas		
Área da bacia	a	Calculado em sig
Perímetro	p	Calculado em sig
Fator de forma	$Kf = \frac{A}{L_{axial}^{2}}$	Villela e Mattos (1975)
Coeficiente de compacidade	$Kc = 0{,}28x\frac{P}{\sqrt{A}}$	Villela e Mattos (1975)
Índice de circularidade	ic = $\frac{12{,}57xA}{P^2}$	Cardoso et al., 2006
Comprimento axial	L_{axial}	Calculado em sig
Características hipsométricas		
Altitude mínima	$H_{mín.}$	Calculado em SIG
Altitude média	$H_{média}$	
Altitude máxima	$H_{máx.}$	
Amplitude altimétrica	hm = $H_{máx.} - H_{mín.}$	
Declividade mínima	$I_{mín.}$	
Declividade média	$I_{média}$	
Declividade máxima	$I_{máx.}$	
Orientação predominante	op	
Características da rede de drenagem		
Canais de 1ª ordem		
Comprimento do canal principal	L_p	
Comprimento total dos canais	L_t	
Densidade hidrográfica (dh)	dh = $\frac{L_{cursos}}{A}$	Horton (1945)
Densidade de drenagem (dd)	dd = $\frac{L_t}{A}$	Cardoso et al. (2006)
Coeficiente de manutenção (cm)	cm = $\frac{1}{Dd}\ x\ 1000$	Schumm (1956)
Ordem da sub-bacia (srtm 30 m)	ord	Strahler (1957)
Padrão de drenagem	pd	

O coeficiente de compacidade igual à unidade corresponde a uma bacia circular e indica a susceptibilidade de cheias à medida que se aproxima ou afasta da unidade (VILLELA; MATTOS, 1975). Uma bacia com fator de forma baixo é menos suscetível a enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975).

O valor do *IC* se aproxima da unidade à medida que a bacia se assemelha a forma circular e diminui conforme ela se torna mais alongada (CHRISTOFOLETTI, 1981; CARDOSO et al., 2006).

Na qual, *IC* refere-se ao Índice de Circularidade, adimensional; *A* diz respeito a área da bacia em km^2 e *P* ao perímetro da bacia em km. A *Dh* é a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica, índice foi definido por (HORTON, 1945; CHRISTOFOLETTI, 1981).

Para a caracterização de relevo da MBRI foi determinada a altitude máxima, mínima e média, a amplitude altimétrica, o índice de sinuosidade, o gradiente de canais e a relação do relevo (SANTOS et al., 2012; RODRIGUES et al., 2013; RIBEIRO et al., 2015). Já altitude média foi avaliada a partir do método descrito por (WISLER, 1964).

Valores de *Is* próximos a unidade indicam canais retilíneos, valores de *Is* superiores a 02 indicam canais sinuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais (RIBEIRO et al., 2015). O *Gc* é a relação entre a diferença máxima da altitude, o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1981).

É um índice que indica a declividade dos cursos d›água da bacia (HORTON, 1945). A relação de relevo, chamado também de *Rr* considera o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1981). Ressalta-se que quanto maior o valor de *Rr*, maior será o desnível entre a cabeceira e o exutório, consequentemente maior será a declividade média da bacia (SCHUMM, 1956).

Já densidade de drenagem (*Dd*) correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1981). A *Dd* foi inicialmente definida por (HORTON, 1945). Após aquisição da densidade de drenagem é possível se obter o Coeficiente de manutenção (*Cm*), que representa a área necessária que a bacia deve ter para manter perene cada metro de canal de drenagem (SCHUMM, 1956; SANTOS et al., 2012).

A ordem da rede de drenagem da bacia foi classificada utilizando-se a metodologia descrita por (STRAHLER, 1952). Ele definiu canais de primeira ordem com as seguintes características: os menores canais; sem tributário; estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluente de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem. E assim sucessivamente.

3. Resultados e discussão

Observa-se na Tabela 2 que a MBRI possui área de 49,9 km^2, um perímetro de 36 km e o comprimento do eixo da bacia de 9 km, podendo ser considerada uma microbacia, ressalta-se que esses valores foram imprescindíveis para o cálculo dos demais índices morfométricos. O coeficiente de compacidade (*Kc*) encontrado (1,42), associado ao Fator de forma (0,61), e ao índice de Circularidade (0,48), indicam que a bacia possui tendência mediana a enchente e maior concentração de deflúvio, assim a água acaba permanecendo por mais tempo no sistema.

A densidade hidrográfica encontrada foi de 2,33 canais/km², caracterizando baixa densidade hidrográfica (LOLLO, 1995). Por outro lado, a microbacia está inserida em uma região cujo índice pluviométrico anual é superior a 2000 mm, favorecendo a entrada de água e mantendo os rios perenes.

Ainda na Tabela 2, verifica-se que a MBRI apresenta altitude máxima, média e mínima de 172 m, 65,83 m e 4 m, respectivamente. O valor encontrado para a Amplitude altimétrica (*Hm*) foi de 168, o que indica que esta microbacia possui relevo que varia de plano a suave ondulado, influenciando na quantidade de radiação que a bacia hidrográfica recebe e, consequentemente, na evapotranspiração, temperatura e precipitação (TONELLO, 2006). O baixo valor de amplitude altimétrica, como o obtido, tende a favorecer o escoamento lento, esses resultados são reafirmados pelos baixos valores encontrados de Gradiente de canais (*Gc*), para a Relação de relevo (*Rr*).

"O índice de sinuosidade dos canais está relacionado à velocidade do escoamento nos canais de drenagem e, em síntese, sua relação com o solo em produzir erosão" (SANTOS et al., 2012). O índice de sinuosidade (*Is*) encontrado foi 1,32, isso aponta que os canais de drenagem da MBRI são dendríticos, característicos da região Sul da Bahia.

TABELA 2
Características morfométricas da MBRI.

	Características morfométricas	**Unidades**	**MBRI**
Características geométricas	Área	km²	49,9
	Perímetro	km	36
	Número de canais de 1ª ordem	-	50
	Comprimento do eixo da bacia	km	9
	Coeficiente de compacidade (Kc)	-	1,42
	Fator de forma (F)	-	0,61
	Índice de circularidade (IC)	-	0,48
	Densidade hidrográfica (Dh)	canais/km²	2,33
Características do relevo	Altitude mínima	m	4
	Altitude média	m	65,83
	Altitude máxima	m	172
	Amplitude altimétrica (Hm)	m	168
	Índice de sinuosidade (Is)	m/m	1,32
	Gradiente dos canais (Gc)	%	13,76
	Relação de relevo (Rr)	m/km	13,44
Características da rede de drenagem	Comprimento do canal principal	km	12,5
	Comprimento total dos canais	km	78.4
	Comp. vetorial do canal principal	km	10
	Densidade de drenagem (Dd)	km/km²	2
	Coeficiente de Manutenção (Cm)	m²/m	500
	Ordem da bacia	-	4º

Fonte: INPE (2018)

No estudo da rede de drenagem da MBRI, mapeou-se 112 canais, sendo que 50 são canais de drenagem de primeira ordem, supondo a presença de 50 nascentes, partindo de um MDE com resolução espacial de 12,5 m. O canal principal apresentou 12,5 km de distância e o comprimento total dos canais de drenagem foi de aproximadamente 78 km.

A MBRI apresenta densidade de drenagem alta (*Dd* = 2, 22 km/km²), conforme classificação proposta por Beltrame (1994). Assim, os valores encontrados sugerem que há um elevado escoamento superficial associado a uma baixa dissecação. "Essa variável se relaciona diretamente com os índices pluviométricos da área estudada, com média anual superior a 1 800 mm, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material dentrítico ou indicam o grau de manipulação antrópica" (LANA et al., 2001, P. 124).

Outro importante parâmetro da qualidade da rede de drenagem de uma bacia é o Coeficiente de manutenção (*Cm*), calculado pela relação inversa da densidade de drenagem e que fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (SCHUMM, 1956). Esse dado permite representar qual seria a área necessária para a manutenção de um metro de curso fluvial perene. Assim, em termos de balanço hidrodinâmico da MBRI, os resultados obtidos indicam que são necessários 500 m² de área de captação para manter perene cada metro de canal na MBRI.

Essas características da rede de drenagem são essenciais para se ter uma noção da capacidade da MBHI para abastecer o município de Ilhéus. De acordo com Santos e Matos (2014) as faixas de vazões registradas são superiores à capacidade de operação da estação de tratamento de água que abastece o município, não configurando, ao menos no período estudado, problemas de desabastecimento. Essa afirmação das autoras parte de um estudo do uso e ocupação da terra, o qual constatou que a área da BHRI é predominantemente formada por matas secundárias, a qual ocupa 56,3% de sua área total, 12,5% da bacia é composta por áreas de capoeira, seguida das áreas de pasto 12,1%, agricultura 9,1% e os outros 10% estão divididos entre áreas de mata, edificações, solo exposto, áreas alagadas e manguezal.

4. Considerações finais

A propota de análise de bacias hidrográficas de Christofoletti (1981), através dos parâmetros morfométricos permitiu entender algumas particularidades geomorfológicas da MBHRI, associadas a sua geometria, hipsometria e rede de drenagem. As tecnologias e os dados disponibilizados atualmente facilitam a aplicação das equações matemáticas, diminui o tempo de execução, dos recursos investidos, e possibilitam a obtenção de dados precisos.

A análise dos dados envideciou que a MBHRI possui tendência mediana ao acúmulo de deflúvio, informação que também pode ser confirmada pelos valores obtidos na análise do relevo que expôs a altitude média de 65,82 m. O estudo da rede de drenagem mostra que a MBRI apresenta menos de 3 canais por m², no entanto, a bacia está inserida em uma região cujo índice pluviométrico ultrapassa os 1800 mm por ano, fazendo com que os rios permaneçam perenes.

A MBHRI é uma unidade territorial importante para a população do município de Ilhéus, pois é onde se localiza a barregem na qual a água é captada para abastecimento. Assim, a conservação das suas características ambientais é uma prioridade. Nesse sentido, o estudo morfométrico proporcionam o entendimento de algumas particularidades, podendo ser um dos documentos para subsidiar o planejamento ambiental.

Referências

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. M. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo – RJ**. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CEPLAC - Comissão Executiva para o Plano da Lavoura Cacaueira. Dinâmica do uso da terra. Rio de Janeiro: IICA/CEPLAC, 1976. 280p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial.** São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313 p.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

LANA, C. E.; ALVES, J. M.de. P.; CASTRO, P. de. T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121-126, June 2001.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MACEDO, S. de. A. L; MOREAU, M. S. DESEMPENHO DOS SOFTWARES: Arcswat, archydro, taudem, grass e idrisi na delimitação automática de bacias hidrográficas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19, 2019, Santos-SP. **Anais...** São José dos Campos-SP: INPE, 2019. p. 674.

NACIF, P. G. S. Ambientes naturais da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, com ênfase nos domínios pedológicos. Viçosa, MG: UFV, 2000. 118 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

RODRIGUES, v. A. et al. **Análise morfométrica da microbacia do Ribeirão das Araras-SP**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Garça, v. 21, n. 1, p. 25-37, 2013.

RIBEIRO, F. L. et al. **Caracterização morfométrica da microbacia Água do Paredão Jataizinho, PR**. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto--SBSR, 2015.

SANTOS, D. A dos. **Qualidade e quantidade das águas do rio Iguape em Ilhéus (BA)**. 2014.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. **Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil**. Revista Ambiente & Água, v. 7, n. 3, p. 195 211, 2012.

SCHUMM, S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy**, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, v. 67, n. 5, p. 597- 646, 1956.

STRAHLER, A. N. **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography**. Geological

Society of America Bulletin, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

SEI. **Geoinformação**. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/>. Acesso em: 10 jan. 2018.

TONELLO, K.C. et al. **Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões – MG**. Árvore, Viçosa, v.30, n.5, p. 849-857, 2006.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.

WISLER, C. D.; BRATER, E. F. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1964. 484 p.

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS ALMAS/BA

Nauana Teixeira Mendes Pinto
Universidade Estadual de Santa Cruz
Laboratório de Ensino de História e Geografia, CEP: 45662-900
E-mail: nauana.mendes@live.com
Samuel de Amaral Macedo
Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Geociências, CEP: 13083-855
E-mail: macedo.samuel@yahoo.com
Victória Dejan Paganotto
Universidade Federal de Santa Maria
Programa de Pós-Graduação em Geografia, CEP: 97105-900
E-mail: vic_paganotto@hotmail.com

Resumo

A caracterização morfométrica permite a obtenção de dados que facilitam a compreensão do regime hidrológico, bem como das vulnerabilidades quanto a enchentes, inundações, erosões, áreas de risco e à manutenção da rede de drenagem. Nesse sentido, o presente artigo tem como objetivo caracterizar a morfometria da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio das Almas, Bahia. Para isso, utilizaram-se dados TOPODATA/SRTM para calcular os parâmetros morfométricos, em escala espacial de 1:100 000, com técnicas de geoprocessamento, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, Qgis 3.10. Os resultados indicaram que algumas áreas da sub-bacia possuem tendência para conservação, não é vulnerável quanto à manutenção da rede de drenagem e, apesar de não possui tendência à inundação, a defesa civil de alguns municípios emitiram alertas nos anos de, 2014, 2010 e 2018.

Palavras-chave: Morfometria, Caracterização Hidrológica, Bacia Hidrográfica, Inundações, Enchentes – Morfométrica – Hidrológico – Sub-Bacias.

1. Introdução

No Brasil, a Lei Federal nº 9.433/97, estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Estas unidades básicas facilitam a aplicação dos instrumentos legais, tais como: enquadramento dos corpos d'água, outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A PNRH vem sendo utilizada pelos governos federal e estadual, na elaboração de projetos de revitalização de bacias hidrográficas, a exemplo do plano de ações de revitalização na bacia hidrográfica do rio São Francisco (IPEA, 2009) e Plano estratégico da Bacia do Rio Cachoeira (BAHIA, 2017). Para propor um plano de ações para revitalização de uma bacia hidrográfica, com os instrumentos da PNRH, é necessário a realização de estudos das características naturais e antrópicas.

A compreensão dessas características é uma das estratégias de gerenciamento (SOARES et al., 2016), indo um pouco além, é parte essencial nas primeiras etapas de elaboração de planos estratégicos de manejo dos recursos naturais de uma bacia, por fornecer informações essenciais para entendimento da unidade territorial em questão (CARDOSO, 2006; OLIVEIRA et al., 2010; FRAGA; et al., 2014; FARIA; BARROS; BRITO, 2018). Além das caracterizações físicas e ambiental, em algumas etapas do projeto de revitalização acontecem pesquisas mais específicas, para entendimento das características morfométricas de microbacias, a exemplo do estudo realizado por Macedo, Moreau e Spanghero (2018), ao aplicar a morfometria na análise das áreas que poderiam ser destinadas a conservação e áreas susceptíveis a inundação, para isso também realizaram o mapeamento do uso e ocupação da terra.

A caracterização morfométrica consiste na análise de parâmetros geométricos, lineares e hipsométricos, que permitem a diferenciação de áreas homogêneas (CHRISTOFOLETTI, 1980; ANTONELI; THOMAZ, 2007). Teodoro (2007, p. 137) salienta que esse processo é "[...] um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional" (TEODORO, 2007, p.137).

Estudos recentes sobre a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas nos mostram que os mesmos possuem diversas perspectivas, como as pesquisas de obtenção e análise de aspectos geométricos, lineares e hipsométricos, assim como pesquisas mais complexas, que correlacionam os componentes solo, água, vegetação e fauna para identificação de áreas sujeitas a processos de enchentes ou inundações, outras pesquisas ainda utilizam a hipsometria, a rede de drenagem e o uso da terra, movimentos de massa e processos de inundaçãos (PIRAJÁ; REZENDE FILHO, 2019; GOMES et al., 2019; PEREIRA et al., 2019; MELO et al., 2020; FELDE, et al., 2020; VALE; COSTA; PIMENTEL, 2021; SIMON; XAVIER; PAGANOTTO; PACHECO, 2019).

Além de possibilitar a medição matemática das características físicas de uma bacia hidrográfica tais como hipsometria, declividade, orientação de vertente, divisores de águas e talvegue para identificação de áreas de preservação permanente, áreas para adequação dos usos e deslizamentos de terras (CHRISTOFOLETTI, 1980). A morfometria também permite a mensuração de índices específicos, tais como fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade, que possibilitam identificar a susceptibilidade, os processos de inundação e as informações essenciais para o conhecimento das características da bacia, assim como, auxiliar a prevenção de ações em planos de revitalização e prevenir a vida de pessoas que residem em áreas afetadas (VILLELA; MATTOS, 1975).

A Sub-Bacia Hidrográfica Rio das Almas (SBHRA) ainda não foi contemplada com estudos específicos, não possuindo uma base de dados geográficos sistematizada que possa auxiliar o entendimento da sua dinâmica física e ambiental, limitando o planejamento do uso sustentável dos seus recursos naturais. Além disso, dados de pesquisas como esta podem contribuir na investigação de áreas de risco, principalmente em regiões com histórico de processo de enchentes e inundações, permitindo a compreensão dos eventos ocorridos até então e, até mesmo, a identificação e a mitigação dos impactos ambientais.

Visto isso, a fim de contribuir cientificamente a área de estudo, definiu-se os seguintes objetivos: obter a delimitação da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio das Alma, e, calcular sua morfometria, a partir de recortes de imagens SRTM, utilizando a proposta organizada por Christofoletti (1980) e posteriormente associar os valores históricos do índice pluviométrico susceptibilidade da bacia à inundação e deslizamento de terra e registros históricos de ocorrência de inundação na SBHRA.

2. Materiais e Métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A SBHRA encontra-se no Baixo Sul da Bahia (Figura 1), caracteriza-se por ser uma das principais unidades da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Sul (INEMA, 2020). Faz limites norte e oeste com a sub-bacia hidrográfica do Paraguassú, a sul a sub-bacia hidrográfica do rio de Contas. Concentra características políticas, sociais, econômicas e ambientais dos territórios de identidade do Baixo Sul da Bahia (1.705 km²), Vale do Jiquiriçá (661 km²) e Médio Rio de Contas (476 km²) (SEI, 2020), abrangendo os seguintes municípios: Apuarema, Cravolândia, Gandu, Itamari, Itaquara, Ituberá, Jaguaquara, Nova Ibiá, Nilo Peçanha, Piraí do Norte, Taperoá, Teolândia, Ubaíra e Wenceslau Guimarães, com uma população aproximadamente 237.558 habitantes (SEI, 2020; IBGE, 2020).

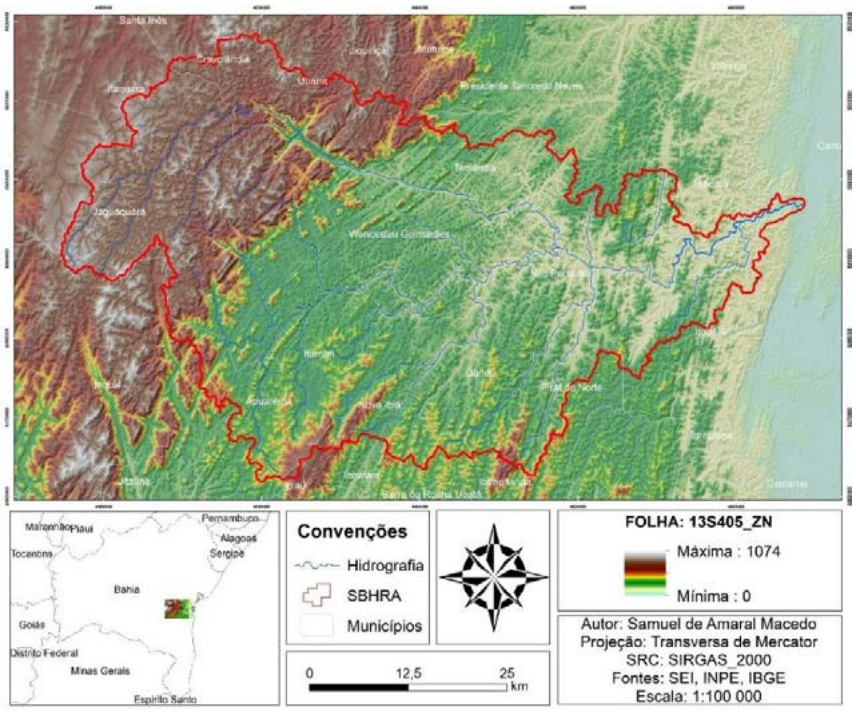


FIGURA 1: Localização da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio das Almas, Baixo Sul da Bahia.
Fonte: SEI (2018) e INPE (2011)

A SBHRA está inserida nos tipos climáticos "Af", "Am" e "Aw", de acordo com a classificação de Koppen. O clima Tropical Equatorial "Af" é o que abrange a maior parte da sub-bacia com aproximadamente 80% de área, ocorrendo na faixa litorânea, enquanto o clima de monções "Am" e Savana "Aw" abrange cerca de 19% de área e está presente na porção mais oeste da sub-bacia (UFG, 2018). A série histórica de 30 anos de dados de precipitação para os municípios presentes na SBHRA, disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, demonstra predominância das estações quente e chuvosa, com a maior precipitação média de 180 mm em abril, e o menor valor médio de 50 mm em fevereiro.

A litologia da SBHRA é variada, apresentando rochas ígneas, metamórficas e sedimentar. Os tipos de rochas supracitados foram mapeados da seguinte forma: Rochas ígneas, ocupando área de 29%, metamórficas, ocupando 26%, ígneas e metamórficas, ocupando 21%, sedimentar, sendo a segunda menor área com 15%, e sedimentar metamórfica ocupando a menor área, com 9%. Essa litologia, sob influência do clima supracitado deu origem a grandes áreas de latossolo e argissolo distróficos e eutóficos.

As classes de solo como maior expressão na SBHRA são: Latossolo (Vermelho-Amarelo Distrófico), Latossolos (Vermelho-Amarelo Distrófico) e Espodossolo Hidromórfico. Os solos da SBHRA são, em sua maioria, pouco férteis, 99% são distróficos (baixa a média fertilidade) enquanto 1% são eutróficos, de boa qualidade (EMBRAPA, 2018). Os Argissolos correspondem a aproximadamente 37% e está distribuído na área do alto, médio e baixo curso da sub-bacia. Os Espodossolos correspondem a menos de 1% da sub-bacia, presentes na área litorânea da Bacia Sedimentar Recôncavo-Tucano. A classe de solo de maior abrangência é o Latossolo, corresponde 62% da área da sub-bacia, presentes nos Tabuleiros Pré-Litorâneos e Tabuleiros Costeiros (EMBRAPA, 2020).

O modelado do relevo apresenta uma variedade. Destaque para as classes Dc33 (homogêneo convexa) e DEa34 (Estrutural convexa), que juntas ocupam uma área de 50%. As classes Dc43 (homogêneo convexa) e Dc44 (homogêneo convexa) ocupam uma área de 15% e 15%, respectivamente. Essas quatros classes apresentam formas tais como lombada, morros, montes e topos convexos. As demais classes apresentam áres inferiores a 20%. A classe geomorfológica Dc52 ocorrem de firma generalizada na paisagem, estado no contexto no litoral baiano, enquanto a classe Dc21 é característica da região da chapada diamantina, essa apresenta elevações agrupadas em maciços. A classe Dc32 apresenta um dos acidentes geográficos mais belos da região, conhecida como Serra da Papuã.

A vegetação é características da Mata Atlântica, com floresta nativa e vegetação secundária associadas ao cultivo agroflorestal, mais especificamente, o cultivo de cacau, caracterizando o sistema Cabruca, no qual o cacaueiro é plantado sob a copa das árvores nativas. A bacia engloba municípios inseridos na zona cacaueira do estado da Bahia. Além do cacau, a região também produz Banana, Graviola, Cravo entre outros (IBGE, 2016).

2.2 Metodologia, materiais e métodos do estudo morfométrico

A delimitação e a caracterização morfométrica da SBHRA foi realizada a partir de dados com informações do relevo, "representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, denominada modelo digital de elevação – MDE" (OLIVEIRA et al., 2010, p. 820). O MDE da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e TOPODATA são utilizados em estudos de caracterização de bacias hidrográficas (ELESBON, 2011; FERREIRA; MOURA; CASTRO, 2015; SIRIUS; VALE; NASCIMENTO, 2013; FRAGA et al., 2014; LOPES; RAMOS; LEAL, 2018).

Para realização do presente estudo, selecionou-se o MDE do projeto TOPODATA do INPE, manipulado com auxílio do guia para utilização de dados geomorfológicos, com técnicas de geoprocessamento, em *software* livre de Sistemas de Informações Geográficas QGIS 3.10 (VALERIANO, 2008). Utilizou-se também as bases cartográficas disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), Superintendência de Estudos Sociais e Econômicos da Bahia (SEI, 2014) e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE, 2019), para caracterização físico-ambiental da área de estudo.

Posteriormente realizou-se obtenção dos parâmetros morfométricos se deu a partir da proposta metodológica de Christofoletti (1980), que lista uma série de parâmetros conforme a Tabela 1, permitindo aplicação nos dados TOPODATA, para se trabalhar na escala espacial de 1:100 000. O primeiro parâmetro diz respeito a área da bacia hidrográfica (A), um elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos podendo ser expressa em quilômetros quadrados ou em hectares (TONELLO, 2005).

Já o perímetro (P), também presente na metodologia de Christofoletti (1980) refere-se a uma linha imaginária ao longo do divisor de águas expresso em quilômetros (TONELLO, 2005). O comprimento total dos cursos fluviais (Lt) diz respeito à soma de todos os comprimentos em quilômetros dos rios que fazem parte da bacia hidrográfica (VALE; BORDALO, 2020).

Com os valores de área e o perímetro é possível calcular o fator de forma (Kf), índice de circularidade (Ic) e o coeficiente de compacidade (Kc), que compõe a caracterização geométrica da bacia (Tabela 1), esses dados indicam se a bacia hidrográfica é ou não susceptível a enchentes ou se possui tendência para a conservação ambiental (VILLELA; MATTOS (1975).

Os atributos hipsométricos foram calculados em SIG, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) TOPODATA SRTM (INPE, 2011), os canais de primeira ordem permitiram estimar o número de nascentes. A densidade de drenagem (Dd) é expressa pela relação entre o comprimento total (Lt) de todos os cursos d'água da bacia e a área contribuinte (A), e auxiliam na visualização da velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, mostrando a eficiência da drenagem da bacia (FRANÇA, 1968; GUARIZ, 2008, VALE; BORDALO, 2020).

TABELA 1
Parâmetros morfométricos.

PARÂMETRO	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
Características geométricas		
Área de bacia	a	Calculado em sig
Perímetro	p	Calculado em sig
Fator de forma	$Kf = \frac{A}{L_{axial}^2}$	Villela e Mattos (1975)
Coeficiente de compacidade	$Kc = 0,28x\frac{P}{\sqrt{A}}$	Villela e Mattos (1975)
Índice de circularidade	$Ic = \frac{12,57xA}{P^2}$	Cardoso et al., 2006
Comprimento axial	L_{axial}	Calculado em sig
Características hipsométricas		
Altitude mínima	$H_{min.}$	Calculado em SIG
Altitude média	$H_{média}$	
Altitude máxima	$H_{máx.}$	
Amplitude altimétrica	$hm = H_{máx.} - H_{min.}$	
Declividade mínima	$I_{min.}$	
Declividade média	$I_{média}$	
Declividade máxima	$I_{máx.}$	
Orientação predominante	op	
Características da rede de drenagem		
Canais de 1ª ordem		
Comprimento do canal principal	L_p	
Comprimento total dos canais	L_t	
Densidade hidrográfica (dh)	$dh = \frac{I_{número}}{A}$	Horton (1945)
Densidade de drenagem (dd)	$dd = \frac{L_t}{A}$	Cardoso et al. (2006)
Coeficiente de manutenção (cm)	$cm = \frac{1}{Dd} \times 1000$	Schumm (1956)
Ordem da sub-bacia (wrim 30 m)	ord	Strahler (1957)
Padrão de drenagem	pd	

Fonte: Christofoletti (1981)

3. Caracterização morfométrica da Sub-Bacia Hidrográfia do Rio das Almas

3.1 Análise Geométrica

A partir dos resultados obtidos, verifica-se que a SBHRA possui área de 2.842 km², perímetro de 515 km e comprimento do eixo de 94 km. As outras medições geométricas da Sub-bacia, como o coeficiente de compacidade (Kc) 2,7, ao fator de forma (F) 0,32 e índice de Circularidade (IC) 0,13, presentes na Tabela 2, quando combinados, podem indicar que a sub-bacia se aproxima da forma retangular, informação relevante por revelar que a SBHRA não apresenta risco à inundação, em condições normais de precipitação, e, não tende concentrar deflúvio, considerando a interpretação a partir dos valores de referências estabelecidos por Villela e Mattos (1975).

Visto isso, observa-se que a SBHRA não deveria apresentar histórico de processo de inundação, porém, a pesquisa bibliográfica indiciou registros de ocorrência de inundação em alguns pontos específicos da Sub-bacia. De acordo com a Defesa Civil Nacional os municípios de Teolândia, Gandu, Taperoá e Nilo Peçanha estiveram na lista dos municípios em estado de calamidade divulgadas pela Defesa Civil Nacional nos anos de 2009, 2014 e 2018 (BRASIL, 2018).

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) realizou visitas técnicas nesses municípios para mapeamentos das áreas de risco de inundação, enchentes e deslizamento de terra (CPRM, 2013). Segundo a CPRM, as maiores enchentes aconteceram durante as décadas de 1980 e 1990, e as inundações mais recentes ocorreram no ano de 2014.

Diante o exposto, percebeu-se na presente pesquisa que a análise geométrica não deve ser realizada sem considerar as referências disponíveis relacionadas aos processos de enchentes e inundações, principalmente, se a área de estudo se tratar de uma bacia hidrográfica com área superior a 2.800 km², pois bacias menores podem apresentar tendências à inundações, como é o caso da Sub-bacia hidrográfica do Rio Gandu, afluente do rio das Almas (MACEDO, 2019).

TABELA 2
Características morfométricas da SBHRA

	Características morfométricas	Unidades	SBHRA
Características Geométricas	Área	km²	2.842
	Perímetro	km	515
	Comprimento Axial	km	94
	Coeficiente de compacidade (Kc)	-	2,7
	Fator de forma (F)	-	0,32
	Índice de circularidade (IC)	-	0,13
Características Hipsométricas	Altitude mínima	m	2
	Altitude média	m	488
	Altitude máxima	m	976
	Amplitude altimétrica (Hm)	m	974
Características da rede de drenagem	Número de canais de 1ª ordem		700
	Comprimento do canal principal	km	139
	Comprimento total dos canais	km	2.300
	Densidade hidrográfica (Dh)	canais/km²	0,7
	Densidade de drenagem (Dd)	km/km²	1,01
	Coeficiente de Manutenção (Cm)	m²/m	990
	Ordem da sub-bacia (SRTM 30 m)	-	7
	Padrão de drenagem	-	Dendrítico

Fonte: TOPODATA/INPE (2020).

A ocorrência de inundação na Sub-bacia do Rio Gandu não é um evento recente, as inundações acompanham a história do município. De acordo com os dados históricos do índice pluviométrico da estação de Gandu, disponibilizado pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC, 2020), o último ano da década de 1980 apresentou os maiores índices de chuva quando comparado aos anos posteriores, chegando a 496,5 mm de chuva no mês de dezembro, e média mensal de 97,4.

O município de Gandu é mais afetado pelos processos de inundação quando comparado aos demais municípios da SBHRA. Um dos moradores mais antigo afirmou. Segundo a CPRM (2013), o município de Gandu possui a maior área com elevada susceptibilidade à processo de inundação quando comparado a Taperoá, Nilo Peçanha e Teolândia.

Além dos processos de inundação, a SBHRA apresenta uma variedade de formas de relevo, principalmente, as de elevada declividade, com a presença da ocupação humana, caracterizando-se como áreas risco de deslizamento de massa, segundo a CPRM (2020).

3.2 Análise hipsométrica

Ainda na Tabela 2 verifica-se que a SBHRA apresenta altitude máxima, média e mínima de 976 m, 488 m e 2 m, respectivamente. A distribuição da hipsometria varia de 2 m para 976 m.

Significativa área de declive na SBHRA varia de suave ondulado (3 - 8 %) a ondulado (8 – 20%), somando 53,2% (Figura 2). A hipsometria, declividade e o índice pluviométrico favorecem a agricultura, mesmo a maior área sendo ocupada por solos distróficos, sendo necessário a correção a partir de insumos agrícolas. A região na qual a SBHRA está inserida é uma das maiores produtoras de cacau e banana do estado da Bahia e do Brasil.

O alto curso da bacia possui maior altitude e menor declividade, possibilitando o cultivo de eucalipto, facilitando o seu plantio e a sua colheita de forma com grandes máquinas. O perfil topográfico evidencia melhor a compartimentação do relevo da Sub-bacia, percebeu-se que no baixo e médio curso da Sub-bacia, os acidentes topográficos variam entre 2 e 390 metros, enquanto no alto curso a variação hipsométrica vai de 550 a 976 metros.

As maiores altitudes estão na porção da Sub-bacia próxima a Chapada Diamantina. A sobreposição dos mapas hipsométrico, clinográfico, pedológico e do uso e ocupação da terra revelou que as pastagens estão distribuídas por todo médio e alto curso da Sub-bacia, em alguns trechos da bacia hidroráfica, verificou-se pastagens em vertentes com declividade acentuada em áreas que deveriam ser destinadas à Áreas de Preservação Permanente.

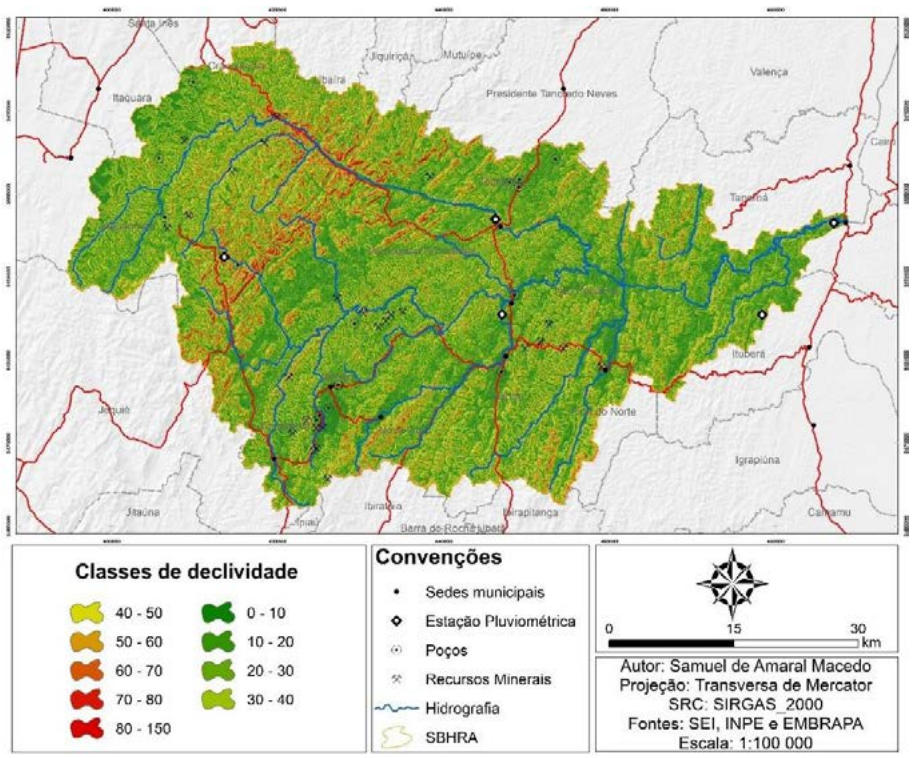


FIGURA 2: Declividade da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio das Almas, Baixo Sul da Bahia, 2021.
Fonte: TOPODATA/INPE (2020).

A sobreposição do mapa do uso e ocupação da terra aos mapas de declividade e hipsometria revelou que as áreas urbanas dos municípios de Gandu, Wenceslau Guimarães e Teolândia estão localizadas em relevos declivosos, caracterizando em áreas de risco, em alguns casos. Segundo a CPRM, os municípios supracitados apresentam áreas de risco de deslizamento de terra. As campanhas de campo permitiram verificar obras de contenção de encostas no município de Wenceslau Guimarães.

As referências consultadas não evidenciaram registros de ocorrência de deslizamento de terras em áreas habitadas, porém, há registros de deslizamento de massa em áreas íngremes do município de Teolândia.

A atividade de campo revelou que grande área da ocupação urbana de Teolândia e Wenceslau Guimarães estão localizadas em encosta com mais de 45º graus, porém, em ambos os municípios se observa diferentes graus de alteração da paisagem, com destaque ao município de Teolândia. A supressão vegetal e o remanejamento de solo antecedem a ocupação dessas áreas de encosta sem a realização de um estudo específico, sendo um risco à vida humana.

O relevo onde se localizam as áreas urbanas dos municípios de Teolândia e Presidente Tancredo Neves apresentam declividades que favorecem o escoamento da rede de drenagem, fazendo da SBHRA uma das mais ricas em quantidade de rios perenes, recebendo chuva o ano inteiro. Os rios da SBHRA foram detalhados no tópico a seguir, através da análise linear.

3.3 Análise linear

A partir da imagem TOPODATA/SRTM, adequada para a escala espacial proposta no presente estudo, foram mapeados 700 canais de primeira ordem, número importante para mapeamento e preservação das nascentes, o canal principal apresenta 139 km de distância e o comprimento total dos canais de drenagem foi de aproximadamente 2.875 km (Figura 3).

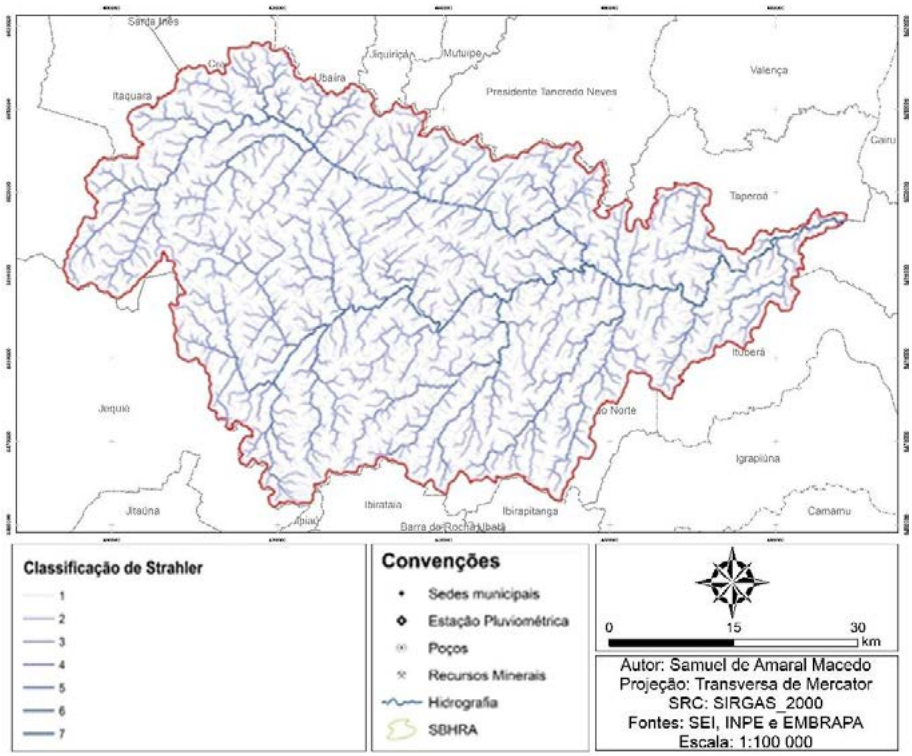


FIGURA 3: Hidrografia da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio das Almas, Bahia, 2018.
Fonte: TOPODATA/INPE (2020).

A região possui uma considerável área de Floresta nativa e Cacau quando comparada a outras regiões cacaueiras da Bahia. Dessa forma, muitas nascentes ainda estão protegidas em decorrência da presença das áreas florestais, também, em decorrência da regularização das propriedades rurais de acordo com o Novo Código Florestal, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

A bacia hidrográfica se apresenta como sendo de sétima ordem, a partir do recorte do TOPODATA de 30 metros de resolução espacial, considerando a classificação de Strahler (1957). O Coeficiente de manutenção (Cm) indica a qualidade da rede de drenagem, é adquirido pela relação inversa da densidade de drenagem e que fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (SCHUMM, 1956). Esse dado permite representar qual seria a área necessária para a manutenção de um metro de curso fluvial perene (SANTOS, 2012).

Assim, em termos de balanço hidrodinâmico da BHRA, os resultados obtidos indicam que são necessários 990 m² de área para manter perene cada metro de canal na SBHRA. O tipo de cultivo agroflorestal também ajuda a manter o rio das almas e seus afluentes perenes durante o ano inteiro. As atividades de campo possibilitaram mapear as principais causas degradantes dos recursos hídricos, são elas: desmatamento da mata ciliar, despejo de efluente e uso intenso de agrotóxicos.

Ainda na Figura 3 observa-se um padrão drenagem dendrítico, característicos de relevos acidentados, com grande variação hipsometrica e clinográfica, a morfologia da drenagem predominante é meandrante podendo ser retilíneo--meandrante em alguns trechos dos cursos d'água das Almas, com presença de anomalias. Durante as atividades de campo e leitura de imagens do *Google Earth*, não foram encontrados meandros abandonados. Em alguns trechos dos rios encontraram-se ilhas fluviais, em uma delas foi construído um empreendimento com restaurante e bares para atender uma demanda local, no entanto, esse tipo de obra conflita com a legislação ambiental.

Além do uso para lazer, as águas da sub-bacia abastecem mais de 200.000 pessoas, que residem nos 14 municípios localizados dentro dos seus limites. Essas águas também irrigam os solos para os diversos usos assim como a manutenção das áreas ocupadas por florestas, que por sua vez se consolidam na região devido às características dos cultivos agroflorestais.

4. Conclusão

A SBHRA é uma unidade territorial importante para a Bacia do Recôncavo Sul e para os territórios de Identidade do Baixo Sul da Bahia, Médio Rio de Contas e Vale do Jiquiriça, no entanto ela ainda pouco explorada em pesquisas científicas. O presente estudo propicia investigações específicas relacionadas aos sistemas naturais e antrópicos. A presente pesquisa caracterizou os aspectos físicos, ambientais da SBHRA e os principais problemas decorrentes do uso inadequado da terra.

No que diz respeito às características geométricas, tais como Coeficiente de compacidade (Kc), Fator de Forma (F) e Índice de Circularidade (IC), constata-se que a SBHRA não é susceptível à inundação em condições normais de chuvas, mas apresenta histórico de inundações em áreas urbanas construídas em planície de inundação de afluentes do rio das almas, sendo necessário realizar a caracterização morfometrica das bacias menores, confrontar com as áreas de risco mapeadas pela CPRM, dados históricos de precipitação e ocorrência de inundações, podendo ser um documento importante no planejamento de ações mitigadoras.

Determinadas áreas da SBHRA apresentam elevado valor de amplitude altimétrica, favorecendo o escoamento acelerado e lixiviação em áreas de solo exposto e/ou diminuir o tempo de permanência da água em áreas de pastagem. A maior área da bacia hidrográfica apresenta relevo suave ondulado e ondulado, mas algumas áreas urbanas possuem relevo com declividade superior a 45° (BRASIL, 2012), com alerta de risco de deslizamento de terra, esse relevo favorece também o uso da terra a partir de cultivos e pastagem.

Referências

ANAC - Agência Nacional de aviação civil. Orientações para usuários de drone. <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf>. Acesso em: 02 de abr. de 2018.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista - Guamiranga-PR. **Revista on line Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 21, p. 46-58, 2007.

AcATaMa - Plugin Qgis para avaliação de precisão de mapas. Dosponível em: <temáticoshttps://smbyc.github.io/AcATaMa/>. Acesso em: 15 de fev. de 2020.

BAHIA - Governo do Estado da Bahia. Plano Estratégico de revitalização do Rio Cachoeria. 2017. Disponível em: http://www.meioambiente.ba.gov.br/arquivos/File/Projeto_Cachoeira/Participacao_Et3_rev1.pdf. Acesso em: 5 de maio de 2020.

BRASIL. **LEI nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Planalto: Casa civil, [1997]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 18 mar. 2020.

_____. Política Nacional de Recursos Hídricos. 1997. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 20 de abr. de 2020.

_____. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Lista dos municípios em estado de calamidade pública por causa de processo de enchente e inundação. Disponível em:<https://www.gov.br/mdr/pt-br/composicao/secretarias-nacionais/protecao-e-defesa-civil> Acesso em: 18 de out. de 2020.

_____. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Planalto: Casa civil, [2012]. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 18 mar. 2020.

BORSATO, F.; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Human and Social Sciences, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.

SMITH, W. S. BARELLA, W. PETRERE, M. MONTAG, L. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 2, p. 187-207, 2000.

CARDOSO, C. A. DIAS, H. C. T. SOARES, C. P. B. MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Revista árvore, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARMO, A. M. do. **Utilização do geoprocessamento como subsídio para análise morfométrica e de risco geológico das serras da porção sul do Maciço Central do Ceará**. 2014. 127f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CAMPOS, S. FELIPE, A. C. CAMPOS, M. RECHE, A. M. Geoprocessamento aplicado na caracterização morfométrica da microbacia do ribeirão descalvado–Botucatu, SP, **Irriga**, Rio Claro, v. 1, n. 1, p. 52-65, maio. 2015.

CEPLAC - Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. índice Pluviométrico. Disponível em:<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac>. Acesso em: 6 de jul. de 2020.

CEPTEC - Centro de prevenção de tempo e estudos climáticos. Tempo e clima. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 02 de jan. de 2019.

COSTA JÚNIOR, J. S. da. COSTA JÚNIOR, J. S. da. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento na caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica situada no município de Silves, AM**. 2018. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara – CESIT/UEA, Itacoatiara, 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313 p.

CNES - . Orfeo ToolBox. Disponível em:< https://www.orfeo-toolbox.org/2020/08/>. Acesso em. 05 de fev de 2020.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Setorização de Riscos Geológicos - Bahia. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos---Bahia-4873.html. Acesso em: 3 de jul. de 2020.

DUTRA, L. V.; SOUZA, R. C. M.; MITSUO II, F. A.; MOREIRA, J. C. Análise automática de imagens multiespectrais. São Jose dos Campos: INPE, 1981. 40 p.

EMBASA - Empresa Baiana de Águas e Saneamento. **Transparência municípios**. Disponível em <http://www.embasa.ba.gov.br/ >. Acesso em 25 de maio de 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Classificação de solos**. Disponível em: < https://www.embrapa.br/solos>. Acesso em 20 de jun. de 2020.

ELESBON, A. A. A. GUEDES, H. A. S. SILVA, D. D. DA. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica

da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus-Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 3, p. 281-288, jul./set. 2011.

FARIA, M. M.; BARROS, K. de. O.; BRITO, C. R. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio dos Bagres, Guiricema, MG. Recuperado de http://lsie. unb. br/ugb/sinageo/7/0246. pdf, 2018.

FERREIRA, R.; MOURA, M.; CASTRO, F. Uso de plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Pancas–Brasil. **Nativa**, Cuiabá, v. 3, n. 3, p. 210-216, jul./set. 2015.

FELDE, J. T. OLIVEIRA FILHO, P. C. DE. SIEKLICKI, J. TELEGINSKI, E. HERAKI, L. LEITE. R. DE. S. Identificação das áreas de risco à enchente do Município de Rio Azul-PR com base no estudo da sub-bacia urbana do Rio Faxinal. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 6, p. 39149-39160, 2020.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Anais...**, Florianópolis - SC, 2007 p. 5755-5762.

FRAGA, M. de. S. FERREIRA, R. G. SILVA, F. B. VIEIRA, N. P. A. SILVA, D. P. da. BARROS, F. M. MARTINS, I. S. B. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Nativa**, Cuiabá, v. 2, n. 4, p. 214-218, out./dez. 2014.

FREIRE, A. J.; LAGE, G. B.; CHRISTÓFARO, L. C. Comparação entre parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas gerados por dados SRTM e ASTER GDEM: estudo de caso para bacias do Vale do Jequitinhonha-MG. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVI, 2013, Foz do Iguaçu-PR. **Anais...** Foz do Iguaçu (PR), Brasil, 2013. p. 5443.

GOMES, E. P. PESSOA, F. C. L. SANTANA, L. R. CRUZ, J. DA. S. Avaliação da Degradação Hídrica na Bacia Hidrográfica Tocantins Araguaia. Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, n. 3, p. 503-513, 2019.

GUARIZ, H. R. Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do Córrego

Jaqueira-Alegre, ES. 2008. 153f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Programa

de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES,

Alegre, 2008.

HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical approach to quatitative morphology. New York: **Geological Society of American Bulletin**, 1945. v.56. p. 807-813.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geoinformação - Cidades**. Disponível em < https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 19 de ago. de 2020.

INEMA, Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Sul**. Disponível em <https://www.sosma.org.br/artigo/conservacao-da-mata-atlantica-brasileira-um-balanco-dos-ultimos-dez-anos/>. Acesso em 25 de abr. de 2020.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/ >. Acesso em 08 de maio de 2020.

_____. **Classificação supervisionada pixel a pixel**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/classif/classif.htm#:~:text=Classificadores%20%22pixel%20a%20pixel%22%3A,pixel%20para%20achar%20regi%C3%B5es%20homog%C3%AAneas.&text=A%20informa%C3%A7%C3%A3o%20de%20borda%20%C3%A9,unir%20%C3%A1reas%20com%20mesma%20textura.> Acesso em: 06 de jul. de 2020.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2009. Disponível em<http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9351/1/Revitalizacao%20da%20bacia%20hidrografica%20%20do%20rio%20s%C3%A3o%20francisco.pdf>. Acesso em: 15 de jun. de 2020.

LANDIS, J.; KOCH, G. **The measurement of observer agreement for categorical data, Washington, USA**. Biometrics, v. 33,

n. 1, p. 159-174, 1977.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

LOPES I.; RAMOS, C. M. C.; LEAL, B. G. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 31-40, ago. 2018.

MACEDO, S. de. A.; MOREAU, M. S.; SPANGHERO, P. E. S. F. Caracterização morfométrica e uso e ocupação da terra da microbacia hidrográfica do rio água branca de Itabuna-BA. REVISTA GEONORTE, v. 10, n. 34, p. 82-99, 2019.

MACEDO, S. A. análise hidromorfológica das sub-bacias hidrográficas do rio gandu e rio braço do norte, baixo sul da Bahia, Brasil. Simpósio Nacional de Geomorfogia. 2019. Anais. 8 página, Crato, Ceara. Editora União da Geomorfologia Brasileira.

MELO, M. T. DE. QUEIROZ, T. M. DE. VINAGAL. V. FERREIRA, J. R. DOS. S. QUALIDADE DA ÁGUA PARA A IRRIGAÇÃO, A SUSTENTABILIDADE DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA-RIACHO QUEIMA PÉ, TANGARÁ DA SERRA/MT. Caminhos de Geografia, v. 21, n. 76, p. 16–27-16–27, 2020.

MOTTA, L. Plugin Qgis. Disponível em:<https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/plugins?monthRange[0]=2018-11&monthRange[1]=2021-04>. Acesso em: 7 de mar. de 2020.

Nardini, R.C. Campos, S. Gomes, L.N. Ribeiro, F.L., Pissarra, T.C.T. Campos, M. Técnicas de geoprocessamento para análise morfométrica da microbacia do ribeirão alto água fria–bofete (SP), **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas,** v. 10, n. 2, p. 170-180, jul. 2016.

OLIVEIRA, P. T. S. DE. SOBRINHO, TE. A. STEFFEN, J. L. RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010.

OLOFSSON, P.; FOODY, G. M.; STEHMAN, S. V.; WOODCOCK C. E. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. Remote Sensing of Environment, v. 129, 122–131, 2013.

OLOFSSON, P.; HEROLD, M.; STEHMAN, S. V.; WOODCOCK, C. E.; WULDER MA. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment, v. 148, 42–57, 2014.

PEREIRA. L. C. F., BRITO. G. H. M., VESPUCCI. I. L., ROCHA. J. De. F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio dos patos, go. Ipê Agronomic Journal, v. 3, n. 1, p. 4-13, 2019.PIRAJÁ, R. V.; REZENDE FILHO, A. T. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Córrego Ceroula em Mato Grosso do Sul. Geofronter, v. 1, n. 5, 2019.

QGIS ORG. Download do software Qgis. Disponível em:< https://qgis.org/pt_BR/site/>. Acesso em: 01 de fev. de 2020.

SANTOS. Dos. A. M., TARGA. M. Dos. S., BATISTA. G. T., DIAS. N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195 211, 2012.

SOARES. L. S., LOPES. L. G. R., CASTRO. A. C. L., ARAUJO. G. M. C. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 82-100, abr. 2016.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597- 646, 1956.

SEI - Superintendência De Estudos Econômicos e Sociais. **Base cartográfica digital**. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/images/informacoes_por/territorio/indicadores/pdf/baixosul.pdf>. Acesso em 10 de abr. de 2020.

_____. Informações sobre território de identidade e cidade. 2020. Diponível em: <https://www.sei.ba.gov.br/> Acesso 17 de ago. de 2020.

_____. Base cartográfica digital. Disponível em:<https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=111&Itemi>. Acesso em: 03 de abr. de 2020.

_____. Pesquisa Agrícola Municipal na Bahia. 2016. Disponível em: <https://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2528:sei-divulga-dados-da-pesquisa-agricola-municipal-na-bahia-em-2016&catid=10&Itemid=565>. Acesso em: 12 de abr. de 2019.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: Tucci, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre. UFRGS: ABRH, 2001. Cap.2, p.35-51.

SIMON. A. L. H., XAVIER. K. D., PAGANOTTO. V. D., PACHECO. C. Da. R. Análise morfométrica das bacias de captação das cachoeiras do município de Pelotas (Rio Grande do Sul-Brasil): subsídios para ações de geoconservação. Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente, v. 1, n. 2, p. 139-154, 2019.

SOUZA, S. O.; VALE, C. C. do.; NASCIMENTO, Fabrício Holanda. BACIA DO RIO PERUÍ PE (BA): ENSAIO DE CLASSIFICAÇÃO MORFOMÉTRICA POR MEIO DE DADOS SRTM. Caminhos de Geografia, v. 14, n. 47, 2013.

STRAHLER, Arthur N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

TEODORO. V. L. I., TEIXEIRA. D., COSTA. D. J. L., FULLER. B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

TONELLO, K. C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005.

THOMAS, W.W., JARDIM, J.G., FIASCHI, P. & AMORIM, A.M. 2003. Lista preliminar das angiospermas localmente endêmicas do Sul da Bahia e Norte do Espírito Santo, Brasil. In Corredor de Biodiversidade da Mata Atlântica do sul da Bahia (P.I. Prado, E.C. Landau, R.T. Moura, L.P.S. Pinto, G.A.B. Fonseca & K. Alger, eds.). IESB/CI/CABS/UFMG/UNICAMP, Ilhéus. (CD-ROM.

UFG, Universidade Federal de Goiás. **Classificação climática de Köppen-Geiger**. Disponível em: <https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica____o_Clim__tica_

Koppen.pdf>. Acesso em 25 de abr. de 2020.

VALERIANO, M. M. TOPODATA: **guia para utilização de dados geomorfológicos locais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**. São José dos Campos, 2008. INPE-15318-RPQ/818. Disponível em:< http://mtcm16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2020.

VALE, J. R. B.; COSTA, L. S.da.; PIMENTEL, M. A. da. S. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Mocajuba, zona costeira Amazônica. Geosul, v. 36, n. 78, p. 537-557, 2021.

VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E DO USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APEÚ, AMAZÔNIA ORIENTAL. Formação (Online), v. 27, n. 51, 2020.

VENTURIERI, Adriano; SANTOS, JR dos. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura, v. 2, p. 351-371, 1998.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

ZANCHETTA, M. L.; ROSA, D. M. Uso de imagens Landsat para o monitoramento da cobertura florestal de três RPPN em Rondônia. **Nativa**, Cuiabá v. 8, n. 2, p. 205-209, mar./abr. 202.

CARTA GEOMORFOLÓGICA DO DISTRITO DE DOLEARINA (ESTRELA DO SUL/MG): SETOR DE TRANSIÇÃO DOS PLANALTOS TABULARES DA BACIA DO PARANÁ PARA OS PLANALTOS DISSECADOS DA FAIXA BRASÍLIA

Luis Felipe Ferreira Batista
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) LMG-746, Km 1, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: luisfebat@gmail.com
Alan Silveira
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) LMG-746, Km 1, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: alan.silveira@ufu.br

Resumo

O presente trabalho teve o objetivo de elaborar um Mapeamento Geomorfológico em setor de transição dos Planaltos Tabulares da Bacia Sedimentar do Paraná para os Planaltos Dissecados da Faixa de Dobramentos Brasília. A área de estudo localiza-se no distrito de Dolearina (Gameleira), pertencente ao município de Estrela do Sul (MG), posicionado na Mesorregião do Triangulo Mineiro e Alto Paranaíba. A partir da interpretação de ortofotos (escala 1:25.000) e imagens de satélite, bem como de atividades em campo foi possível delimitar unidades de relevo e apontar indicativos da dinâmica e evolução do relevo. Os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, assim como os de morfogênese e pedogênese foram importantes para a análise dos resultados. Sendo assim, a carta Geomorfológica organizada foi dividida em três setores, a saber: Planaltos Tabulares, Escarpas em Patamares Estruturais (Área de Transição) e Planaltos Dissecados.

Palavras-chave: Relevo residual, planalto dissecado, planalto tabular, mapeamento geomorfológico.

1. Introdução

É de conhecimento que a ciência geomorfológica estuda as formas de relevo e assim como outras ciências, passou por evoluções e adaptações manifestas pela visão e sensibilidade dos geomorfólogos ao longo do tempo. Penteado (1983), ressalta que o objetivo da Geomorfologia é o entendimento sobre a gênese dos diferentes terrenos e a dinâmica dos processos que atuam sobre a superfície terrestre. Em *The Geographical Cycle*, Davis (1899) descreve as formas do relevo como produto de três variáveis, sendo o tempo, o processo, do qual diz respeito às ações intempéricas químicas e mecânicas, e a estrutura. Mecerjacov (1968), aborda a evolução do relevo a partir dos conceitos de morfotectura, morfoestrutura e morfoescultura, os quais fundamentam-se na premissa de Penck (1924) quanto à concomitância das forças endógenas e exógenas (CASSETI, 2005).

Ross (1992) indicou os trabalhos de Penck (1924) (forças concomitantes), de Gerasimov (1946) e Mecerjakov (1968) (morfoestrutura e morfoescultura) e os procedimentos metodológicos do Projeto RadamBrasil, como base da proposta taxonômica de mapeamento do relevo. Segundo o Boletim Técnico do Projeto RadamBrasil (1984), o mapeamento geomorfológico tem como princípios básicos: a descrição detalhada das formas de relevo; o conhecimento sobre a altimetria do terreno; os domínios morfoclimáticos e morfoesculturais representados na carta; a dinâmica da evolução da fisiografia do relevo atual; o mapeamento das formações superficiais; e, principalmente **a** geologia como elemento essencial, pois essa deve suprir informações que levarão a delimitação de feições na cartografia geomorfológica.

Em manual técnico de geomorfologia do IBGE (2009), os fatos geomorfológicos são agrupados e cartografados segundo taxonomia descrita em Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e letras-símbolos, além de Formas de Relevo Simbolizadas. Casseti (2005) aponta que a cartografia geomorfológica permite a representação da gênese das formas de relevo e suas relações com a estrutura e processos, assim como com a própria dinâmica dos processos.

Quanto a essa dinâmica dos processos, Tricart (1977) estabeleceu graus de estabilidade morfodinâmica (meios estáveis, intergrades e instáveis) para serem cartografados a partir das relações estabelecidas entre a morfogênese e a pedogênese. Tal perspectiva de cunho sistêmico, bastante difundida no Brasil a partir da década de 1970, se utiliza das classificações de Erhart (1955), quanto a bioestasia e resistasia. A relação morfogênese e pedogênese de Tricart (1977) relacionou os meios estáveis a bioestasia, e os meios instáveis a resistasia, sendo os meios intergrades o diferencial, por buscar uma maior aproximação da dinâmica natural, refinando a compartimentação entre dois estágios limite (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

Assim, o trabalho teve o objetivo de organizar uma carta geomorfológica para um setor de transição entre os Planaltos Tabulares da Bacia Sedimentar do Paraná (BSP) e os Planaltos Dissecados da Faixa de Dobramentos Brasília (FDB), com intuito de subsidiar a investigação da relação entre a morfogênese e pedogênese. A área contemplada para o mapeamento geomorfológico proposto está localizada na área rural do distrito de Dolearina, conhecida localmente como Gameleira, pertencente ao município de Estrela do Sul, estado de Minas Gerais, Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Figura 1).

De acordo com mapeamento geomorfológico do Triângulo Mineiro organizado por Baccaro *et al.* (2001), a área está inserida em duas Unidades Morfoestruturais: Complexo Granito-Gnáissico e Metassedimentar, correspondente a FDB, e; a BSP. Em um segundo nível taxonômico, seguindo a metodologia

de classificação proposta por Ross (1992), tem-se as Unidades Morfoesculturais dos Planaltos Dissecados do Paranaíba, com altitudes entre 600 e 1000 metros, e; os Planaltos Tabulares, entre cotas de 950 e 1050 metros (BACCARO *et al.*, 2001).

Em estudos realizados por Motta *et al.* (2004), Baccaro *et al.* (2001) e Chaves e Dias (2017), notam-se o maior desenvolvimento pedogenético sobre os Planaltos Tabulares, a exemplo da extensa cobertura latossólica observada neste setor. Já sobre os Planaltos Dissecados, observam-se a maior atuação da morfogênese, resultando em solos rasos que estão sob a atuação de processos erosivos. Outro fator importante, é a forma aplainada e a cota altimétrica em que o Planalto Tabular se encontra, podendo ser correlacionado à superfície sul-a-mericana reconhecida por King (1956). Nas bordas desse Planalto, registram-se níveis lateríticos, que também foram correlacionados por Braun (1970) a essa superfície erosiva.

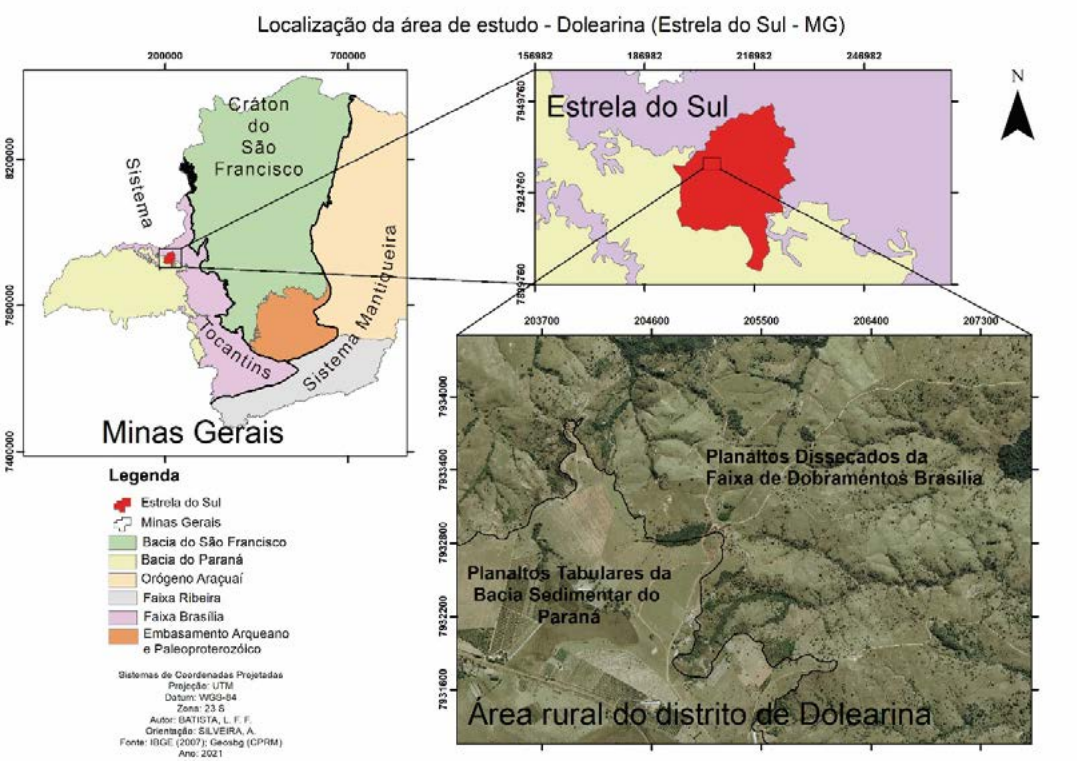


FIGURA 1: Localização da área de estudo.

Os mapeamentos geológicos e geomorfológicos já realizados no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba estão inseridos em escalas regionais, naturalmente restringindo a investigação dos processos em escala de detalhe. A região que envolve os municípios de Abadia dos Dourados, Coromandel, Estrela do Sul, Monte Carmelo e Romaria dotam de características geológicas e geomorfológicas complexas que potencializam estudos em escalas de detalhe. Na área selecionada para esse trabalho, por exemplo, a transição entre a BSP e a FDB é abrupta, marcada por uma notável quebra no relevo, marcando um *front* escarpado. Sendo assim, foi proposta a investigação da dinâmica do relevo em uma escala de detalhe, a partir da aplicação de procedimentos técnicos da cartografia geomorfológica para a área rural do distrito de Dolearina, os quais são apresentados na sequência do texto.

2. Caracterização da área de estudo

Conforme mencionado anteriormente, o distrito de Dolearina se assenta sobre os Planaltos Tabulares da BSP e transita, em direção norte, para os Planaltos Dissecados da FDB. Na primeira unidade morfoestrutural encontram-se a Formação Marília e as Coberturas Detrítico-Lateríticas Coluvionares, enquanto na segunda, registra-se a presença do Ortognaisse Goiandira (CHAVES e DIAS, 2017).

A BSP é constituída de pacote sedimentar-magmático com cerca de 7 mil metros de espessura e tem área de 1,5 milhão de quilômetros quadrados que inclui o Brasil meridional, porções do Paraguai, Argentina e Uruguai (MILANI *et al.* 2007). A gênese e evolução da Bacia ainda são discutidas, com argumentos que apontam como consequência da contração térmica pós Ciclo Brasiliano, conforme Zálan *et al.* (1990) *apud* Milani *et al.* (2007). Já para Fulfaro *et al.* (1982) *apud* Milani *et al.* (2007), deriva do conjunto de calhas aulocogênicas orientadas em NW-SE que acarretaram a sedimentação, orientação essa que segue a forma de depressões alongadas que se deu a Bacia.

A FDB possui 300 quilômetros de largura e 1200 quilômetros de extensão (UHLEIN, 2012). Como evidenciado por Fuck (1994), está localizada na Província Tocantins, ocupando seu setor oriental, a qual apresenta sentido NW-SE e pode ser colocada como uma faixa de empurrões e dobras (VALERIANO, 1992). Segundo Seer e Moraes (2017), o Orógeno Brasília evoluiu na margem oeste do Cráton São Francisco e é formado por terrenos acrescionados durante colisões de arcos e sistemas de *nappes* das paleoplacas do São Francisco, Amazonas e Paranapanema durante o Neoproterozóico, no qual o grau de deformação e metamorfismo das rochas diminui em direção ao Cráton do São Francisco. Ou seja, há o aumento do metamorfismo de leste para oeste, ocorrendo de incipiente até fácies granulito (SILVA, 2006).

O Ortognaisse Goiandira pertence ao embasamento Granito-Gnáissico de idade proterozóica, sendo coberto na parte sul pela sequência vulcânica e sedimentar da BSP (CHAVES e DIAS, 2017). Para os autores, as litologias principais são compostas por biotitas e muscovita-biotita gnaisses, inequigranulares, com foliação bem marcada, e ao longo da foliação principal podem ser encontrados enclaves boudinados de anfibolitos. Klein (2008) usa dados de datação por meio de U-Pb em zircão que permitiram chegar a idades em torno de 640 Ma para o Ortognaisse Goiandira.

Logo acima do Ortognaisse Goiandira, podem ser encontrados os sedimentos da Formação Marília, a qual foi dividida nos Membros Echaporã, Serra da Galga e Ponte Alta (FERNANDES e COIMBRA, 2000). Esta Formação ocorre na borda nordeste da Bacia Bauru com deposição relacionada a leques aluviais com sistemas fluviais entrelaçados e presença de dunas eólicas pequenas (CHAVES e DIAS, 2017). As Coberturas Detrítico-Lateríticas Coluvionares estão posicionadas acima dos sedimentos da Formação Marília e podem ser encontradas nos Planaltos Tabulares da BSP. Na área de estudo, destaca-se que nas bordas do Planalto Tabular são encontradas lateritas que sustentam as feições escarpadas do relevo.

Segundo mapeamento de Chaves e Dias (2017), a Formação Marília é constituída principalmente por arenitos finos a médios, localmente grossos, brancos a vermelhos, em geral imaturos e ferruginosos, laterizados, mostrando níveis pelíticos ferruginosos esparsos. Já as Coberturas Detrítico-Lateríticas Coluvionares são depósitos sedimentares inconsolidados, predominantemente constituídos de quartzo-silto-arenosos amarelados ou avermelhados, de granulação fina a média, sendo por vezes associados a carapaças lateríticas ferruginosas ou cascalheira de quartzo (CHAVES e DIAS, 2017).

Segundo trabalho de levantamento de solos do Alto Paranaíba realizado por Motta *et al.* (2004), a região de interesse é caracterizada por três diferentes classes de solos: Gleissolos, Latossolos Amarelo e Argissolos Vermelho-Amarelo. Segundo Baccaro *et al.* (2001), nos domínios do Ortognaisse Goiandira, registram-se a presença de solos Podzólicos (Argissolos), Latossolos e Cambissolos, ao passo que nos domínios da BSP, indicaram a presença de Latossolos Vermelho e Latossolos Vermelho-Amarelo.

Novais *et al.* (2018), utiliza temperatura média do mês mais frio (TMMMF) para delimitar os domínios climáticos em todo o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, assim como os climas zonais. Segundo o autor, na área em estudo são encontradas temperaturas médias que variam entre 18 e 20 °C, pluviosidade média anual entre 1450 – 1600 mm, com cerca de 5 a 6 meses de seca, e domínio de clima Tropical e subdomínio semiseco (NOVAIS *et al.*, 2018).

3. Metodologia

A metodologia abrigou três etapas sequenciais, a saber: levantamento bibliográfico/cartográfico e trabalho de campo/reconhecimento (Etapa 1); fotointerpretação e trabalhos de campo/reambulação (Etapa 2) e; edição do mapeamento e discussão dos resultados (Etapa 3).

Na etapa 1, foram realizados levantamentos bibliográficos e cartográficos acerca da FDB e BSP, assim como buscas por pesquisas geológicas, geomorfológicas, pedológicas e climáticas em escalas regionais e locais que contemplassem a área de estudo. Além disso, também foram investigadas metodologias de mapeamentos geomorfológicos. Na sequência, foi realizado um trabalho de campo para reconhecimento da área, com fins de delimitação, de verificação do potencial e de viabilidade para realização do trabalho. Com isso foi delimitado para o estudo uma área de 15,9 quilômetros quadrados, sendo 3,3 mil metros de comprimento (N-S) por 4,7 mil metros de largura (L-O).

Na etapa 2, a classificação dos objetos mapeáveis foi efetuada a partir de fotointerpretação em ambiente SIG das diferentes tonalidades, formas, padrão e rugosidade do relevo, por meio da Ortofoto, Folha 2452-1-SE, do município de Estrela do Sul – MG, em escala 1:25.000 (IBGE, 2007). Para atualização temporal das imagens, fez-se uso do Google Earth.

Para a delimitação dos Planaltos Tabulares da BSP e dos Planaltos Dissecados da FDB, adotaram-se os princípios de morfoestrutura e morfoescultura de Mecerjacov (1968), atribuídos respectivamente, ao primeiro e segundo nível taxonômico proposto por Ross (1992). A partir desses compartimentos foram delimitados três setores, que corresponderam às unidades morfológicas dos Planaltos Tabulares, das Escarpas em Patamares Estruturais e dos Planaltos Dissecados. Para essa delimitação atentou-se para os graus de entalhamento dos vales, a densidade de drenagem, a declividade, bem como as feições e a amplitude do relevo. Registra-se que por hora, não foi aplicado a matriz dos índices de dissecação para cada setor, como orienta a proposta de Ross (1992).

Para esses três setores foram aplicadas as orientações técnicas de Tricart (1965), para o detalhamento das feições mapeadas. Foram registradas feição estrutural, formas de vertentes e interflúvios (formas de topos e vertentes, formas denudativas e relevo residual), dados topográficos, ação das águas correntes (feições hidrográficas, modelados de entalhe e formas de acumulação) e modelados antrópicos. Concluído o processo fotointerpretativo, com intuito de verificar as informações mapeadas, dirigiu-se novamente ao campo.

Na etapa 3, realizou-se a edição final da carta Geomorfológica, fazendo uso

das simbologias propostas por Tricart (1965). Além dessas simbologias, também se fez uso daquelas propostas por Verstappen e Zuidam (1975), para formas de topos e vertentes; assim como das utilizadas por Pinton (2016), para morros testemunhos e patamares estruturais; e de dales indicadas pelo IBGE (2009). Para a edição dessas simbologias no ArcGis 10.5 foram utilizadas as recomendações de Paschoal *et al.* (2010).

A análise e discussão dos resultados esteve apoiada principalmente nos conceitos de Mecerjacov (1968), os quais foram utilizados na proposta taxonômica de Ross (1992). Além disso, também se utilizou o conceito de balanço morfogenético de Tricart (1977), que deriva da relação entre a morfogênese e a pedogênese. As feições mapeadas em detalhe foram importantes para essa interpretação, conforme aponta os resultados e discussão.

4. Resultados e Discussões

A área rural mapeada no distrito de Dolearina está localizada na transição dos Planaltos Tabulares da BSP para os Planaltos Dissecados da FDB, conforme pode ser visto na carta Geomorfológica (Figura 2). Tais unidades morfoesculturais foram divididas em três setores (unidades morfológicas), sendo estes: os Planaltos Tabulares, as Escarpas em Patamares Estruturais (transição) e os Planaltos Dissecados. No contínuo do texto, esses três setores passam a ser apresentados e discutidos a partir dos dados adquiridos no mapeamento, procurando contribuir para a análise da relação entre a morfogênese e a pedogênese na área estudada.

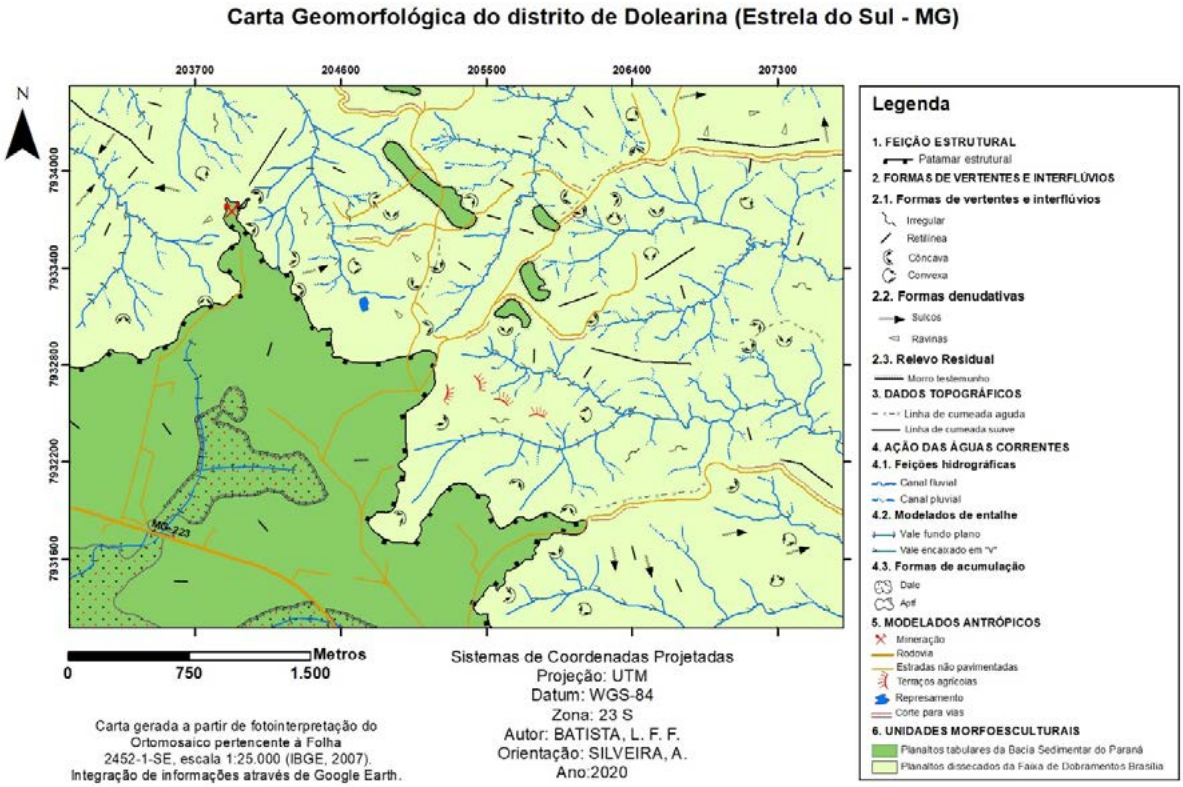


FIGURA 2: Carta Geomorfológica do distrito de Dolearina, Estrela do Sul, Minas Gerais.

4.1 Setor dos Planaltos Tabulares

Nesse setor o relevo se comporta de forma aplainada com reduzidas declividades e graus de entalhamento da drenagem, além de amplos interflúvios. Tais condições favorecem o predomínio da pedogênese sobre a morforgênese.

Nas feições tabulares, em extensas vertentes retilíneas que se dirigem suavemente aos fundos de vale, foram registrados a presença dominante de espessos Latossolos Vermelho-Amarelo. Corrobora com essa observação a colocação de Chaves e Dias (2017), quando afirmam que as Coberturas Detrítico-Laterítica Coluvionares podem chegar até 40 metros de espessura para essa área. Nota-se, na carta Geomorfológica (Figura 2), que há uma ausência de formas denudativas, fator este que mitiga a morfogênese.

Nos vales, destacam-se a presença das Áreas de Planícies e Terraços Fluviais (aptf) (Figura 3-A), que são habitadas pelas veredas, descritas por Ab'Sáber (1983) como matas galerias em solos arenosos mal pedogenizados, que formam diques marginais para os canais intermitentes nas porções centrais dos chapadões. Embora se verifiquem pontuais buritis, a morfologia anfiteátrica denota esse espaço de vereda. Conforme pode ser observado na carta Geomorfológica (Figura 2), os vales em fundo plano, apresentam um baixo grau de entalhamento, fator que colabora para a acumulação de sedimentos e desenvolvimento de solos hidromórficos como os Gleissolos.

Ressalta-se ainda na carta Geomorfológica (Figura 2) para esse anfiteatro de acumulação, a feição em Dale para as cabeceiras de drenagem (Figura 4-A). Segundo o IBGE (2009), esta feição caracteriza-se como área deprimida, rasa, constantemente úmida devido a subsidência e/ou afloramento do lençol freático e que são identificadas em limites inferiores de chapadas, nas cabeceiras de drenagem. Tais condições foram averiguadas em campo, com o afloramento de água em poucos centímetros da superfície em Gleissolos.

Entende-se que este setor, com cotas que variam de 940 a 1000 metros, representam feições características de chapadas do Brasil central, associadas a um nível de superfície de aplainamento. Conforme anteriormente mencionado, em estudos sobre a paisagem brasileira, King (1956) reconheceu a superfície Sul-Americana, que atuou sobre formações Cretáceas e originaram Planaltos Tabulares.

4.2 Setor das Escarpas em Patamares Estruturais (Transição)

Este setor de Transição pode ser identificado a partir da quebra do relevo (Figura 3-B) evidenciada pela borda escarpada dos Planaltos Tabulares da BSP, identificado na carta Geomorfológica como uma feição de Patamar Estrutural (Figura 2).

Segundo o IBGE (2009), os Patamares Estruturais são compreendidos como rebordos erosivos que limitam a superfície tabular, formando degrau, ocorrendo predominantemente em bacias sedimentares ou nos limites destas com outras estruturas discordantes. Para o caso deste trabalho, o Patamar Estrutural ocorre, conforme já registrado, no limite entre a BSP e a FDB (Figura 4-B).

Nesta quebra de relevo, encontram-se expostos os Plintossolos Pétricos nas altas vertentes das escarpas (bordas do Planalto Tabular), conforme ilustra a Figura 3-C. Tais solos, de maior resistência erosiva, por estarem concrecionados, contribuem para a sustentação dessas escarpas. Constituem-se assim, como fronts escarpados (Figura 3-B) sustentado por solos encouraçados (Figura 3-C).

Tais *fronts* escarpados, conforme pode ser observado na carta Geomorfológica (Figura 2), encontram-se bem dissecados com a presença de cabeceiras de drenagens que dão forma as vertentes côncavas, caracterizando-se por anfiteatros erosivos. Os vales se encontram em "v" devido ao entalhamento das drenagens, com exceção a algumas cabeceiras na porção oeste da carta, que correm paralelamente ao *front* (Figura 3-B). Também nessa porção estão localizadas as feições denudativas, com sulcos próximos as cabeceiras de drenagem e expressão significativa de ravinas, posicionadas próximas as linhas de cumeada.

No quadrante noroeste do mapeamento, no limite superior do Patamar Estrutural se localiza uma cava de extração de areia, retirada dos arenitos da Formação Marília (Figura 4-B). Observando imagens de satélite a partir do ano de 2010, pode-se notar que a exploração mineral se deu em área com feição denudativa de voçorocamento.

No quadrante sudeste da carta Geomorfológica (Figura 2), devido a declividade do terreno, nos interflúvios de drenagens que dissecam o *front* escarpado surgem os terraços agrícolas, com objetivo de frear a erosão causada pelas águas. Além disso, também foram constatados alguns sulcos erosivos próximos a linhas de cumeada. À frente do front escarpado são registrados morros testemunhos, já presentes no setor dos Planaltos Dissecados (Figura 4-C). Tais morros evidenciam o recuo paralelo das vertentes dos Planaltos Tabulares sob a égide de condições paleoclimáticas mais secas.

Neste sentido, as áreas escarpadas atualmente estão impostas a erosão remontante proporcionada pela instalação de canais de primeira ordem em condições climáticas tropicais, que se dirigem ao setor de Planaltos Dissecados da FDB. Nas médias e baixas vertentes que se dirigem aos fundos de vale em "v", além de afloramentos rochosos de arenitos da Formação Marília, também são encontrados Neossolos e Cambissolos. Em alguns perfis desses solos foram encontrados pavimentos detríticos que indicam *stone lines***.** Tais características denotam para este setor, o domínio da morfogênese sobre a pedogênese.

4.3. Setor dos Planaltos Dissecados

No setor dos Planaltos Dissecados dominam feições colinares de topos convexos com níveis de encouraçamentos frequentemente encontrados nas cotas de 940 a 950 metros (Figura 3-D) nas altas vertentes. Nessas vertentes foram registradas expressivas feições denudativas na Carta Geomorfológica (Figura 2). Observa-se que estas feições ocorrem principalmente em áreas com vertentes retilíneas e próximas as linhas de cumeada.



FIGURA 3: A) Setor de Planalto Tabular. Ao fundo é possível observar um anfiteatro (seta vermelha), onde localizam-se as Áreas de Planícies e Terraços Fluviais com solos hidromórficos. A linha vermelha destaca a feição anfiteátrica em dale. B) Ao fundo da imagem, topo do Planalto Tabular (seta vermelha) com quebra de relevo abrupta (linha vermelha). Nessa quebra, drenagens dissecam a Escarpa em Patamar Estrutural (seta verde). C) Plintossolo Pétrico que sustenta a escarpa erosiva do Planalto Tabular da BSP. D) Couraça ferruginosa com resquício de quartzo fino, maturo e bem selecionado em topo convexo do Planalto Dissecado. E) Neossolo Regolítico desenvolvido sobre Ortoganaisse Goiandira. Ainda é possível observar os bandamentos do gnaisse no saprolito (setas vermelhas). F) Morro testemunho no setor de Planaltos Dissecados com blocos métricos de arenito.

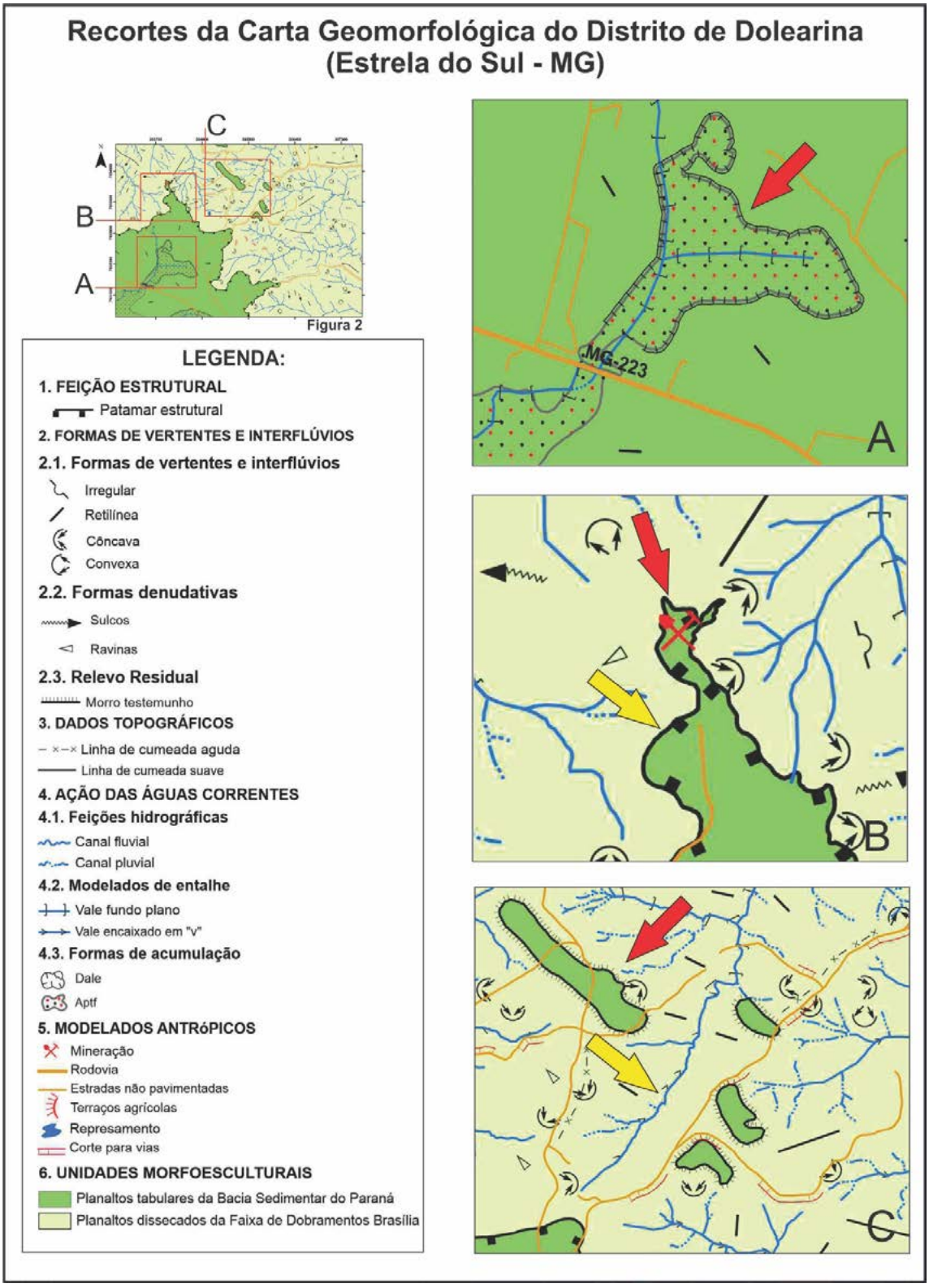


FIGURA 4: A) Setor de Planalto Tabular. Feição em Dale em cabeceiras de drenagem (seta vermelha). B) Setor das Escarpas em Patamares Estruturais. Transição do Planalto Tabular para o Planalto Dissecado (seta amarela). Cava de extração de areia retirada dos arenitos da Formação Marília (seta vermelha) C) Setor de Planaltos Dissecados. Drenagem retilínea e encaixada em vale em "v" com nascentes na escarpa erosiva (seta amarela). Morro testemunho sustentado por arenito (seta vermelha).

Como exemplo, na área central da carta, a drenagem principal com cabeceiras de drenagens posicionadas na escarpa erosiva (Escarpas em Patamares Estruturais), corre de forma retilínea e encaixada (com vale em "v") no sentido nordeste (Figura 4-C). As vertentes que se dirigem a este canal são dominantemente retilíneas, apresentando nos topos dos interflúvios linhas de cumeada aguda. Detalhe que esse canal e seus tributários dissecam os morros testemunhos sustentados por arenitos, conforme pode ser visto na Figura 4-C. No quadrante sudeste da carta, também são evidenciadas áreas bem dissecadas com feições de sulcos erosivos posicionados nas vertentes, apresentando drenagens retilíneas com vales em forma de "v". Na medida em que se distancia das cabeceiras de drenagem, os canais passam a ter fundo plano com morfologia meandrante.

As características anteriormente mencionadas indicam para o setor o predomínio dos processos morfogenéticos, sendo a cobertura superficial caracterizada por Saprolitos do Ortognaisse Goiandira e solos pouco espessos. A Figura 3-E ilustra um Neossolo Regolítico desenvolvido sobre Ortognaisse Goiandira. Este Ortognaisse, se manifesta bastante heterogêneo em termos de composição e textura, fator que propicia uma erosão diferencial, interferindo nas características do entalhamento da drenagem e no grau de dissecação das vertentes.

Ainda podem ser encontrados arenitos pertencentes à BSP (Figura 3-F), em meio aos ortognaisses da FDB. Esses arenitos encontram-se posicionados distantes das áreas interpretadas como pertencentes aos Planaltos Tabulares, à frente do *front* escarpado, conforme abordado anteriormente no setor de Escapas em Patamares Estruturais. Em consequência dessa posição, entende-se que houve um recuo das bordas da BSP em direção ao seu depocentro (sul), em uma fase de dissecação por recuo paralelo das vertentes. Os resquícios dessas rochas sedimentares, originaram relevos residuais que se comportam como morros testemunhos, conforme registra a carta Geomorfológica (Figura 2 e Figura 4-C). Os processos atuais de recuo por erosão remontante das vertentes e do *front* escarpado é entendido como consequente da condição climática úmida, como é observado pela instalação e organização da drenagem no local.

Sendo assim, a evolução desse setor estaria condicionada por alterações paleoclimáticas no Quaternário como apontado por Ab'Sáber (1957) e Ab'Sáber (1998). Outro fato que corrobora com esta afirmação é o grau de intemperismo dos Ortognaisses e o baixo desenvolvimento pedogenético sobre estes, o que nos leva a tomar como nota a recente exposição dessas rochas, antes recobertas por litologias associadas aos morros testemunhos, ou seja, pelos sedimentos da BSP. Acrescenta-se a esta condição os já mencionados encouraçamentos frequentemente encontrados nas altas vertentes das colinas de topos convexos.

Além disso, os Planaltos Dissecados, segundo King (1956), seriam resultados de um ciclo de erosão pós Sul-Americano denominado por Superfície Velhas. Tais discussões denotam o potencial para continuidade dos estudos de evolução do relevo nesta área com a investigação de evidências paleoclimáticas que propiciaram o seu desenvolvimento.

5. Considerações finais

O mapeamento geomorfológico de detalhe organizado para a área rural de Dolearina, contribuiu para a compartimentação do relevo no reconhecimento dos três setores apresentado nos resultados. As feições em detalhe reconhecidas para esses setores, colaborou para a avaliação dos processos morfogenéticos e pedogenéticos.

Nos Planaltos Tabulares o relevo exibe extensos interflúvios aplainados e com baixas declividades, não registrando formas denudativas lineares. Tais

condições favorecem a atuação da pedogênese na formação da extensa e espessa cobertura pedológica local, representada pelos Latossolos. As drenagens nas áreas de dales apresentam reduzido potencial de entalhe, propiciando condições deposicionais e o desenvolvimento de solos hidromórficos.

No setor de Escarpas em Patamares Estruturais a atuação da morfogênese é evidenciada por feições erosivas como sulcos e ravinas, além da presença de anfiteatros em cabeceiras de drenagem. Nas escarpas erosivas, são encontrados Plintossolos Pétricos, responsáveis pela sustentação do *front*.

No setor dos Planaltos Dissecados as colinas convexizadas são denudadas pela instalação da densa rede de drenagem que parte das Escarpas em Patamares Estruturais. Esse potencial morfogenético, evidenciado por feições denudativas lineares, mitigam o desenvolvimento pedogenético. Assim, são registrados Neossolos sobrepostos a saprolitos do Ortognaisse Goiandira e em colinas mais suavizadas, os Argissolos. Além disso, destaca-se para este setor a presença de morros testemunhos sustentados por arenitos.

A escala de detalhe permitiu observar fenômenos e feições no relevo antes não representadas em mapeamentos de escalas menores. Com as informações adquiridas por meio desse mapeamento aventam-se a continuidade e a oportunidade de estudos da evolução do relevo associados às condições pretéritas de superfícies de aplainamento, às características da cobertura superficial e das litologias frente ao intemperismo e ao desenvolvimento pedogenético.

Referências

AB'SÁBER, A. N. **Conhecimento sobre as flutuações climáticas do Quaternário no Brasil.** Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. v. 6, n. 1, 1957.

AB'SÁBER, A. N. Participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro – Considerações finais e conclusões. **Revista do Instituto Geológico.** São Paulo, 19 (1/2), 51-69, jan./dez. 1998.

AB'SÁBER, A. N. O domínio dos cerrados: introdução ao conhecimento. **Revista do Serviço Público**, v. 40, n. 4, p. 41-56, 1983.

BACCARO, C. A. D.; FERREIRA, I. L.; ROCHA, M. R.; Mapa Geomorfológico do Triângulo Mineiro: Uma abordagem Morfoestrutural-escultura. In: **Revista Sociedade & Natureza.** Uberlândia, 13 (25): 115-127, jan./dez. 2001.

BRAUN, O. P. G. Contribuição a Geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia.** Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, p. 3-40, 1970.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Goiânia: [S.l.], 2005. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em: 06 fev. 2020.

CHAVES M. L. e DIAS C. H. 2017. **Projeto Triângulo Mineiro - Folha Estrela do Sul: SE.23-Y-A-IV. Escala 1:100.000.** CODEMIG, 2017.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **The Geographical Journal**, Vol. 14, No. 5, p. 481-504. Nov. 1899.

ERHART, H. Biostasie et rhexistasie: esquisse d'une théorie sur le rôle de pedogenése en tant que phénomèse géologique. **C. R. Séanc. Acad. Sci**., v. 241, p. 1218-20, 1955.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão Estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências.** 30(4): 717-728, dezembro de 2000.

FUCK, R. A. **A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins.** IV Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 1994

GERASIMOV, I. P. Essai d´interprétation geomorphologique du schéma general de la structure geologique de l´URSS. **Problèmes de Geographie Physique**, v. 12, Tzd. Vo AN SSSR, Moscou, 1946.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia. Manuais Técnicos em Geociências.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2. ed., 2009

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia.** Ano 18, n. 2, p. 147-265, abril – junho, 1956.

KLEIN, P. B. W. **Geoquímica de Rocha Total, Geocronologia de U-Pb e Geologia Isotópica de Sm-Nd das Rochas Ortognáissicas e Unidades Litológicas Associadas da Região Ipameri – Catalão (Goiás).** Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Brasília, 2008.

MECERJAKOV, J. P. Les concepts de morphostruture et morphoesculture: um nouvel instrument del'analyse geomorphologique. **Annales de Geographie.** Paris, n.423, p. 539-552. 1968.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás.** Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, maio/nov. 2007.

MOTTA, P. E. F.; BARUQUI A. M.; SANTOS. H. G. D. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento – EMBRAPA, 2004.

NOVAIS, G. T.; BRITO, J. L. S.; SANCHES, F. de O. Unidades Climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Climatologia.** v. 23, p. 223 – 243, 2018.

PASCHOAL, L. G.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L., 2010. **Utilização do ArcGis 9.3 na elaboração de simbologias para mapeamentos geomorfológicos: Uma aplicação na área do Complexo Argileiro de Santa Gertrudes/SP.** *In:* VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Recife, p:1-13.

PENCK, W. **Die morphologische analyse**. Ein kapitel der physikalis chen geologie. Stuttgart:J.Engelhorn's Nachf, 1924.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia.** 3ª ed. 2ª tiragem, IBGE. Rio de Janeiro, 1983.

PINTON, L. G. **Evolução dos processos morfogenéticos em relevo cuestiforme: a bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia (SP).** Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2016.

PROJETO RADAMBRASIL. **Boletim Técnico.** Série Geomorfologia, nº1, p. 187. Salvador, out. 1984.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *In:* **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo: Edusp. n.6, 17-30p. 1992.

SEER, J. H.; MORAES, L. C. **Projeto Triângulo Mineiro - Geologia Regional do Triângulo Mineiro.** CODEMIG, 2017.

SILVA, L. G. **Metodologia geofísica para discriminação de corpos intrusivos na província alcalina d Alto Parnaíba, MG.** Brasília: Inst. Geoc., UnB, 78p. (Dissert. Mestr.), 2006.

TRICART, J. **Principes et Méthodes de la Geomorphologie.** Paris: Masson et Cie, 1965.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** IBGE: SUPREN. Rio de Janeiro, 1977.

UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENNE, M. A. **Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional.** Geonomos, 20(2), 1-14, 2012.

VALERIANO, C.M. **Evolução tectônica da extremidade meridional da Faixa Brasília, região da Represa de Furnas, Sudoeste de Minas Gerais.** Tese de Doutorado, IG-Universidade de São Paulo. 192 p.1992.

VERSTAPPEN, H.T.; ZUIDAM, R.A. van ITC System of geomorphological survey. Netherlands, **Manuel ITC Textbook**, Vol. VII, Chapter VII, 1975.

VICENTE, L. E; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica em Geografia. **Geografia.** Rio Claro, v.28, n.3, p. 323-344, 2003.

CARTOGRAFIA GEOMOFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PARAÍSO-JATAÍ (GO)

1970

Cristina Silva de Oliveira
Universidade Federal de Jataí
UFJ - Campus Riachuelo | Rua Riachuelo nº 1530 - Setor - Samuel Grahan, Jataí - GO, 75804-020
E-mail: crisoliveira@ufj.edu.br
Roberto Marques Neto
Universidade Federal de Juiz de Fora
Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro, Juiz de Fora - MG, 36036-900
E-mail: roberto.marques@ufjf.edu.br

Resumo

As etapas e rotinas metodológicas no campo de estudos da cartografia geomorfológica receberam considerável atenção nas pesquisas realizadas nas últimas décadas, porque são reconhecidas como fundamentais para espacialização de informações relacionadas aos processos e gênese do relevo e sua relação com as mudanças da paisagem. Nessa perspectiva, o escopo do trabalho foi elaborar um mapeamento dos modelados do relevo em escala de semi detalhe na bacia hidrográfica do ribeirão Paraíso (GO). Para produção dos mapas foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica - SIG, software ArcGis versão 10.6.1 e Envi 5.0. A dimensão interfluvial e profundidade de dissecação foram calculadas nas cartas topográficas de Jataí (SE-22-V-D-V) e Serra do Caiapó (SE-22-V-D-II), escala 1:100.000, disponibilizadas pelo exército brasileiro. Os modelos digitais de elevação e relevo sombreado, e o mapa de declividade foram produzidos através da imagem de radar SRTM (30 metros) disponibilizadas pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG). Os produtos gerados foram utilizados para delimitação e individualização dos modelados e formas de relevo. A classificação dos níveis de hierarquia do relevo até quarto nível foram elaboradas conforme Nunes et al. (2009). Os modelados mapeados na área foram os de dissecação homogênea- compartimento de colinas médias e amplas com topos convexos, e tabulares; modelados de aplanamento - superfícies aplainadas; modelados de acumulação – planícies de inundação e terraços fluviais.

Palavras-chave: cartografia geomorfológica; Sistema de Informação Geográfica; modelados; formas de relevo.

1. Introdução

A geomorfologia é o campo científico responsável pela classificação, descrição e explicação da gênese das formas do relevo e dos processos que ocorrem na superfície e sub superfície (CASSETI,1995). Uma das principais formas de sintetizar as informações e características dos processos e formas do relevo de uma determinada localidade é através do mapa geomorfológico, produto cartográfico que ilustra a distribuição espacial dos compartimentos do relevo, estruturas, unidades e sua relação com as formações geológicas, idade e depósitos em diferentes escalas de mapeamento.

Atualmente existe uma ampla variedade de tipos de mapeamento geomorfológico e de metodologias de campo e gabinete que foram desenvolvidas buscando aprimorar e padronizar os mapas finais (TORES, et al., 2012). A escala desses produtos varia entre os mapas em escala pequena e média (regionais) e mapas detalhados, que mostram uma quantidade grande de informações refinadas. Esses produtos cartográficos compõe uma base importante para estudos multidisciplinares e levantamentos para fins econômicos como: recursos minerais e hidrocarbonetos, engenharia civil (estradas, represas, túneis etc.), ciências ambientais, ciências agrícolas, florestais, estudos de poluição, aterro sanitário e avaliação de riscos (deslizamentos de terra, terremotos, etc.) (EDUARDO, 2018).

No Brasil, o trabalho pioneiro desenvolvido buscando produzir um mapeamento sistematizado, documental e técnico do relevo de todo o território nacional foi o projeto Radam Brasil. Esse projeto foi o primeiro esforço empreendido pelo governo federal para mapear e reconhecer as diferentes características do território nacional. Desenvolvido entre as décadas de 1970 e 1980, os mapeamentos abarcaram temas como recursos minerais, formações geológicas, geomorfologia, solos, vegetação e uso da terra (CPRM, 2020), marcando um avanço no desenvolvimento de metodologias de mapeamento e reconhecimento do território nacional.

No que diz respeito aos mapeamentos geomorfológicos, a individualização das formas e representação cartográfica das informações baseou-se na interpretação quali-quantitativa dos processos geomorfológicos e morfologias observadas nas imagens de radar e nos trabalhos de campo (MAMEDE, et al, 1983). A sistematização e interpretação das formas e processos foram apresentadas de forma elaborada no relatório que acompanha os mapas de cada uma das folhas. Embora os mapeamentos tenham sido realizados em escala pequena (1:1.000.000), para muitos municípios do Brasil, ainda são a única base de dados existente sobre as características do território, ainda que exista trabalhos publicados em escalas mais refinadas pelo Serviço Geológico Nacional (CPRM) e pelas instituições públicas e privadas para locais específicos como Parques Nacionais, ou áreas de interesse econômico.

Apesar da significativa importância dos mapeamentos efetuados pelo projeto Radam Brasil, a escala de mapeamento (1:1.000.000) é um fator limitante para aplicações vinculadas ao planejamento do uso e ocupação da terra, proteção ambiental, riscos naturais, gerenciamento de resíduos e estudos de impactos ambientas (ROSS, 1994). Por outro lado, explorar o potencial das geotecnologias disponíveis atualmente (sistemas de informação geográfica, bancos de dados geoespaciais, imagens de radar, equipamentos), pode ajudar a superar algumas deficiências nos métodos tradicionais de levantamento, compartilhamento, atualização, registro, vinculação, análise, localização e rastreamento de informações geomorfológicas e armazenamento em infraestruturas mais abrangentes e integradas (FLORENZANO, 2008).

Tendo em vista a problemática concernente aos mapeamentos realizados em território nacional e carência de recursos destinados a estes fins, o presente trabalho tem como escopo produzir um material de semi-detalhe para interpretação dos modelados e compartimentos do relevo, na bacia hidrográfica do ribeirão Paraíso (Jataí – GO), através dos sistemas de informação geográfica em escala 1:100.00. A área em estudo é a bacia hidrográfica do ribeirão Paraíso, afluente do Rio Claro. Está bacia hidrográfica localiza-se no setor norte/nordeste de Jataí, estado de Goiás, limitando seus divisores a norte com a Serra de Caiapó, município de Caiapônia. A leste limita-se com o município de Rio Verde, a oeste e a sul limitam-se com as bacias hidrográficas do Ribeirão das Torres e córrego Jataí.

2. Metodologia

A abordagem metodológica elegida para o estudo baseou-se no manual técnico de Geomorfologia do IBGE (2009) creditado a Nunes et al. (2009). Nesta metodologia a delimitação dos conjuntos de feições, leva em consideração como parâmetros interpretativos a natureza das rochas, estruturas, coberturas pedológicas, a morfodinâmica e os processos climáticos, como condicionantes da configuração e evolução das paisagens. As grandezas hierárquicas são ordenadas de forma decrescente em: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas (figura 1).

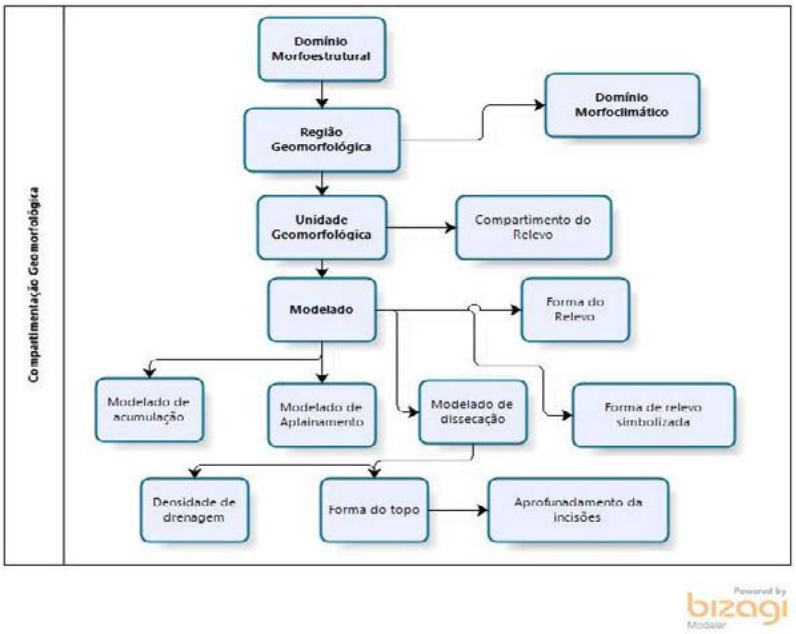


Figura 1: Hierarquia do Relevo.
Fonte: Adaptado de Nunes et al. (2009).

Para produção dos mapas foram utilizados o Sistema de Informação Geográfica (SIG), os programas ArcGis versão 10.6.1 e Envi 5.0. Os modelos digitais de elevação e relevo sombreado, as curvas de nível e o mapa de declividade foram produzidos através da imagem de radar SRTM (30 metros) disponibilizadas pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG). Os produtos gerados auxiliaram na delimitação e individualização dos modelados e formas de relevo. Ou seja, após a espacialização das classes hipsométricas e declividades da bacia efetuou-se uma primeira distinção dos compartimentos do relevo da área em estudo, observando-se a amplitude altimétrica e declividade conforme a proposta metodológica de Ponçano et al., (1981). A quantificação dos

parâmetros morfométricos (profundidade de dissecação e dimensão interfluvial) subsidiou na avaliação dos modelados mapeados (dimensão e individualização das formas) e definição das nomenclaturas. A delimitação final dos modelados foi efetuada observando-se os contornos topográficos que definem formas de relevo na paisagem nas cartas em escala 1:100.000 de Jataí (SE-22-V-D-V) e Serra do Caiapó (SE-22-V-D-II) e os valores obtidos através dos cálculos de dissecação e dimensão interfluvial.

A dimensão interfluvial e profundidade de dissecação foram calculadas nas cartas topográficas de Jataí (SE-22-V-D-V) e Serra do Caiapó (SE-22-V-D-II), escala 1:100.000. O método utilizado para o cálculo da dimensão interfluvial foi baseado na extensão dos interflúvios medidos entre dois canais paralelos a semi-paralelos, enquanto que a dissecação foi calculada medindo-se a amplitude altimétrica entre os topo e fundo de vale de referência.

Os parâmetros utilizados foram organizados na matriz dos índices de dissecação do relevo de Ross (1992), servindo de base para a distinção dos modelados (Quadro 1).

QUADRO 1
Matriz dos índices de dissecação do relevo.

Dimensão interfluvial média / Grau de entalhamento dos vales	Muito grande	Grande	Média	Pequena	Muito Pequena
	>3750 m	1750 a 3750 m	750 a 1750 m	250a 750 m	<250 m
Muito fraco <20 m)	11	12	13	14	15
Fraco (20 a 40 m)	21	22	23	24	25
Médio (40 a 80 m)	31	32	33	34	35
Forte (80 a 160 m)	41	42	43	44	45
Muito forte (>160 m)	51	52	53	54	55

Fonte: Ross, 1992.

A classificação dos níveis de hierarquia do relevo até quarto nível foi elaborada conforme Nunes et al. (2009). Após delimitação das formas, a organização das informações temáticas e a representação dos sistemas de relevo foi adaptada da proposta de Nunes et al. (2009).

3. Resultados e discussão

As grandes organizações geomorfológicas regionais integralizadas nos níveis hierárquicos superiores foram consideradas a partir do mapa Brasil Relevo do (IBGE, 2018), que reconhece para a área de estudo os seguintes níveis taxonômicos: (1) Domínio Morfoestrutural, delimitado pelas Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas; (2) Região Geomorfológica, composta por Planaltos Residuais do Interior da Bacia Sedimentar do Paraná, Chapadões Residuais dos Planaltos Setentrionais da Bacia Sedimentar do Paraná, Formas Agradacionais Atuais e Subatuais Interioranas, (3) Unidades Geomorfológicas, divididas em: Patamares das Altas Bacias dos Rios Verdes - Claro, Depressões Interpatamares das Altas Bacias dos Rios Verde - Claro, Chapada do Rio Verde - Alto Garças, Planícies e Terraços Fluviais.

No quarto nível foram delimitados os modelados de dissecação homogênea- compartimento de colinas médias e amplas com topos convexos e tabulares; modelados de aplainamento - superfícies aplainadas; modelados de acumulação – planícies de inundação e terraços (figura 2).

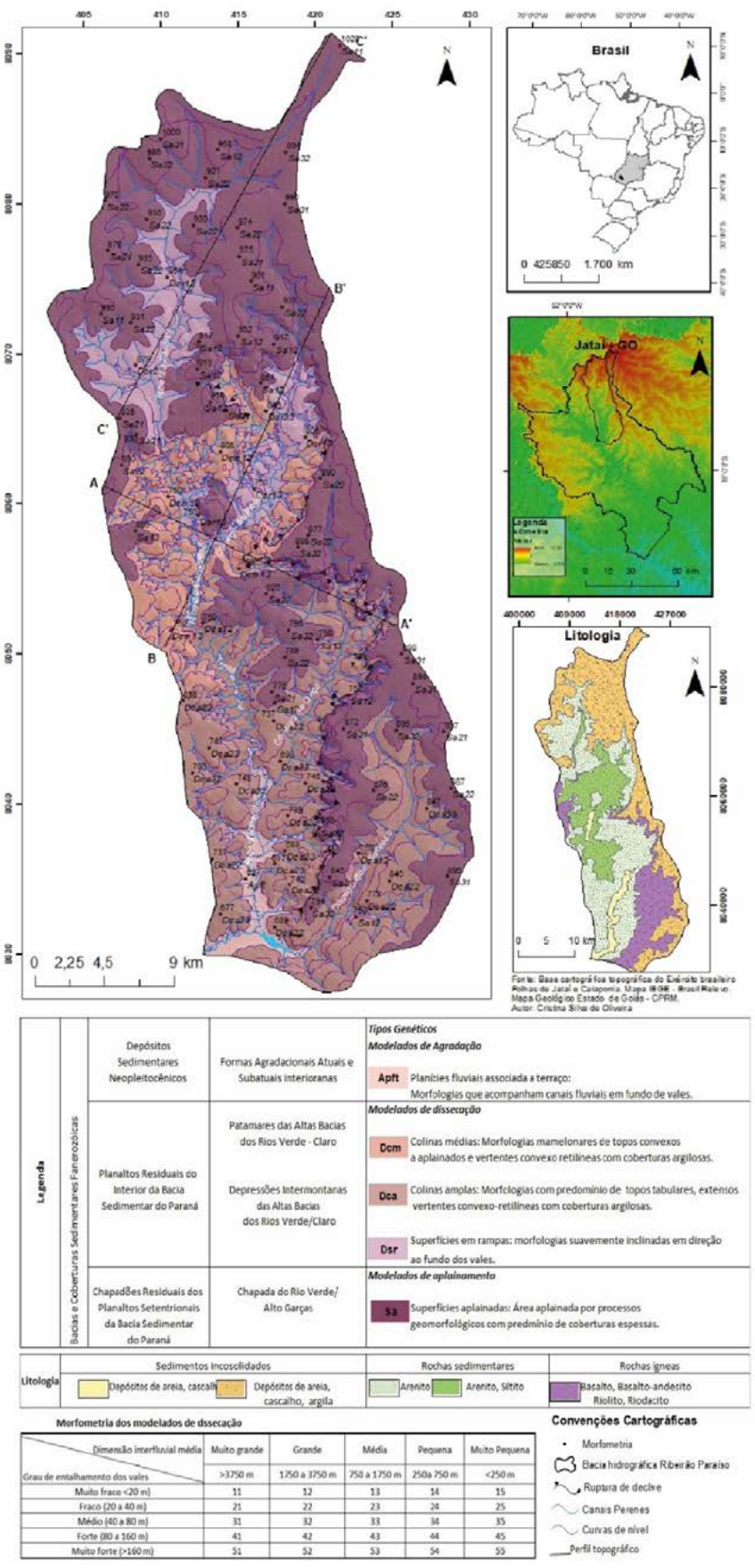


Figura 2: Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso – Jataí-GO.

As planícies de inundação representam os setores do relevo com morfologias compostas por superfícies planas a pouco ondulados (figura 3) localizadas nos fundos de vale, constituídas de depósitos areno-quartzosos bem selecionados, depositados por ação gravitacional. Apresentam gradientes suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais.



Figura 3: Baixo curso da BHRP. Data: 08/03/2020.
Fonte: acervo pessoal dos autores.

As colinas médias representam os relevos de degradação em litologia de arenito, dissecados com padrão de drenagem dendrítico dos Planaltos Residuais do Interior da Bacia Sedimentar do Paraná, Depressões Interpatamares das Altas Bacias dos Rios Verde – Claro (figura 4).

São diferenciados das demais morfologias pelas formas dos topos (arredondados e angulosos), com vertentes convexo-retilíneas, amplitudes acima de cem metros e aumento das classes de declividade. Estão localizados na porção centro-norte da bacia entre os patamares mais rebaixados de planícies e terraços e os patamares mais elevados das superfícies de aplainamento. Correspondem às áreas de transição entre os patamares de cimeira das superfícies de aplainamento e as colinas médias de topos tabulares e aquelas morfologias mais convexadas. Os desnivelamentos mais abruptos entre os patamares ocorrem na porção leste/sudeste da área.

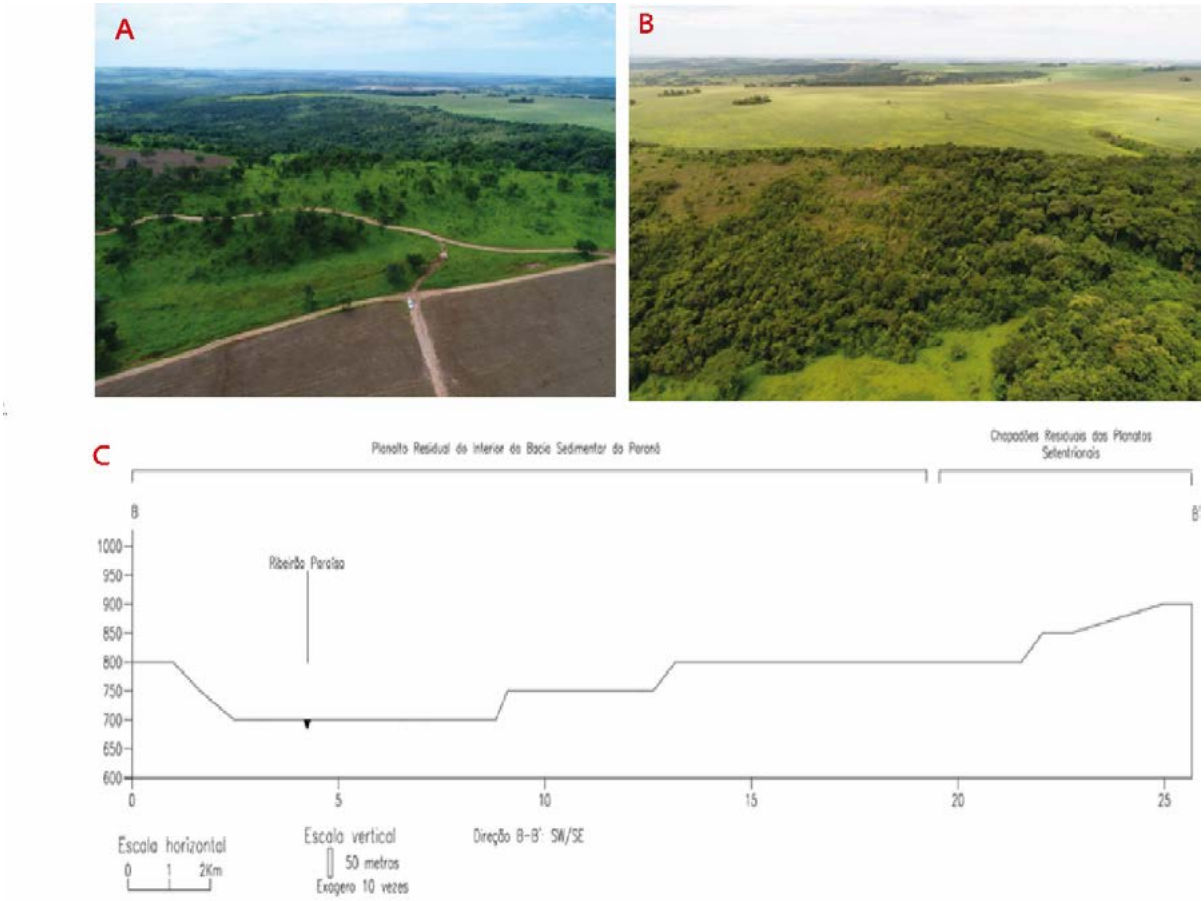


Figura 4: A-B: Colinas com topos convexos com afloramento do arenito Botucatu. Data: 08/03/2020. C: Perfil A – A'.
Fonte: acervo pessoal dos autores.

As Superfícies aplainadas representam os modelados de aplainamento constituído por extensas superfícies planas a levemente onduladas (figura 5, figura 6), com vertentes suavizadas, localizadas na porção sul-sudeste e norte da bacia. São denominadas pelo mapeamento do Relevo brasileiro do IBGE (2018) de Chapada do Rio Verde e Alto Garças, correspondendo aos chapadões residuais dos Planaltos Setentrionais da bacia sedimentar do Paraná. Essas superfícies são separadas dos patamares de colinas médias e amplas com topos convexos e tabulares por uma ruptura de declive bem marcada na paisagem pela presença de afloramentos rochosos e vales encaixados.

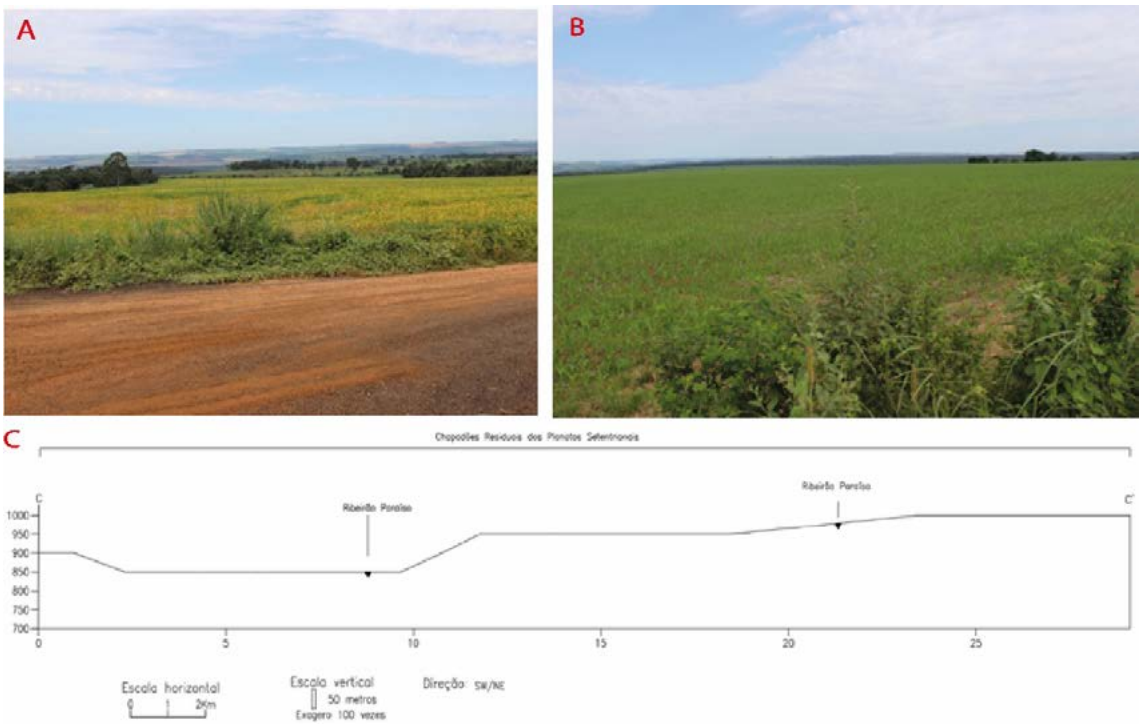


Figura 5: A – Superfície aplainada (cultivo de soja). B – Milho. Data: 08/03/2020. Fonte: acervo pessoal dos autores. C: Perfil C – C'.



Figura 6: Bloco-diagrama mostrando as superfícies aplainadas do município de Jataí.

Geneticamente estas superfícies aplainadas resultam de processos denudacionais de erosão diferencial, gerando superfícies intermontanas na forma de etchplains escalonados com regolitos espessos pedogeneizados em Latossolos ou exumados nos fundos de vale, conforme interpretado na região por Pinto (1986). Essas superfícies evoluíram em rochas sedimentares, arenitos e lamitos, gerando morfologias suavemente convexas nos topos ou padrões com topos planos herdados do acamamento das rochas sedimentares. As superfícies aplainadas, por seu turno, têm significado estrutural (figura 7), tendo sua posição altimétrica mais elevada condicionada pelos basaltos mais resistentes que atuaram na preservação desses tetos orográficos da denudação cenozoica.

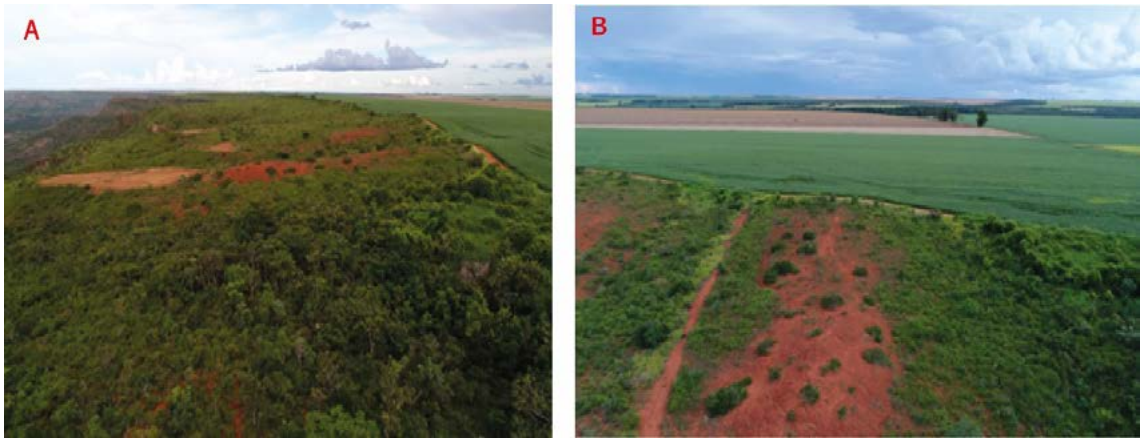


FIGURA 7: A – Borda da cuesta do Caiapó e superfície aplainada. B - Superfície aplainada no alto curso da bacia hidrográfica do Ribeirão Marmelos (cultivo milho).
Fonte: Laboratório de Geoinformação.

4. Considerações Finais

Um dos aspectos mais relevantes do mapeamento e compartimentação geomorfológica é a associação entre a componente geográfica (localização) ao objeto mapeado (relevo), sem desconsiderar seu contexto histórico-natural, estruturas e processos de elaboração e as diferentes variáveis decorrentes de diferentes campos de estudo, mas que influenciam na gênese das formas. Nesse sentido, a espacialização dos tipos de formas do relevo é fundamental para a construção de modelos geomorfológicos que permitam estabelecer traços e características da evolução geomorfológica do Brasil no seu contexto local, regional e continental.

As aplicações executadas no presente estudo de caso apreenderam a espacialidade do relevo de forma resoluta, e o produto cartográfico resultante figura como uma base adequada para outros estudos na área. Ainda, realçou a representatividade da bacia do córrego Paraíso em relação às organizações geomorfológicas regionais, diferenciando as superfícies geomorfológicas fundamentais ocorrentes na região a partir de suas aderências com a base geológica e com os processos denudacionais cenozoicos.

Referências

CASSETI, W. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Ed. Contexto/Goiânia:Cegraf, 1995.

EDUARDO, C. C. **Cartografia geomorfológica comparada**: aplicações no municipio de Juiz de Fora (MG) como subsídio ao planejamento. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016. 156p.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318 p.

MAMEDE *et al.* **Geomorfologia**. In: Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.22 - Goiânia. Rio de Janeiro (Levantamento de Recursos Naturais, 31). 1983.

NUNES, B. A. *et al.* **Manual técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. (Série Manuais técnicos em Geociências).

PINTO, M. N. Residuais de aplainamento da "chapada" dos Veadeiros – Goiás. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 48, n. 2, p. 187-197, 1986.

PONÇANO, W., L. *et al.* **Mapa Geomorfologíco do estado de São Paulo**, escala 1:1.000.000. São Paulo: IPT, 1981. V. 1. (Série Monografias, 5).

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n. 8, p. 63-73, 1994.

TORRES, F. T. P., MARQUES NETO, R., MENEZES, S. O. **Introdução à geomorfologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA EM ESCUDOS CRISTALINOS TROPICAIS: MAPEAMENTO DO RELEVO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO, ZONA DA MATA MINEIRA

Derik Ribeiro de Paiva
Rua Barbosa Lima, 335/203. Centro, Juiz de Fora, CEP: 36010-050
E-mail: derik.paiva@educacao.mg.gov.br
Roberto Marques Neto
Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, S/Nº - São Pedro, Juiz de Fora - MG, CEP: 36036-900
E-mail: roberto.marques@ufjf.edu.br

Resumo

O presente artigo tem como fim a representação cartográfica do relevo da bacia hidrográfica do rio Formoso, na Zona da Mata Mineira, este um importante afluente do rio Pomba em seu alto curso de drenagem, considerando os aspectos morfométricos, morfodinâmicos, morfológicos e morfocronológicos. O documento cartográfico foi produzido a partir dos preceitos metodológicos propostos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), valendo-se de adaptações, sempre que necessárias, em busca de uma melhor representação dos fatos geomorfológicos. No âmbito da presente comunicação, o mapeamento partiu do quarto nível categórico proposto, alusivo aos tipos de modelados de relevo, tendo sido possível também, através de simbologias específicas, a representação de feições geomorfológicas condizentes à quinta ordem de grandeza. O produto final foi editado a partir do software ArcGis. O mapeamento geomorfológico ora apresentado evidencia a complexidade do sistema de relevo regional. A concepção metodológica adotada mostrou-se condizente com os anseios vislumbrados, possibilitando a distinção dos dois tipos básicos de modelados de relevo que compõem o mosaico paisagístico, viabilizando um documento cartográfico que se coloca como uma salutar referência para compreensão do sistema geomorfológico local em suas articulações com a escala regional.

Palavras-chave: Cartografia Geomorfológica – Geoprocessamento – Geomorfologia Aplicada

1. Introdução

O presente artigo tem como fim a representação cartográfica do relevo da bacia hidrográfica do rio Formoso, na Zona da Mata Mineira, sendo este rio um importante afluente do rio Pomba em seu alto curso de drenagem. Trata-se de uma expansão da cobertura de mapeamento regional do relevo proposta inicialmente para a bacia do rio Novo (PAIVA, 2018). Para a elaboração da carta geomorfológica, para fins de integração, procurou-se manter a mesma praxe cartográfica outrora utilizada para a representação do relevo da bacia do rio Novo, sempre procurando se ater às suas peculiaridades, visando uma melhor adequação da metodologia levada a efeito à realidade a ser representada, chegando a um produto cartográfico condizente com as particularidades geomorfológicas regionais, que possibilita a análise e compreensão de seus aspectos morfogenéticos bem como das potencialidades e restrições ambientais impostas pelo relevo. Almeja-se que a presente representação possa ajudar a compreender os aspectos morfogenéticos do relevo nos terrenos cristalinos da alta bacia do rio Pomba em escala de semidetalhe, servindo de dados de entrada para outras pesquisas de cunho ambiental na região, bem como para o planejamento em suas distintas esferas de abrangência.

2. Procedimentos Metodológicos

As bases teóricas que sustentam o presente artigo foram estabelecidas a partir da abordagem sistêmica (BERTALANFFY, 1973), incorporada aos mais diversos campos científicos, inclusive no contexto da ciência geográfica e da Geomorfologia em caráter específico (CHORLEY e KENNEDY, 1971; CRHISTOFOLETTI, 1979, 1999). A unidade físico-territorial adotada para compor os limites da área foco do presente mapeamento foi a bacia hidrográfica. Conforme amplamente difundido na literatura concernente ao tema, as bacias de drenagem configuram um sistema processo-resposta, de maneira que qualquer ingerência imposta sob os processos operantes em seu âmbito, irremediavelmente, acarretará em alterações nas formas do relevo, em resposta aos impactos impostos aos fluxos de matéria e energia vigentes em seu interior.

A carta geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Formoso foi produzida a partir dos preceitos metodológicos propostos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (NUNES *et.al*, 1994), valendo-se de adaptações, sempre que necessárias, em busca de uma melhor representação dos fatos geomorfológicos intrínsecos à área cerne do presente estudo. Conforme a acepção metodológica acolhida, em ordem decrescente de grandeza são discernidas as seguintes integridades: (1) Domínios Morfoestruturais; (2) Regiões Geomorfológicas; (3) Unidades Geomorfológicas; (4) Modelados; (5) Formas de Relevo Simbolizadas.

No âmbito da bacia hidrográfica do rio Formoso, o mapeamento geomorfológico partiu do quarto nível categórico proposto por Nunes *et.al* (1994), alusivo aos tipos de modelados de relevo, o qual forneceu subsídio para a distinção de feições geomorfológicas cujas simetrias remetem à atuação de processos morfogenéticos comuns. O documento cartográfico aventado viabilizou também, através de simbologias específicas, a representação de feições geomorfológicas condizentes à quinta ordem de grandeza proposta pelo autor predito, estas representadas por feições de proporções espaciais limitadas, como por exemplo capturas fluviais, anomalias de drenagem, meandros abandonados, dentre outras.

O processo de compartimentação do relevo segundo seus tipos genéticos teve aporte na análise morfométrica, pautada na mensuração da profundidade de dissecação e da dimensão interfluvial, além das referências dadas pela declividade do terreno na nomenclatura dos modelados de dissecação. A matriz de dissecação foi apresentada na legenda, conforme tem sido proposto em diversas

propostas metodológicas (GATTO et al. 1983; ROSS, 1992; ROOS e MOROZ, 1995; NUNES et al. 1994). As informações de cunho geomorfológico foram integralizadas na escala de 1/50.000, e a legenda foi apresentada em figura a parte em função do grande número de informações que a mesma aglutina.

A figura 01 ilustra de maneira detalhada o processo metodológico empregado.

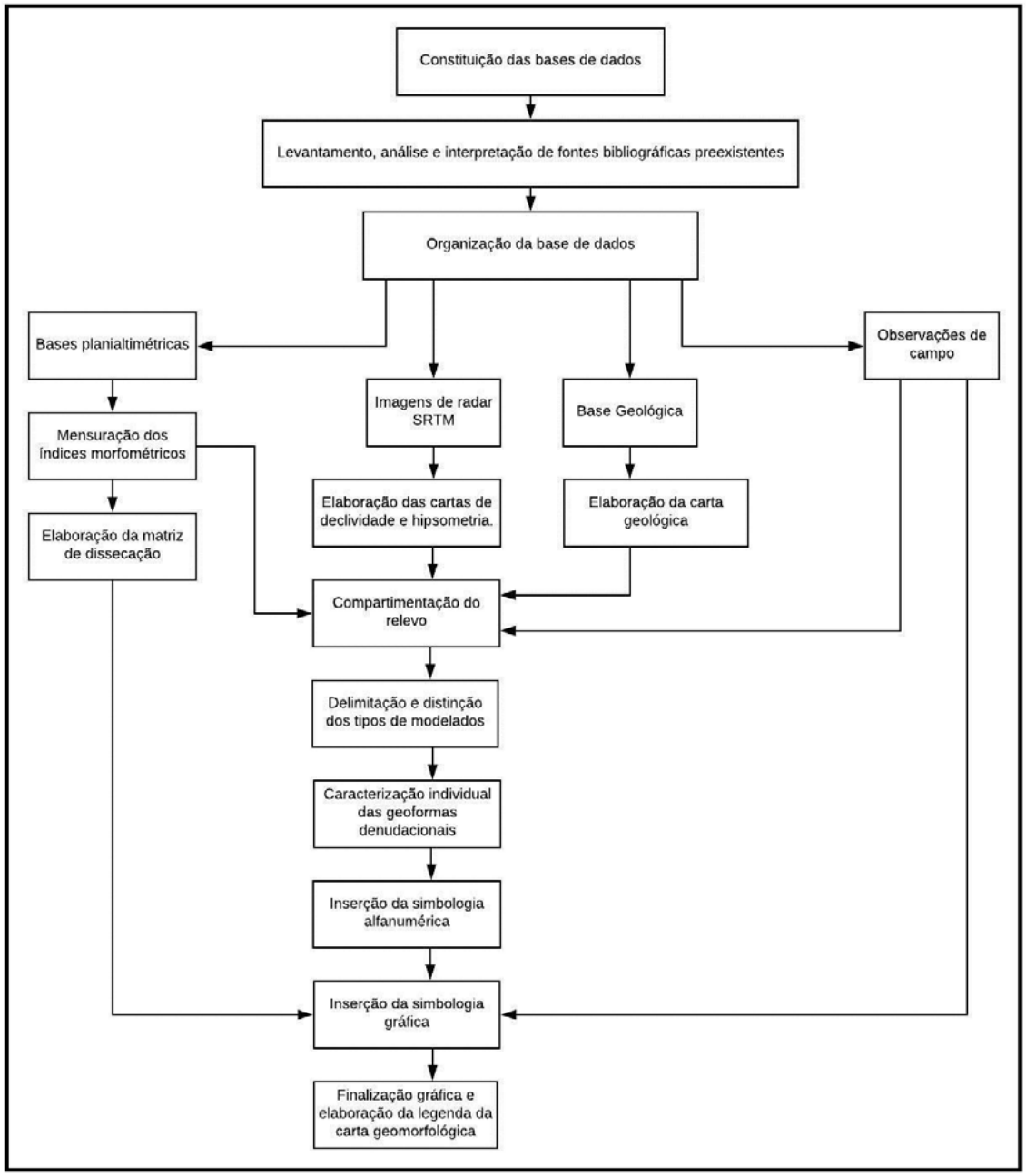


FIGURA 01: Fluxograma de elaboração da Carta Geomorfológica.
Fonte: Paiva (2018).

3. Localização e Caracterização da Área

A área drenada pelo rio Formoso insere-se no contexto da mesorregião da Zona da Mineira, no sudeste brasileiro, encerrada entre as coordenadas

21º20'45" e 21º29'15" de latitude sul (S), 43º09'00" e 43º40'00" de longitude oeste (W), conforme ilustra a figura 02. Possui área de drenagem equivalente a aproximadamente 335 km², sendo seu curso principal um relevante tributário do rio Pomba, este, por sua vez, componente da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, na região hidrográfica do Atlântico Sudeste brasileiro.

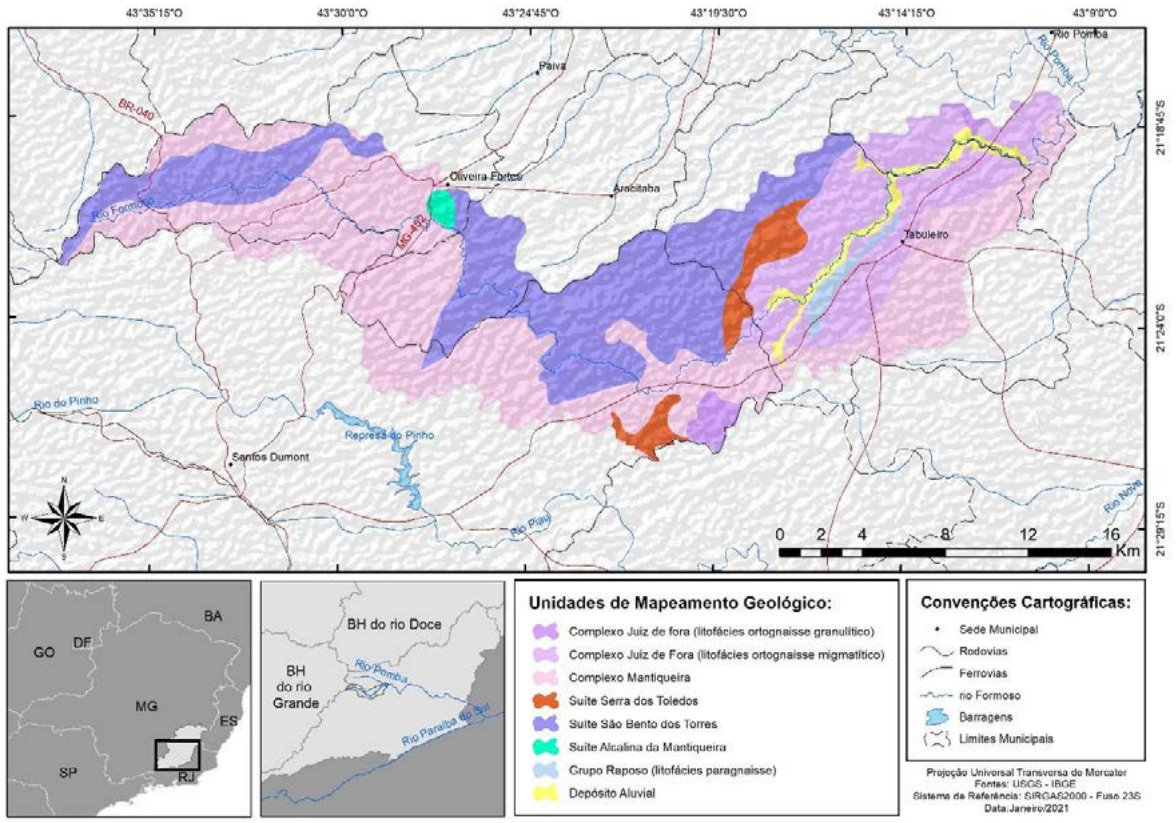


FIGURA 02: Localização e aspectos geológicos da bacia hidrográfica do rio Formoso.

A bacia hidrográfica do rio Formoso, abarca porções do território de distintos municípios, tendo sua nascente principal localizada no compartimento meridional da Serra da Mantiqueira, nos limites de Oliveira Fortes, a uma altitude aproximada de 1.100 metros. Suas águas cruzam o território do mencionado município, chegando à porção sudoeste de Aracitaba a qual, após ser transposta, alcança o noroeste de Santos Dumont, já em seu médio curso. Em seu baixo curso, o rio Formoso cruza o município de Tabuleiro, percorrendo parte de seu limite territorial com o município de Rio Pomba, onde se encontra com rio homônimo.

No concernente aos aspectos climáticos, a região em menção está sob a égide do controle climático imposto pelas massas de ar Polar Atlântica e Tropical Atlântica, sendo os deslocamentos dessas massas responsáveis pela alternância sazonal entre as estações úmidas e secas. Conforme observado por Valverde (1958), as temperaturas da região são condicionadas eminentemente pelas características impostas pela geomorfologia regional, configurando temperaturas mais amenas durante verão, devido à altitude, em contextos geomorfológicos referentes à Serra da Mantiqueira por exemplo. No geral, o clima da região peculiariza invernos secos e verões chuvosos, com quatro a cinco meses secos, um típico clima mesotérmico com verões quentes e estação chuvosa concentrada na estação mais quente.

Situada no setor central da Província Mantiqueira (ALMEIDA,1977), a

bacia hidrográfica do rio Formoso é majoritariamente composta por litologias do Complexo Mantiqueira, tratando-se estas de Ortognaisses bandados com intercalações de anfibolito. Os mencionados litotipos ocorrem em consonância aos referentes ao Complexo Juiz de Fora (Ortognaisses migmatíticos e granulíticos), bem como aos da unidade Suíte São Bento das Torres, composta por Charnockitos e Enderbitos. No baixo curso do rio Formoso tem-se a formação de um considerável depósito aluvial. As demais unidades geológicas aparecem em caráter acessório na área em questão (PINTO *et.al*, 2014).

A litologia gnáissico-granítica, em associação aos imperativos climáticos característicos do domínio tropical atlântico, responsáveis pela formação de profundos mantos de alteração, engendrou na região a gênese de Latossolos e coberturas argilosas latossólicas a partir da pedogenização dos supramencionados mantos de intemperismo. Estes Latossolos, Amarelo e Vermelho-Amarelo, aparecem em associação a Cambissolos Húmicos e Háplicos (UFV,2010).

O relevo da região é, conforme descrito por Ab'Saber (1966), preponderantemente composto morros e morrotes intensamente dissecados, que combinados às classes pedológicas presentes bem como aos aspectos climáticos regionais, se relacionam a uma vegetação originalmente composta por Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012). Tais fitofisionomias se encontram atualmente amplamente fragmentada devido à implementação de atividades pastoris, bem como a silvicultura de *Eucalyptus*. Como corroboração do intenso histórico de ocupação da região, tem-se a intensificação dos processos erosivos laminares e concentrados como marca recorrente na dinâmica de superfície.

4. Resultados e Discussões

A bacia hidrográfica do rio Formoso está situada no contexto geomorfológico referente à Serra da Mantiqueira, cujo substrato litológico tem idades que remetem a um intervalo de tempo entre os éons Arqueano e Proterozóico Inferior. Essas litologias têm sua origem vinculada às sucessivas colagens e interações de placas concernentes aos supercontinentes outrora existentes, que, como consequência, deram origem a faixas móveis acrescionárias, colisionais ou transpressionais sucessivamente reativadas (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998).

Como reflexo da queda da temperatura ocorrida ao findar do éon Proterozóico, bem como da mudança no regime de esforços, tem-se a gênese de um complexo sistema de falhas transcorrentes no sudeste do Brasil, resultando em um denso arranjo espacial de zonas de cisalhamento, dotadas de orientação segundo ENE a E–W, cuja influência é perceptível a partir do controle exercido sobre o traçado da rede de drenagem. Dentre as faixas litológicas geradas a partir do contexto geodinâmico supramencionado tem-se a Faixa Ribeira, a qual se insere a região da alta bacia do rio Pomba, se tratando esta de uma raiz de um orógeno colisional neoproterozóico, profundamente erodido (HEILBRON *et.al*, 1995).

A estruturação geomorfológica da região se conforma sob influência bem marcada da disposição das linhas de falha do Domínio das Faixas de Dobramentos Remobilizados (GATTO et al., 1983). Conforme exposto pelos aludidos autores, o relevo hodierno tem seu engendramento associado às movimentações tectônicas ocorridas na plataforma durante o Cenozoico. A ocorrência de complexos sistemas de falhamentos serviram de base para a emolduração das características morfológicas das faixas móveis do sudeste brasileiro.

A partir do Jurássico Superior o setor central da Província Mantiqueira esteve sob a influência da Reativação Wealdeniana (ALMEIDA,1967) ou rifte continental do sudeste brasileiro (RICCOMINI, 1989), sendo esta responsável pela organização estrutural da plataforma. Sobre As reverberações dos eventos geodi-

nâmicos em apreço nas características da paisagem, Gatto et al. (1983) salienta para o papel da última das três fases se manifesta nos desníveis atuais relacionados ao abatimento do vale tectônico do rio Paraíba do Sul e ao soerguimento dos horsts da Serra do Mar e Mantiqueira, sendo a direção NE-SW a preferencial desses grandes alinhamentos.

A reativação da zona de cisalhamento do rio Paraíba do Sul (DAYAN e KELLER, 1989, *apud* OLIVEIRA, 2012) deu aporte à gênese de uma congregação de bacias costeiras e continentais no sudeste brasileiro, no contexto do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989). Segundo o autor a referida feição geomorfológica possui idade cenozoica e origem tectônica, corporificando-se como uma faixa estreita e deprimida, alongada segundo a direção ENE, seguindo a linha de costa atual, da qual dista em média cerca de 70 km, alcançando o Oceano Atlântico em suas terminações sudoeste e nordeste.

A bacia hidrográfica do rio Formoso está, conforme Gatto *et.al* (1983), inserida no contexto das Serranias da Zona da Mata Mineira, cuja caracterização aponta para a abundância de morfologias alongadas, presença de escarpas adaptadas a falhas, sulcos estruturais, bem como grandes linhas de cumeada. Ainda segundo o autor supracitado, o forte controle estrutural ao qual está imposta a área em questão é expresso na paisagem pela presença de cristas e colinas mais ou menos alinhadas, cuja orientação se encontra sob influência das principais falhas que a cortam. A existência de vales estruturais, bem como escarpas escalonadas e desalinhadas, evidenciam as perturbações tectônicas ocorridas durante o Cenozoico.

Segundo Ab'Saber (1966), a região em questão remete ao Domínio dos "Mares de Morros" Florestados, uma zona a qual as influências climáticas propiciam acentuado processo intempérico às rochas, bem como o mais alto grau de aperfeiçoamento dos processos de mamelonização da topografia ao longo do cinturão das terras intertropicais. O processo mencionado afeta todos os níveis da topografia regional, fazendo-se presente inclusive em altitudes superiores a 1200 metros (AB'SABER, 2003). Gatto *et.al* (1983) remete a gênese dessas feições mamelonares do relevo ao veemente processo de dissecação e degradação do relevo vigente no período Quaternário. Devido à eloquência dos mencionados processos condizentes à dinâmica externa do planeta, responsáveis estes pela mamelonização do relevo regional, tem-se a oclusão de feições geomórficas referentes a períodos climáticos pretéritos, como por exemplo superfícies aplainadas.

Considerando as referências estabelecidas no quadro geomorfológico regional, o mapeamento geomorfológico na bacia do rio Formoso viabilizou o discernimento de tipos genéticos agradacionais e denudacionais, estes últimos aninhando padrões de forma dominantemente mamelonares que refletem sobremaneira a organização geomorfológica regional. Dessa forma, propõe-se aqui uma carta geomorfológica para bacia (figura 03), sendo sua legenda estruturada em figura a parte (figura 04).

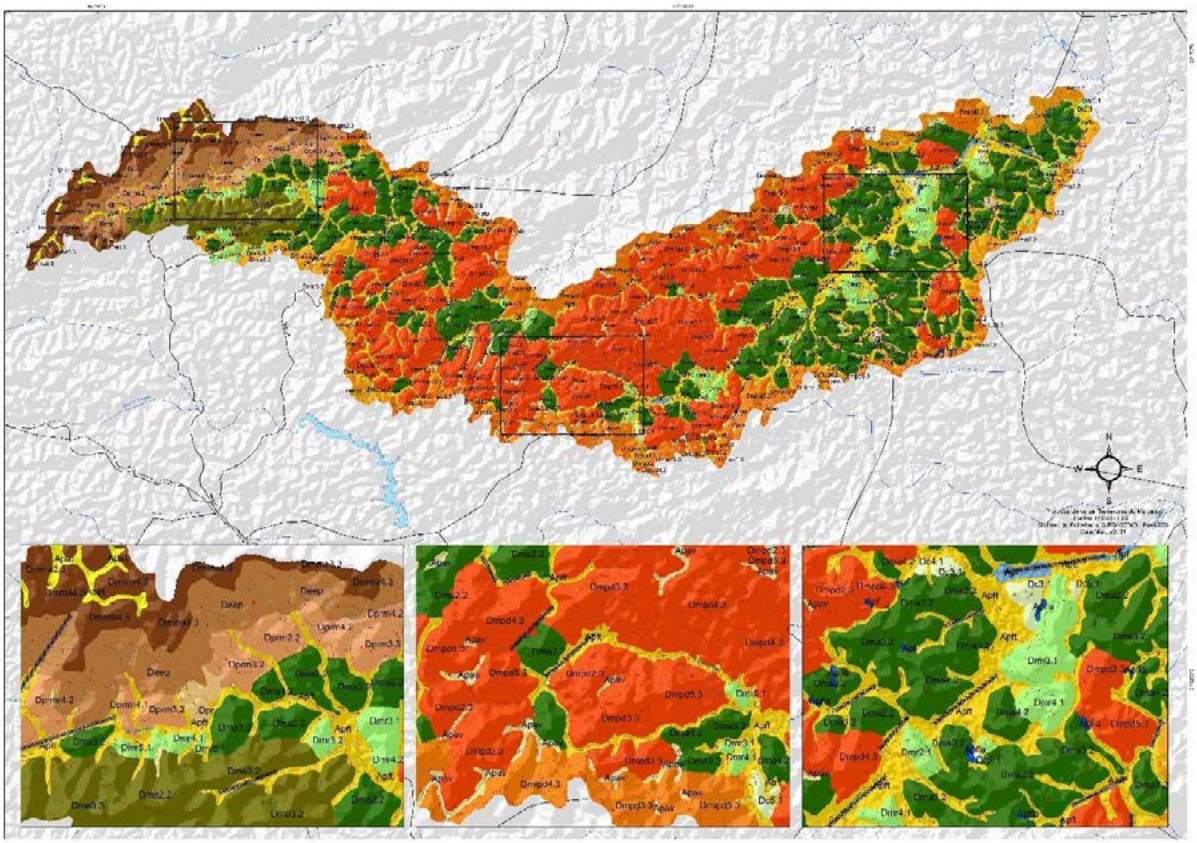


FIGURA 03: Carta Geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Formoso.



FIGURA 04: Legenda da Carta Geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Formoso.

Compondo a classe dos modelados de Agradação (A), no contexto da bacia hidrográfica do rio Formoso, foram passíveis de classificação cinco distintas tipologias de planícies fluviais cujas gêneses estão associadas à processos locais de acumulação sedimentar. As *planícies fluviais* (Apf) figuram como áreas cuja topografia foi planificada em consequência da ocorrência periódica de

inundações, sendo estas correspondentes às várzeas atuais, tendo seu engendramento vinculado aos vales com preenchimento aluvial. Encontram-se amplamente difundidas por toda a bacia hidrográfica, sendo as de maior amplitude espacial associadas à calha do tronco coletor principal. As *planícies fluvio-lacustres antropogênicas* (Apfla) tem sua gênese associada aos processos de acumulação fluvial e lacustre dados por influência antrópica, devido à implantação de barragens com intuito de gerar lagos artificiais, geralmente utilizados para piscicultura em pequena escala. Assim como as Planícies Fluviais, essas áreas de acumulação sedimentar também estão sujeitas a inundações periódicas. As *planícies altimontanas* (Apat), são áreas moderadamente niveladas, resultantes da acumulação fluvial, possuindo depósitos aluviais quaternários descontínuos em altitude. As *planícies alveolares* (Apav), áreas também relativamente planas, cuja gênese remonta aos processos fluviais anteriormente mencionados, apresentam-se descontínuas, restritas em alvéolos, recobertos por depósitos quaternários desarticulados do nível de base atual. Por fim, as *Planícies fluviais associadas a terraços*, que têm sua ocorrência circunscrita aos vales com preenchimento aluvial, contendo material fino a grosseiro, pleistocênico e holocênico. Nesse caso, planícies e terraços foram representados em conjunto em função das limitações impostas pela escala, que inviabilizam sua dissociação.

Os modelados de dissecação encontram-se amplamente difusos ao longo de toda a área abarcada pelo presente mapeamento, ocupando distintas unidades geomorfológicas regionais e compartimentos morfoestruturais. A constituição morfológica dessas feições de relevo remonta ao período Quaternário, durante o qual tem-se o registro de um intensificado processo de dissecação do relevo, culminando na gênese de feições de copiosas formas e distintas posições na paisagem (GATTO *et.al*, 1983). Assim, essa classe abarca as colinas (Dc), feições cuja ocorrência se se dá em associação a morros e relevos montanhosos, possuindo amplitude espacial variável. Os morrotes (Dmr), feições mamelonares rebaixadas que corriqueiramente ocorrem no mesmo contexto das colinas.

A classe dos morros foi diferenciada tendo como critérios o formato espacial da feição, sua posição na paisagem, intensidade de dissecação e influência de controle estrutural. Assim, quanto à sua forma, foram classificados em morros convexos (Dmc) e morros alongados (Dma). A consideração da intensidade de dissecação como parâmetro de distinção levou à classificação dos morros profundamente dissecados (Dmpd), estes ainda diferenciados por seu contexto na paisagem, sendo parte deles denominados morros interfluviais profundamente dissecados (Dmipd). Ainda considerando a posição na paisagem, tem-se os morros interfluviais alongados (Dmia) e os morros e morrotes altimontanos (Dmma). As feições denudacionais que se encontram sob influência de controle estrutural foram denominadas morros estruturais (Dme).

A ação dos processos de dissecação sob os quais o relevo regional esteve subjugado ao longo do tempo geomorfológico levou ainda à conformação patamares reafeiçoados (Dpr) de relevo que, sob a égide dos processos supramencionados, em alguns contextos, adquiriram características condizentes ao que se considera como morros, sendo alcunhados de patamares reafeiçoados em morros (Dprm). Nas faixas interfluviais da bacia em apreço, perfazendo seu contato com o Planalto de Campos das Vertentes, tem-se a ocorrência de um desnível abrupto oriundo da atuação de processos erosivos com recuo de vertentes, aqui denominada escarpa erosiva e patamares (Deep), e reflete a migração remontante dos Nicks expandindo as depressões erosivas interplanálticas e promovendo capturas fluviais conspícuas nos divisores, conforme estudado por Cheren et al. (2013) na região.

5. Considerações Finais

O mapeamento geomorfológico ora apresentado evidencia, a partir da distinção e caracterização das feições de relevo da bacia hidrográfica em foco, a complexidade do sistema geomorfológico regional. A concepção metodológica adotada mostrou-se condizente com os anseios vislumbrados, possibilitando a distinção dos dois tipos básicos de modelados de relevo que compõem o mosaico paisagístico, agradação e dissecação, referentes ao seu quarto nível categórico. Em complemento, o uso de simbologias específicas pontuais viabilizou a representação de feições condizentes à quinta ordem de grandeza, atinando para controles estruturais e tectônicos rastreáveis no relevo e na drenagem por intermédio da cartografia geomorfológica: vales estruturais, alinhamentos de cristas, anomalias de drenagem.

A elaboração da carta geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Formoso teve em seu processo metodológico, como ferramenta viabilizadora, a utilização das técnicas de geoprocessamento. As referidas técnicas são de substancial relevância para o alcance dos objetivos vislumbrados, uma vez que, a partir da utilização de softwares e hardwares de última geração, tem-se a possibilidade de trabalhar com uma ampla gama de dados a respeito de cada feição de relevo, viabilizando o processamento, sobreposição e cruzamento de diversificadas informações geográficas relativas à área, auferindo documentos cartográficos cujo conteúdo expressam da forma mais verossímil possível a realidade ambiental apresentada pela área abarcada no expediente cartográfico em questão. A difusão dessas técnicas de processamento de informações espaciais, e consequentemente a ampliação do horizonte de produção de documentos cartográficos, ajuda a suprir a defasagem na cobertura sistemática de mapeamento em escala de semidetalhe no Brasil, tornando esforços cartográficos como este salutares como fonte de suporte para o planejamento em suas diversificadas esferas de aplicação, bem como fornecendo dados de entrada para outras pesquisas de cunho geográfico e ambiental.

Referências

AB'SÁBER, A. N. Domínio dos "mares de morros" no Brasil. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 2, p. 1-9, 1966.

AB' SABER, A. N. **Os domínios de Natureza no Brasil:** potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003, 159p.

ALMEIDA, F. F. M. **Geologia do estado de São Paulo**. Boletim n° 41, 1964. 263p.

ALMEIDA,F. F. M.O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v.7, n.4, p.349-364, 1977.

ALMEIDA, F.F.M., e CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociencias** 28(2):135-150. Junho de 1998. Disponível em: < http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11205 > Acesso em: fev.2021.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Rio de Janeiro: Vozes, 1973. 351 p.

CHEREM, L. F.; VARAJÃO, C. A. C.; MAGALHÃES JR., A. P.; VARAJÃO, A. F. D. C.; SALGADO, A. R.; OLIVEIRA, L. A. F.; BERTOLINI, W. Z. O papel das capturas fluviais na morfodinâmica das bordas interplanálticas do sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 4, p. 299-308, 2013.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. Physical Geography: a systems approach. London: Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. P.256.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

GATTO, L. C. S; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H. B.; MAURO, C. A.; ALVARENGA , S. M.; FRANCO , E. M. S.; QUIRICO , A. F.; NEVES, L. B. Geomorfologia. In: *Projeto Radambrasil*, Brasília: DNPM, 1983. v. 32, p. 305-3.

HEILBRON, M., VALERIANO, C.M., VALLADARES, C.Y., MACHADO, N. A orogênese no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil **Revista Brasileira de Geociências**, 25(4):249-266, dezembro de 1995. Disponível em: < http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11534/10988 > Acesso em: Fev. 2021.

NUNES, B. A.; RIBEIRO, M. I de C.; ALMEIDA, V. J.; NATALI FILHO, T. Manual técnico de geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE, 1994. 113p. (Série Manuais Técnicos em Geociências (n.5).

OLIVEIRA, L. A. F. **A dinâmica fluvial quaternária e a configuração do modelado do relevo no contato entre a depressão do rio Pomba e o Planalto de Campos das Vertentes – Zona da Mata de Minas Gerais**, 2012, 223pg. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: < http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/IGCC-9QJT47 > Acesso em: Fev. 2021.

PAIVA. D. R. **Cartografia Geomorfológica na região da alta bacia do rio Pomba: Mapeamento do relevo como subsídio à compreensão da morfogênese regional**, 2018, 100 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora – MG. <Disponível em: https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/6896> Acesso em: fev.2021

PINTO C. P.; SILVA M. A. Mapa Geológico do estado de Minas Gerais. CODEMIG/CPRM, 2014.

RICCOMINI, C. O. **Rift Continental do Sudeste do Brasil**, 1989, 320p. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP. Disponível em: < http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-18032013-105507/pt-br.php > Acesso em: Fev. 2020.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 6, p. 17-29, 1992.

TRICART, J. Principes et méthodes de l geomorphologie. Paris: Masson, 1965.

UFV-CETEC-UFLA-FEAM. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p. Disponível em:<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais> Acesso em: Fev. 2021..

VALVERDE, O. Estudo Regional da Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia** Rio de Janeiro, n.1, p. 3-82, 1958. Disponível em: < https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1958_v20_n1.pdf > Acesso em: Fev. 2021.

CARTOGRAFIA MORFOGRÁFICA, MORFOGENÉTICA E MORFOMÉTRICA EM ESCALA DE DETALHE - EMPREGO DA ANÁLISE DIGITAL DO RELEVO.

Victor Pierobom de Almeida
PPG Geografia, Universidade Federal do Paraná
Av. Cel. Francisco H. dos Santos, SN. Ed. J.J Bigarella. 81530-000
E-mail: pierobomvictor@gmail.com
Claudinei Taborda da Silveira
Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná
Av. Cel. Francisco H. dos Santos, SN. Ed. J.J Bigarella. 81530-000
E-mail: claudineits78@gmail.com
Ricardo Michael Pinheiro da Silveira
Instituto Federal do Paraná, Campus Curitiba.
R. João Negrão, 1285. 80230-150
E-mail: ricardomichaelps@gmail.com

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo mapear os aspectos da morfografia, morfogênese e morfometria considerando a escala geomorfológica de detalhe. Utilizou como base um modelo digital de elevação (MDE) criado em ambiente SIG. O MDE foi interpolado a partir de curvas de nível, hidrografia e pontos cotados de escala 1:10.000. Foram calculados os seguintes atributos topográficos: Declividade, Média da declividade e o Índice de Posição Topográfica. Os atributos passaram por discretização, álgebra de mapas e retirada de ruídos. Por meio desses processos foram obtidas: A cartografia morfográfica que segmentou as vertentes em terços inferiores, intermediários e superiores; A cartografia morfogenética que identificou as porções com gênese fluvial e denudacional, separando-as em classes construtivas e destrutivas; E a cartografia morfométrica do relevo, realizada por curvas de nível e pontos cotados. A associação desses elementos resultou em um mapa geomorfológico na escala 1:25.000.

1. Introdução e problema de pesquisa

A cartografia geomorfológica moderna se consolidou nos anos 1960 e 1970, nesse período ocorreram avanços nas técnicas, nos materiais disponíveis e mudanças nas necessidades da sociedade, processo que levou a comunidade científica associada a UGI - União Geográfica Internacional a desenvolver um esforço para o desenvolvimento teórico e metodológico (GUSTAVSSON, 2006; COLTRINARI, 2011).

No início o objetivo principal foi desenvolver uma padronização para o mapeamento geomorfológico em nível internacional, esse propósito não se concretizou, porém desse período os geomorfólogos delimitaram os elementos do relevo essenciais à representação geomorfológica, que são: I) Descrição da forma de relevo (Morfografia); II) Propriedades espaciais do relevo, como dimensão, curvatura e declividade (Morfometria); III) Origem e evolução em relação a processos endógenos e exógenos (Morfogênese); IV) Idade relativa ou absoluta (Morfocronologia); V) Processos e taxas de alteração do relevo (Morfodinâmica) e ainda as características litológicas do terreno (KLIMASZEWSKI, 1982; DRAMIS *et al.* 2011).

Esse processo ocorreu na comunidade geomorfológica internacional e, já nos anos de 1970, essas tendências começaram a repercutir na produção brasileira. É possível citar como exemplos a parceria dos pesquisadores do departamento de geografia da USP com pesquisadores franceses (PINHEIRO e DIAS FERREIRA, 2019) e o desenvolvimento do projeto RADAMBRASIL (BARBOSA *et al*. 1984), que teve, inclusive, sua metodologia para o mapeamento geomorfológico continuada nos anos 1990 pelo IBGE (NUNES *et al*. 1995; IBGE, 2009).

Como aponta Silva (2021), a partir da década de 1990 a publicação de Ross (1992) passou a embasar diversos trabalhos brasileiros, sendo expressivos os mapeamentos em nível estadual, como Ross e Moroz (1997), Santos *et al.* (2006) e Diniz *et al.* (2017). Ao passo que as experiências de mapeamento em pequena e média escala avançaram, mapeamentos de detalhe por sua vez não foram desenvolvidos com a mesma expressão, sendo limitados a recortes pequenos e não conexos. A carência de bases planialtimétricas de detalhe no país (SOUZA, 2015) talvez tenha sido o principal fator limitante.

A cartografia geomorfológica no Paraná passa pelos mesmos processos que a cartografia geomorfológica do Brasil. Ainda na década de 1950 Reinahrd Maack apresenta as primeiras reflexões sobre o relevo do estado, porém com características descritivas e pouco detalhadas (MAACK, 1981). Posteriormente ocorrem os mapeamentos do RADAMBRASIL no estado, que datam dos anos 1980. Esses dois trabalhos apresentam metodologias e concepções teóricas distintas, mas compõe as primeiras obras sistematizadas sobre o relevo do estado.

Mapeamentos que avançaram na questão escalar acontecem apenas no século XXI. Em 2006 foi publicado o "Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná" por Santos *et al.* (2006). Esse trabalho apresentou a geomorfologia do estado na escala 1:250.000 e foi realizado com o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e dados altimétricos do MDE SRTM 90 (*Shuttle Radar Topography Mission*), a partir do qual foram obtidos e empregados atributos topográficos. Esse trabalho representou um avanço sob a perspectiva técnica e metodológica no estado, pois resultou em informações mais detalhadas e demonstrou o potencial emprego de novas técnicas apoiadas em MDEs na cartografia geomorfológica.

Mais recentemente dois trabalhos se destacam no Paraná, o de Silveira *et al.* (2019) e o de Silveira (2019). O primeiro apresentou o mapeamento para todo o estado na escala 1:100.000 e o segundo apresentou o mapeamento para todo o estado na escala 1:50.000. Ambos se embasaram em concepções teóricas distintas e mapearam elementos diferentes, porém foram desenvolvidos integralmente a partir da análise quantitativa de Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Nas últimas décadas popularizou-se o uso dos MDEs no campo da cartografia geomorfológica (SILVEIRA; SILVEIRA, 2017), baseado principalmente nos conceitos da quantificação do terreno, denominado nas geociências como Geomorfometria (PIKE, 2000). A abordagem geomorfométrica permite a manipulação dos Modelos Digitais de Elevação, que garantem possibilidade do cálculo de atributos topográficos (PIKE, 2009). Esses atributos são comumente usados como ferramentas na cartografia geomorfológica, em diferentes escalas, abrangências e concepções (WOOD, 1996; IWAHASHI; PIKE, 2007; GOMES *et al*. 2018).

Desse modo, considerando as últimas escalas de mapeamento desenvolvidas no estado do Paraná e a possibilidade do emprego da análise quantitativa para o mapeamento, o objetivo desse estudo é realizar o mapeamento dos aspectos da Morfografia, Morfogênese e Morfometria considerando a escala geomorfológica de detalhe (1.25:000), baseado exclusivamente no uso de MDE e de atributos topográficos derivados.

2.Área de estudo

O recorte de estudo se limita as bacias dos rios Maurício, Faxinal, Guajuvira, Pindauva, Isabela e Turvo, afluentes da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, porção leste do estado, e engloba parcialmente os municípios de Araucária, Contenda, Curitiba, Fazenda Rio Grande, Mandirituba e São José dos Pinhais. O recorte está apresentado na Figura 1A.

A geomorfologia da área de estudo é predominantemente composta por Colinas e Colinas Onduladas, estas dispostas principalmente ao longo dos divisores de água a montante. Aparecem Planícies Fluviais ao longo dos vales principais dos rios que seguem o sentido Sul – Norte (SILVEIRA et al. 2019). No limite Leste do recorte aparecem pontualmente Morrotes e Morros, relevos que se distinguem pela amplitude altimétrica maior, na média de 130 metros (SILVEIRA *et al*. 2019).

Considerando a geologia, aparecem ao longo de todo o recorte rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico, na porção mais a Leste aparecem rochas do complexo granítico gnáissico e ainda rochas intrusivas básicas. No limite Oeste se apresentam rochas sedimentares da formação Furnas. Ao longo da Bacia existem afloramentos da formação Guabirotuba e acompanhando os vales dos rios aparecem aluviões e terraços aluvionares (SUDERHSA, 2000). A figura 1B mostra as unidades geomorfológicas e a figura 1C as unidades geológicas.

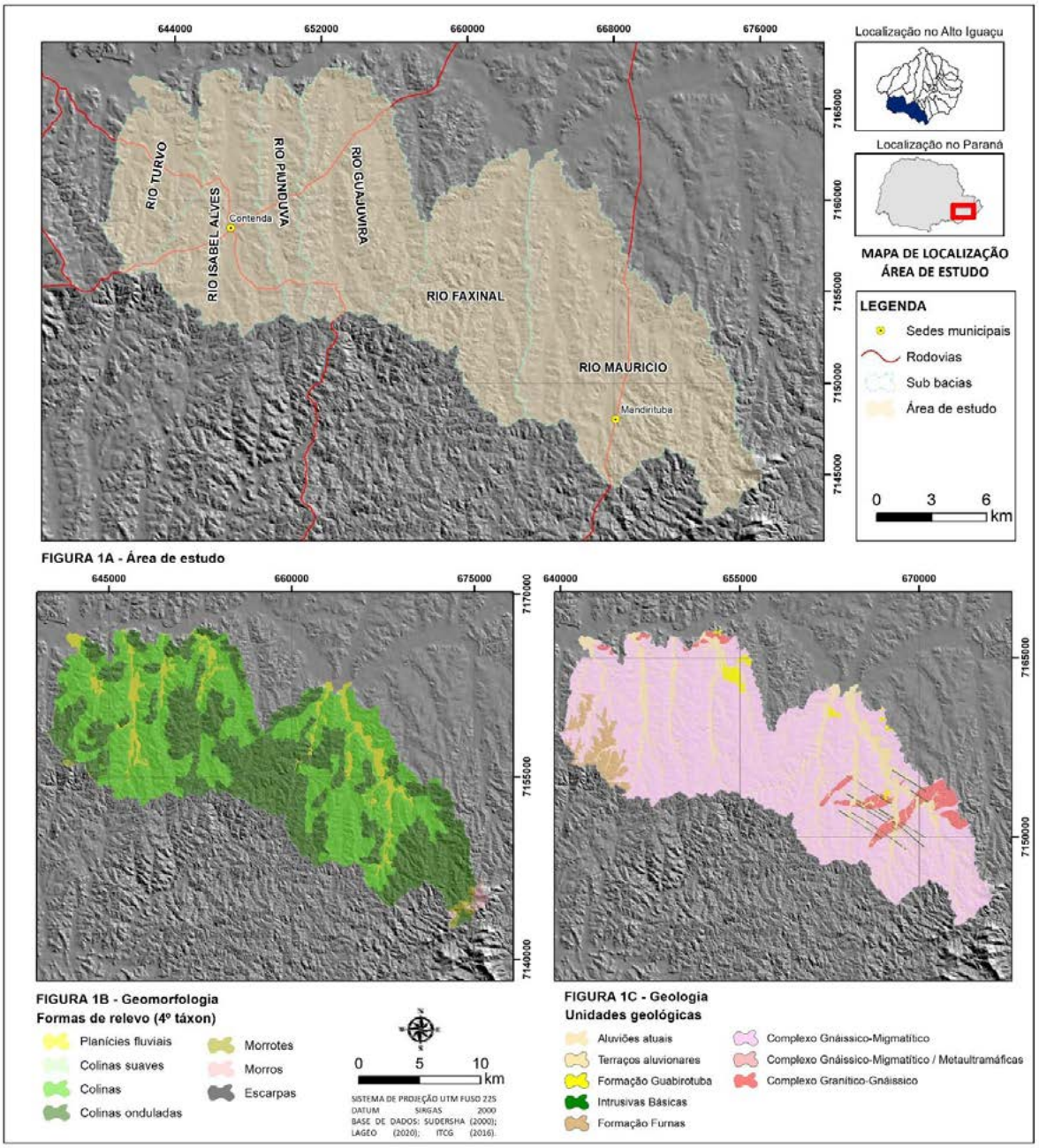


FIGURA 1: Área de estudo, relevo e geologia.
Fonte: Arquivo dos autores.

3. Materiais e métodos

A primeira etapa de desenvolvimento desse trabalho foi a interpolação do Modelo Digital de Elevação (MDE). Todos os processos foram realizados no *ArcGis* 10.1. Foram adquiridos arquivos vetoriais (curvas de nível, hidrografia e pontos cotados) da base cartográfica do Alto Iguaçu na escala 1:10.000 (SUDERHSA, 2000).O sentido da hidrografia foi corrigido e os arquivos foram usados como *input* no interpolador *Topogrid* (HUTCHISON, 1988). A definição da resolução espacial, necessária ao processo de interpolação, foi definida pela proposta de Hengl (2006), na qual se considera a densidade das curvas de nível em toda a área de estudo (equação 1) e em um recorte específico (de cerca de 5% da área total) onde as curvas são mais adensadas (equação 2).

$$P < A/(2x\Sigma l) \quad (1)$$

$$P > A/(2x\Sigma l^*) \quad (2)$$

Onde (P) é o tamanho do pixel, (A) é a área, (Σl) é a soma do comprimento das curvas de nível e (Σl*) é a soma do comprimento das curvas de nível na região mais adensadas. A equação 1 foi aplicada para todo o recorte, como já apontado, e a equação 2 foi aplicada na porção Sudeste da área. Recorte com grandes amplitudes altimétricas no relevo e que consequentemente apresenta o maior adensamento das curvas de nível na área de estudo. Considerando as duas fórmulas a resolução espacial ficou definida em 5 metros.

Após a interpolação do MDE, ocorreram os cálculos dos atributos topográficos necessários ao desenvolvimento do trabalho, que foram: I) Declividade (d),II) Média da Declividade (MD) e III) índice de Posição Topográfica (IPT). A declividade é calculada para um píxel central tendo como referência uma vizinhança de 3x3 *pixels*, sendo o valor definido pela razão entre a amplitude altimétrica e a distância horizontal da área de análise (ESRI, 2021). A média da declividade é calculada a partir de uma análise de vizinhança realizada no modelo de declividade. E o IPT, Figura 2, é uma proposta de Weiss (2001) e se baseia no conceito da diferença da elevação média de Wilson e Gallant (2000). O cálculo é descrito pela Equação 3.

$IPT = Z° - Z^1$. Equação 3.

Onde Z° é o valor do píxel central (o *raster* de entrada é o próprio MDE) e Z^1 é o valor da média da elevação da vizinhança, calculado por uma janela amostral de média.

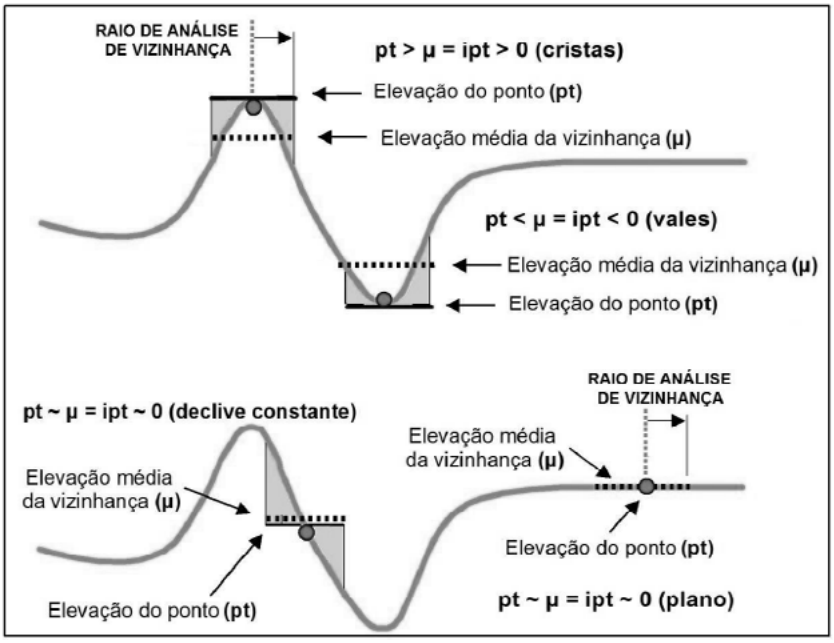


FIGURA 2: Índice de Posição Topográfica.
Fonte**:** Silveira e Silveira (2017).

Como apresentado, tanto o IPT quanto a Média da Declividade necessitam de um valor (em metros) para a área de análise, também denominado raio de análise. Para o IPT a área de análise que gerou o Z^1 foi de 500 metros (100 *pixels*), para a média da declividade foi de 100 metros (20 *pixels*). O raio de 500 metros foi definido mensurando o comprimento das vertentes, o valor da moda (500 metros)

foi usado como parâmetro. O raio de 100 metros para a média da declividade foi definido considerando o comprimento médio dos vales de segunda e terceira ordem. Após a geração dos atributos topográficos ocorreu a discretização da Média da Declividade e do IPT, valores na Figura 3A. Esse processo foi balizado pelo objetivo desse trabalho, que é a representação da morfografia e da morfogênese.

A morfogênese foi baseada na proposta de Silveira (2019), que delimitou para o estado do Paraná quatro classes, sendo elas: morfogênese fluviomarinha, morfogênese fluvial, morfogênese denudacional e morfogênese cárstica. No recorte deste presente trabalho duas são encontradas, a fluvial e a denudacional. E de maneira associada a morfogênese foi adicionado o processo morfogenético, que pode ser construtivo ou destrutivo. A morfografia foi baseada na proposta de Villela *et al.* (2015), que considera os fatos geomórficos de Ross (1992) para a compartimentação do relevo. Como a escala cartográfica da base de dados desse estudo é 1:10.000, a morfografia foi delimitada considerando o nível de vertente (5º táxon).

Após a discretização os atributos topográficos passaram pelo processo de álgebra de mapas. A combinação entre o IPT² e a Média da Declividade (MD) resultou nas classes de morfogênese, que passaram pela árvore de decisão que está apresentada na Figura 3B. Para a morfografia esse processo não ocorreu, pois ela foi delimitada apenas com as três classes do IPT¹.

Valores de discretização dos atributos topográficos

	IPT¹	IPT²	MD(%)
Classe 1	Menor que -3	Menor que -5	Até 6%
Classe 2	Entre -3 e 8	Entre -5 e 3	Maior que 6%
Classe 3	Maior que 8	Maior que 3	

FIGURA 3A - CLASSES DOS ATRIBUTOS

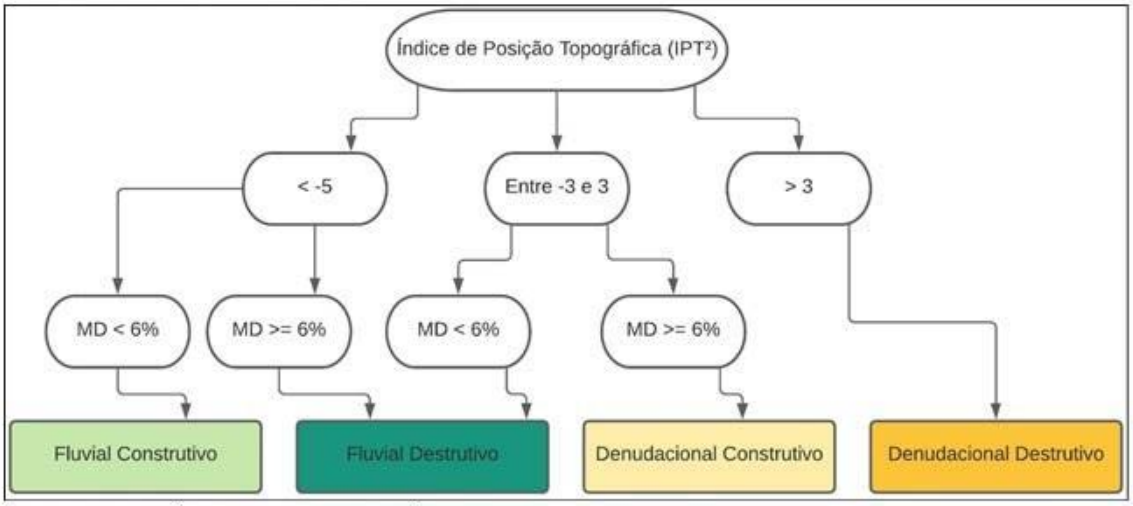


FIGURA 3B - ÁRVORE DE DECISÃO

FIGURA 3: Classes dos atributos e árvore de decisão para a morfogênese.
Fonte: Arquivo dos autores.

Após o processo combinatório os modelos que representam a morfografia e a morfogênese passaram por um filtro de ruídos. Classes com áreas menores que 500 pixels foram agrupadas e consideradas nulas (ferramenta *Con*), após esse processo elas foram generalizadas e adquiriram as características dos pixels vizinhos (ferramenta *Nibble*).

A última etapa de desenvolvimento foi a confecção da legenda geomorfológica, que representou os aspectos ligados a morfografia, morfogênese e morfometria. A morfografia seguiu a proposta de representação apresentada por Villela et al. (2015), que consiste no emprego de hachuras com fundo transparente. A morfogênese seguiu a proposta de Silveira (2019), onde se diferencia a morfogênese por cor e os processos morfogenéticos pela tonalidade. A morfometria foi representada usando os dados de altitude da base cartográfica. O layout da legenda foi desenvolvido no ArcGis 10.1.

4. Resultados e discussão

O processo de modelagem do terreno resultou em uma camada matricial que representa a morfogênese e outra que representa a morfografia. Ainda, a apresentação dos pontos cotados e das curvas de nível possibilitou a leitura da morfometria. Devido a extensão da área de estudo e a escala de mapeamento adotada no trabalho, serão usados recortes amostrais para as figuras que seguirão.

A morfografia apresentada em três classes descreveu a compartimentação das vertentes, considerando os segmentos superiores (topos e divisores), intermediários (vertentes) e inferiores (vales). O índice de posição topográfica foi capaz de manter essa relação mesmo em ambientes com padrões de vertentes distintos. Recorda-se que a área de estudo é um conjunto de pequenas bacias hidrográficas que apresentam terrenos com dissecação e declividade maiores perto dos divisores a montante. As áreas a jusante estão associadas as bordas das planícies fluviais do Rio Iguaçu. A representação da morfografia a montante e a jusante do recorte de estudo está apresentado na figura 4A, apresentação na escala 1:25.000.

A morfogênese apresentada em duas classes (denudacional e fluvial) e com dois processos associados (construtivo e destrutivo) se apresentou de maneira heterogênea ao longo da bacia. As porções a montante expressaram com predominância a gênese fluvial associada ao processo morfogenético destrutivo e áreas de denudação destrutiva maiores e mais interligadas que as construtivas (quando comparadas com ambientes a jusante). A gênese fluvial de processo construtivo aparece com significância apenas a partir dos terços médios dos rios. Esse comportamento do modelo coaduna com as características energéticas das bacias que compõem a áreas de estudo. E ainda apresenta relação com as diferentes formas de relevo (4° táxon) mapeadas por Silveira *et al.* (2019).

No mapeamento desses autores as áreas a montante são caracterizadas como Colinas onduladas e as áreas a jusante são caracterizadas como Planícies Fluviais associadas a Colinas. Essa diferenciação entre colinas e colinas onduladas se dá (no mapeamento dos autores) por amplitude altimétrica e declividade. Assim, a variação das classes genéticas expressada no modelo acompanha a mudança das formas de relevo e da energia potencial das bacias. Nos ambientes mais a montante, predominam os processos destrutivos, enquanto no ambiente a jusante predominam os processos construtivos. Na figura 4B estão apresentados, na escala 1:25.000, dois recortes que demonstram essa relação.

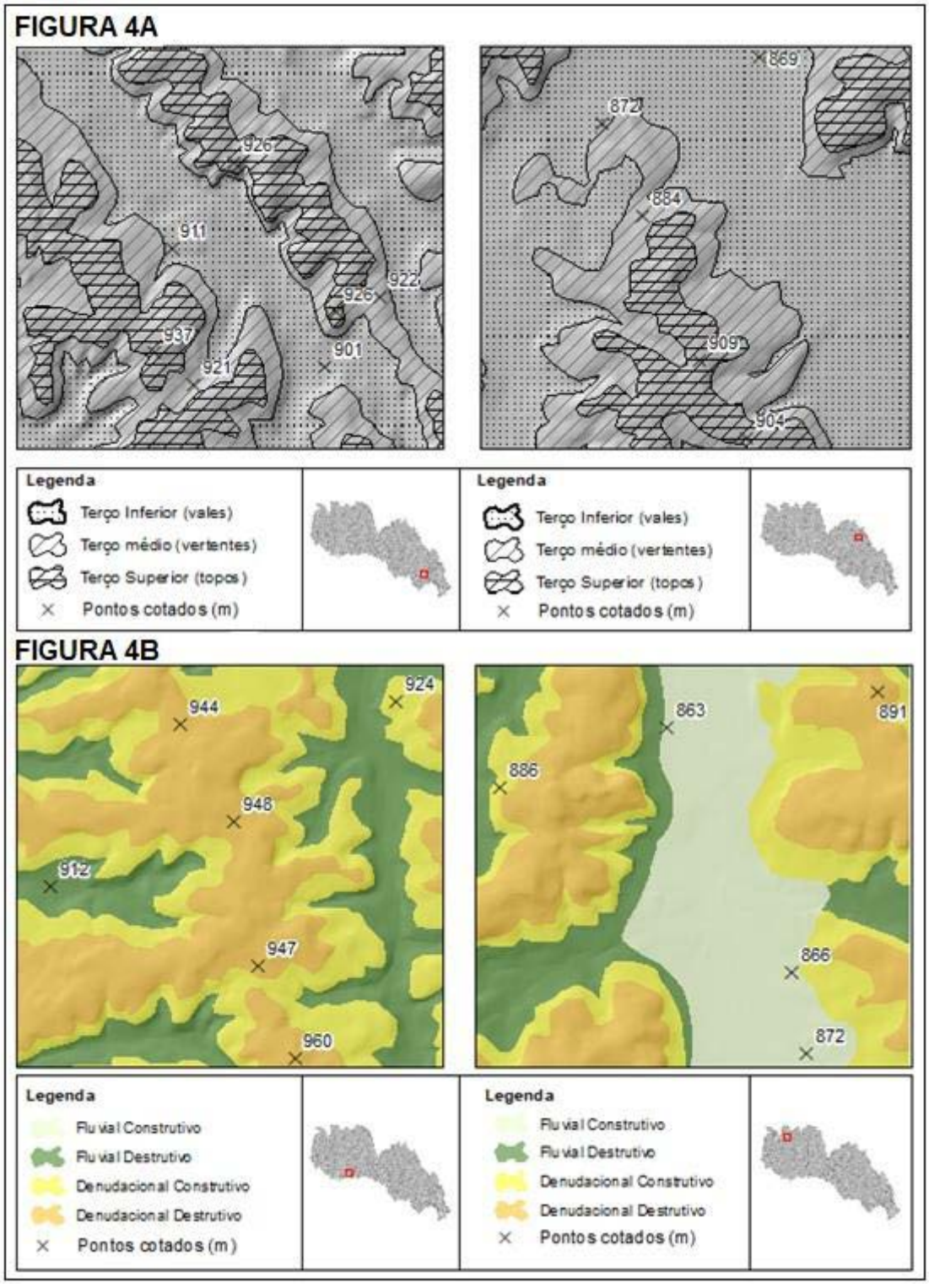


FIGURA 4: Morfografia e morfogênese (montante e jusante)
Fonte: Arquivo dos autores.

A associação das camadas de morfografia e morfogênese que foram apresentadas previamente e o tratamento dos dados de elevação (pontos cotados e curvas de nível) permitiu a representação do mapa geomorfológico que está apresentado na figura 5. A área amostral compreende o trecho médio da bacia do rio Maurício e está na escala 1:25.000.

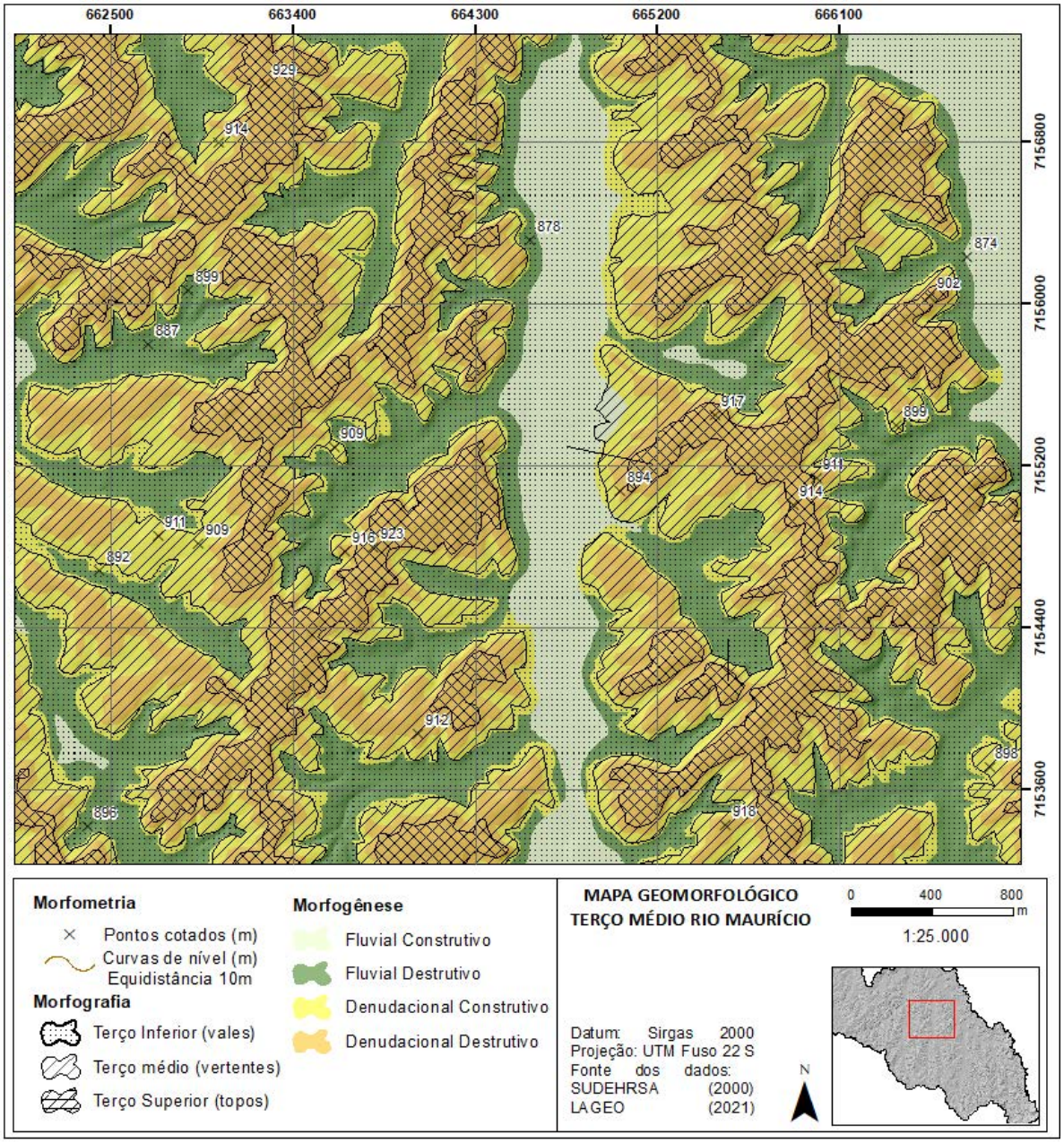


FIGURA 5: Mapa geomorfológico
Fonte: Autores.

O emprego de hachuras com fundo transparente para as formas do relevo e o uso de cores e tonalidades para a gênese possibilitou a visualização de duas camadas de polígonos sobrepostas. Os pontos cotados, com seus respectivos valores de altimetria, permitem o leitor visualizar as diferenças altimétricas entre as diferentes classes mapeadas, conferindo dessa maneira a informação da morfometria, um dos elementos delimitados como essências a representação geomorfológica (COLTRINARI, 1982. 2011; DRAMIS *et al*. 2011).

E embora no objetivo deste trabalho não exista uma proposição de desenvolver um caminho metodológico para a representação do relevo considerando as vertentes (5° táxon), da taxonomia de Ross (1992), o comportamento das classes mapeadas na escala 1:25.000 (adequadas as vertentes) aparentam seguir o padrão de mudança das formas de relevo (4° táxon) mapeadas por Silveira *et al.* 2019.

5. Considerações finais

Esse trabalho demonstra que elementos consolidados como necessários a representação geomorfológica, como morfografia e morfogênese, são passíveis de serem cartografados em escala de detalhe a partir do emprego de técnicas geomorfométricas. E considerando a realidade do mapeamento geomorfológico do estado do Paraná e o processo de aprimoramento escalar que ocorreu nas últimas duas décadas, os conceitos aplicados na modelagem desse trabalho podem servir para futuras aplicações que avancem para escalas próximas a 1:25.000.

Ressalta-se que os resultados só foram obtidos pela disponibilidade de uma base cartográfica em escala adequada, que possibilitou que interpolação de um MDE condizente com os objetos a serem mapeados. Aplicações em outros recortes demandariam MDEs com características semelhantes.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela disponibilização das bolsas que possibilitam a continuidade da pesquisa.

Referências

BARBOSA, G. V.; SILVA, T. C.; NATALI FILHO, T.; DEL'ARCO, D. M.; COSTA, R. C. R. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto Radambrasil. **Boletim Técnico, Série Geomorfologia**. Salvador n. 1, 187 p., 1984.

COLTRINARI, L. Cartografia geomorfológica detalhada: a representação gráfica do relevo entre 1950-1970. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, n.3, p.121-130, 2011.

DIKAU, R. **The Application of a Digital Relief Model to Landform Analysis in Geomorphology**. In: RAPER, J. F (ed.). Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems, London: Taylor & Francis, p. 51-77, 1989.

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P.; MAIA, R. P.; FERREIRA, B. Mapeamento Geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia** (Online), São Paulo, v. 18, n.4, p. 689-701, 2017.

DRAMIS, F.; DOMENICO, G.; ANTONELLO, C. Nature and Aims of Geomorphological Mapping. In: SMITH, M. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. eds. **Geomorphological Mapping: Methods and Applications**, Developments in Earth Surface Processes vol 15, Elsevier, 2011.

GOMES, S. M. A.; SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Aplicação de técnicas geomorfométricas para classificação de formas do relevo em Campo Largo, estado do Paraná - Brasil. **Revista Geografar**, v. 13, p. 75-97, 2018.

GUSTAVSSON, M.; KOLSTRUP, E.; SEIJMONSBERGEN, A. C. A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. **Geomorphology**77, p. 90-111, 2006.

HENGL, T. Finding the right pixel size. **Computers & Geosciences** 32, p. 1283–1298, 2006.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, 106, p. 211-272, 1989.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística, 175 p., 2009.

KLIMASZEWSKI, M. Detailed geomorphological maps. **ITC Journal**, n. 3, p. 265-271, 1982.

NUNES, B. A; RIBEIRO, M. I. C; ALMEIDA, V. J; FILHO,T. N. **Manual técnico de geomorfologia.** Manuais técnicos em geociências, n 5 , 1995.

MAACK, R. R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Ed. Olympio, 1981.

PIKE, R. J. Geomorphometry — diversity in quantitative surface analysis. **Progress in Physical Geography.** 24 (1), 1–20, 2000.

PIKE, R. J.; EVANS, I., HENGL, T. Geomorphometry: A Brief Guide. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 3-30, 2009.

PINHEIRO, M. R; FERREIRA, R. P. D. 1978–2018, Os 40 anos da primeira experiência de aplicação da cartografia geomorfológica francesa de detalhe na zona tropical úmida brasileira: histórico, princípios da legenda, mudanças e sua difusão no país. **Revista do Instituto Geológico**, v. 41, n. 1, p. 1-19, 2020.

ROSS, J. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**: Escala 1:500.000. Volume I e Volume II. Depto. Geografia FFLHC-USP, IPT e FAPESP, 1997.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 2, p. 3-12, 2006.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. Índice de Posição Topográfica (IPT) para classificação geomorfométrica das formas de relevo no estado do Paraná - Brasil. **Revista Ra'e Ga**, volume Especial Temático de Geomorfologia, 2017.

SILVEIRA, R. M. **Proposta Metodológica para Mapeamento Geomorfológico com uso da Análise Digital do Relevo no Estado do Paraná**. Tese de doutorado – Programa de Pós Graduação em Geografia – UFPR. Curitiba, 2019.

SILVEIRA, C. T.; Silveira, R. M. P. ; BORTOLINI, W. ; ALMEIDA, V. P. Emprego da modelagem digital do terreno na identificação de padrões de formas de relevo no estado do paraná: resultados simplificados. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (SBGFA), 2019, Fortaleza. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2019.

SILVA, T. M. RAÍZES DOS MAPEAMENTOS GEOMORFOLÓGICOS E PERSPECTIVAS ATUAIS. **Humboldt-Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, 2021.

SOUZA, J. O. P. Análise da precisão altimétrica dos Modelos Digitais de Elevação para área semiárida do Nordeste brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, v. 30, p. 56-64, dez. 2015.

VERSTAPPEN, H. T. Old and New Trends in Geomorphological and Landform Mapping. In: SMITH, M. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. (eds.) **Geomorphological Mapping: Methods and Applications**, Developments in Earth Surface Processes vol 15, Elsevier, 2011. Cap. 2. p. 13-35.

VILLELA, F. N. J; ROSS, J. L. S; MANFREDINI, S. Análise geomorfopedológica na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 4, 2015.

WEISS, A. **Topographic Position and Landforms Analysis**. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA, 2001.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.

WILSON, J. P. Digital terrain modelling. **Geomorphology,** 137, p.107–121, 2012.

CARTOGRAFIA MORFOMÉTRICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SANTA CRUZ: CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS PROCESSOS MORFOGENÉTICOS

2004

Mayra Silva Limírio
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP 38500-000
E-mail: mayra.limirio@ufu.br
Alan Silveira
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP 38500-000
E-mail: alan.silveira@ufu.br
Juliana Abreu Crosara Petronzio
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP 38500-000
E-mail: julianapetronzio@ufu.br

Resumo

O trabalho teve o objetivo de caracterizar a morfometria do relevo da Bacia Hidrográfica do Córrego Santa Cruz, que se localiza no município de Coromandel, Mesorregião do Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba (MG). Foram selecionadas e aplicadas as seguintes técnicas cartográficas morfométricas: carta de Declividade, carta de Dissecação Horizontal e carta de Dissecação Vertical. Identificaram-se áreas com maior suscetibilidade para o desenvolvimento de processos morfogenéticos, representadas pelos compartimentos "intensamente dissecado à leste" (Alta Bacia); "drenagem assimétrica leste" (vertentes da margem direita do Córrego Estiva)"; "drenagem assimétrica oeste" (vertentes da margem esquerda do Córrego Santa Cruz) (Média Bacia); "drenagens encaixadas" e "drenagem assimétrica" (vertentes da margem esquerda do Córrego Santa Cruz)" (Alta Bacia). Além disso, uma dolina abatida no ano de 2017 foi posicionada no compartimento "drenagem assimétrica oeste" da Média Bacia.

Palavras-chave: Morfometria do relevo; potencial morfogenético; dolina; Coromandel (MG).

1. Introdução

A bacia hidrográfica é entendida como um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes (GUERRA; GUERRA, 2010). Para Rodrigues e Adami (2011), o sistema hidrográfico compreende um volume de materiais (sólidos e líquidos predominantemente), próximos à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais.

Segundo Souza (2002) o solo, a água, a vegetação e a fauna estabelecem uma interação dinâmica que respondem diretamente às mudanças causadas por consequências naturais e/ou antrópicas. Sendo assim, as redes hidrográficas atuam como indicadores das condições dos geossistemas quando ocorrem desequilíbrios na dinâmica de seus componentes (SOUZA, 2002). Christofoletti (1979) compreende a bacia hidrográfica como um sistema, perspectiva esta que subsidia sua análise frente aos aspectos físico-naturais (hidrogeomorfológicos), bem como em seu processo de ocupação humana (relação homem-natureza).

De acordo com Teodoro *et al.* (2007), a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é um procedimento frequentemente utilizado nos estudos de planejamento ambiental e investigação da paisagem, considerando que essa caracterização tem como objetivo principal observar a dinâmica ambiental em escalas locais e regionais.

Colaborando com esses estudos, segundo Ferreira (1997), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) fornecem ferramentas que auxiliam no mapeamento e indicam respostas para o planejamento urbano e regional, meio rural e levantamento dos recursos renováveis. Contribuem com o apontamento das alterações que influenciam as mudanças no meio ambiente, dando auxílio para o planejamento e manejo dos recursos naturais de determinada região (FERREIRA,1997).

Segundo Antonielli e Thomaz (2007), fazendo uso das ferramentas do SIG para a análise conjunta de diferentes dados morfométricos, é possível identificar as áreas que possuem características similares, reconhecer as reais feições modificadas nos relevos, de forma a reconstituir sua gênese e identificar seus condicionantes. Nesse sentido, a partir da caracterização morfométrica é possível observar as áreas de maior potencial para o desenvolvimento de feições erosivas, tanto do ponto de vista das características fisíco-naturais da área, quanto na investigação das feições criadas pelos impactos ambientais das ações antrópicas (ANTONELLI; THOMAS, 2007).

Para Boin *et al.* (2014) as cartas morfométricas apresentam contribuição relevante para os estudos geomorfológicos, quando permitem a partir da geometria do relevo delimitar os compartimentos suscetíveis a ocorrência de processos erosivos e gravitacionais. Para Machado *et al.* (2010), estas cartas são úteis ao planejamento ambiental por identificarem espaços cuja interferência antrópica pode dinamizar os processos de degradação geomorfológica e ambiental.

Nesse contexto, o presente trabalho teve o objetivo de analisar a morfometria do relevo da Bacia Hidrográfica do Córrego Santa Cruz, com o intuito de facilitar a compreensão dos processos morfogenéticos presentes na Bacia. Para isso, foram selecionados três (3) procedimentos técnicos da cartografia morfométrica, a saber: Carta de Declividade (DE BIASI, 1970 e 1992), Carta de Dissecação Horizontal (SPIRIDONOV,1981) e Carta de Dissecação Vertical (SPIRIDONOV, 1981).

A área selecionada para realizar esses estudos morfométricos está localizada na zona rural do município de Coromandel (MG). A Bacia é caracterizada por apresentar, do ponto de vista do uso e ocupação da terra, o intenso uso dos recursos hídricos para fins da agricultura de grãos, bem como na exploração mineral de calcário dolomítico.

Além disso, registra-se nessa Bacia a presença de uma dolina, abatida em novembro de 2017, a qual teve repercussão nacional nos meios de comunicação em massa. Em 16/11/2017 o portal G1, por exemplo, noticiou: "Cratera de cerca de 30 metros se abre em fazenda em MG" (MOURA, 2017). Esse evento pode estar atrelado às características da litologia calcária presente na região, bem como à dinâmica de uso e ocupação da terra realizada pela ação antrópica.

Assim, é de extrema importância analisar a dinâmica morfogenética da área, para subsidiar medidas de planejamento ambiental, na interpretação do desenvolvimento de feições erosivas e cársticas. Pretendeu-se, portanto, identificar as áreas que possuem maior potencialidade à ocorrência de processos morfogenéticos, por meio da aplicação das técnicas cartográficas morfométricas selecionadas e de trabalhos de campo.

2. Área de estudo

Conforme mencionado, a Bacia do Córrego Santa Cruz está localizada no município de Coromandel, estado de Minas Gerais, na Mesorregião do Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba (figura 1).

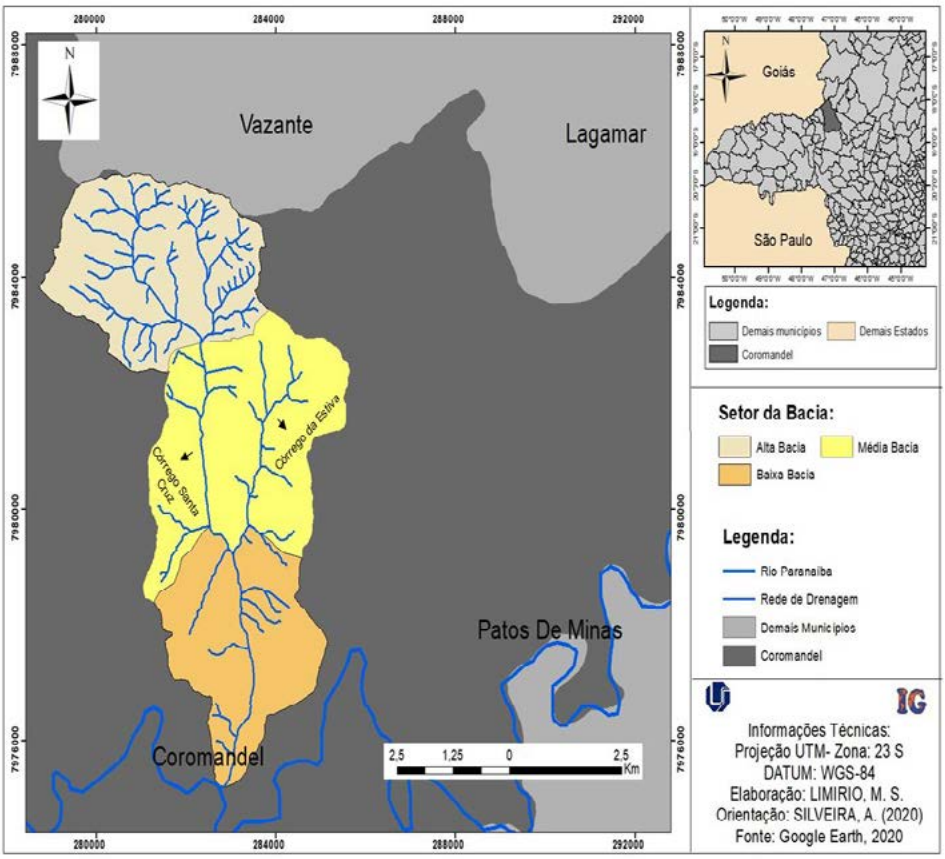


FIGURA 1: Mapa de localização da Bacia do Córrego Santa Cruz.

Do ponto de vista geotectônico, a área se insere na Faixa de Dobramentos Brasília Meridional (UHLEIN *et al*,. 2013). De acordo com interpretações realizadas no mapa geológico da CPRM (2013), afloram litologias vinculadas aos Grupos Canastra e Vazante (Neoproterozóico), bem como Coberturas Detríticas Indiferenciadas e Coberturas Eluvionares Detríto-Lateríticas (Cenozoico).

No Grupo Vazante destaca-se a presença da Formação Serra do Garrote, com o Membro Sumidouro e o Membro Andrequicé. Segundo a CPRM (2013), o Membro Sumidouro é caracterizado pela constituição de calcários dolomíticos, os quais são bastante explorados na borda externa da Bacia Hidrográfica estudada. Já o Membro Andrequicé possui siltitos cinza a esverdeados, siltitos carbonosos, argilitos e lentes de arenito/quartzito que recobrem uma parte significativa da Bacia (CPRM, 2013).

Além disso, as drenagens componentes da Bacia do Córrego Santa Cruz apresentam padrões e direções em seus fluxos que indicam possíveis controles lito-estruturais. Nota-se que alguns canais tributários apresentam-se assimétricos, enquanto outros se encontram com padrões de canais retilíneos, bem encaixados e com orientações de fluxos distintos. Como exemplo, no leste da Alta Bacia, a assimetria de um canal é evidenciada por apresentar 7 canais de primeira ordem com direção NW-SE em sua margem direita, que desaguam em canal de segunda ordem com direção NE-SW. Já na Baixa Bacia, um canal tributário apresenta comportamento diferenciado quanto a sua orientação, tendo seu fluxo dirigido de SW-NE, enquanto o canal principal corre de N-S.

Do ponto de vista geomorfológico a área insere-se no Domínio de Unidades Denudacionais em Rochas Cristalinas ou Sedimentares, com padrões de relevo Colinoso e de Superfícies Aplainadas (BATISTA *et al*., 2010). Quanto aos solos, a área tem a presença de Latossolos Vermelhos Distróficos, Neossolos Litólicos Distróficos, Neossolos Flúvicos Distróficos e Cambissolos Háplicos Distróficos (MOTTA *et al.*, 2004). Em campo, registraram-se dominantemente os Latossolos Vermelhos nas áreas aplainadas com agricultura, enquanto nas áreas mais dissecadas identificaram-se Cambissolos Háplicos e Neossolos Regolíticos.

Quanto aos aspectos climáticos, a região de Coromandel apresenta clima mesotérmico, de variedade Aw (tropical de savana) com duas estações bem definidas, verão chuvoso (outubro a abril/maio) e uma estação seca (maio/junho a setembro), com precipitação média anual de 1.638,2 mm e médias térmicas de 22°C (SANTOS; RIBEIRO, 2004).

Diante das características físico-naturais apresentadas e dos trabalhos de campo realizados, verificou-se que a área é suscetível à formação de feições geomorfológicas, tendo como exemplo a referenciada dolina abatida em 2017. Assim, o presente trabalho buscou fornecer dados e produtos que colaborassem para o entendimento dos processos morfogenéticos na Bacia do Córrego Santa Cruz, a partir da aplicação de técnicas da cartografia morfométrica, as quais são apresentadas a seguir.

3. Metodologia

Foram produzidas para a Bacia do Córrego Santa Cruz as Cartas Morfométricas de Declividade, de Dissecação Vertical e de Dissecação Horizontal, a partir de uma base cartográfica na escala de 1:30.000.

Inicialmente, para que esses documentos fossem gerados, foi necessário organizar uma base de dados que correspondesse a uma escala de maior detalhamento. Como há uma carência de cartas topográficas nessa escala para a região em estudo, optou-se por elaborar uma base cartográfica a partir das imagens

de radar *Alos Palsar* disponibilizadas no site da *United States Geological Survey* (USGS) e imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth, adquiridas no *Base Map*, dentro do ArcGis 10.5.

A partir do tratamento das imagens de radar, foi possível obter curvas com variação de 12 metros, respeitando a escala de trabalho, fazendo uso das seguintes ferramentas: *Geoprocessing → ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Contour.* Já com as imagens de satélite foi possível delimitar a Bacia do Córrego Santa Cruz, traçar de forma manual as drenagens através da criação e edição de um *shapefile* de linhas, além de sobrepor as curvas de nível geradas ao relevo da área. Com isso foi possível verificar a coerência dos dados adquiridos por meio do tratamento das imagens de radar, uma vez que para a elaboração dos documentos cartográficos morfométricos selecionados, são necessários o detalhamento das curvas de nível. Neste procedimento de checagem foram observados alguns erros nas curvas geradas, as quais foram corrigidas manualmente utilizando o procedimento de vetorização e exclusão de ruído.

3.1 Carta de Declividade

A carta de Declividade representa quantitativamente, em porcentagem, a inclinação das vertentes. Para geração dessa carta foi utilizada a proposta de Biasi (1970 e 1992), a qual sugere o uso de um ábaco graduado, formando um ângulo com as curvas de nível que tem seus limites em porcentagem.

Sua elaboração ocorreu digitalmente no *software* ArcGis 10.5 de forma vetorizada, seguindo as orientações de Machado (2015). As classes de declividade foram definidas com base em De Biasi (1992), utilizando a seguinte fórmula:

$$Dc = DN/DH \times 100$$

Onde:

Dc = declividade; DN = equidistância das curvas; DH = distância horizontal.

A partir da aplicação dessa fórmula encontraram-se os valores dos intervalos utilizados para a quantificação da declividade, os quais foram classificados em: < 3%; 3 ⊦ 6%; 6 ⊦ 12%; 12 ⊦ 24%; 24 ⊦ 40%, e; ≥ 40%. Na sequência, foi utilizado uma régua graduada para medir o valor real da área em metros entre os limites de duas curvas de nível. Assim, conforme as distâncias entre as curvas atingissem os limites dos valores dos intervalos, indicavam-se as mudanças de classes. Com isso, os *shapefiles* (polígonos) correspondentes às cores dos intervalos (classes de declividade) eram editadas e sobrepostas as áreas.

3.2 Carta de Dissecação Horizontal

A Carta de Dissecação Horizontal quantifica a distância entre as linhas de cumeadas e os talvegues (CUNHA *et al.*, 2003). Através dessa carta é possível avaliar a fragilidade potencial natural da bacia em relação à atuação dos processos morfogenéticos, reconhecendo os locais que possuem interflúvios mais estreitos e indicam maior suscetibilidade aos processos fluviais (GOMES *et al.*, 2016). Trata-se de um documento cartográfico essencial quando há o interesse de reconhecer os setores de concentração de redes hidrográficas e/ou nascentes que indicam possíveis futuras capturas (FERREIRA *et al.,* 2014).

Para a elaboração dessa carta foi adotada a proposta de Spiridonov (1981), com elaboração por meio de técnica digital no *software* ArcGis 10.5, seguindo os procedimentos de Ferreira *et al.* (2014). Segundo Gomes *et al.* (2016), o procedimento exige a delimitação manual das sub-bacias utilizando as curvas de nível da base cartográfica, setorizando a área que é drenada por cada curso d'água. Em

seguida, foi aplicado a técnica digital proposta por Ferreira *et al.* (2014), a qual elabora os intervalos de dissecação horizontal dentro de cada sub-bacia. Para esse trabalho, a ferramenta utilizada na técnica digital não conseguiu desenvolver todos os intervalos de forma coerente.

Assim, fez-se necessário realizar medidas entre a linha cumeada e o talvegue de forma manual, e após isso atribuir as classes de dissecação horizontal, conforme os valores máximos e mínimos previamente definidos. As classes adotadas foram: < 30 m; 30 ⊦ 60 m; 60 ⊦ 120 m; 120 ⊦ 240 m; 240 ⊦ 480 m; ≥ 480 m.

3.3 Carta de dissecação Vertical

A carta de Dissecação Vertical utiliza-se da variação altimétrica entre as linhas de cumeadas e os talvegues para representar, a partir de classes, o grau de entalhamento dos vales em cada setor de sub-bacia (CUNHA, 2001). Seu objetivo principal é apontar áreas de potencial erosivo por meio da variação altimétrica das curvas de nível, indicando áreas com maior potencial de velocidade de fluxo d'água e consequentemente, maior poder erosivo (GRECHIA, 2011).

Para a elaboração dessa carta foi adotada a proposta de Spindorov (1981), seguindo os procedimentos automáticos apresentados por Ferreira (2015). Os procedimentos também foram executados em Ambiente SIG, a partir do *software* ArcGis 10.5, delimitando todas as sub-bacias utilizando os dados da base cartográfica. Para isso, um *shapefile* de linha foi criado e editado sobre os limites das sub-bacias.

Em seguida, foi marcado um ponto de intersecção entre as curvas de nível e a rede hidrográfica, que serviu de referência para tracejar uma linha que se aproximasse de 90° até o limite da sub-bacia. Assim, cada curva que estivesse dentro do limite dessa linha recebia uma classe de dissecação vertical. A dissecação vertical é menor nas curvas que são próximas da rede hidrográfica, sendo assim, conforme há a mudança de altitude, os intervalos de dissecação vertical aumentam.

Como a base cartográfica utilizada nesse trabalho mantém uma equidistância de 12 metros entre as curvas, as classes definidas para essa carta foram de: < 12 m; 12 ⊦ 24 m; 24 ⊦ 36 m; 36 ⊦ 48 m; 48 ⊦ 56 m; ≥ 56 m. Com isso, foram gerados *shapefiles* (polígonos) e editados a partir das cores correspondentes a cada classe.

4. Resultados e discussões

A análise morfométrica da Bacia do Córrego Santa Cruz foi realizada a partir da integração dos dados obtidos nas cartas de Declividade (figura 2), de Dissecação Horizontal (figura 3) e de Dissecação Vertical (figura 4). Para apresentar e analisar os resultados adquiridos, a Bacia em estudo foi dividida nos setores de Alta, Média e Baixa Bacia (figura 1).

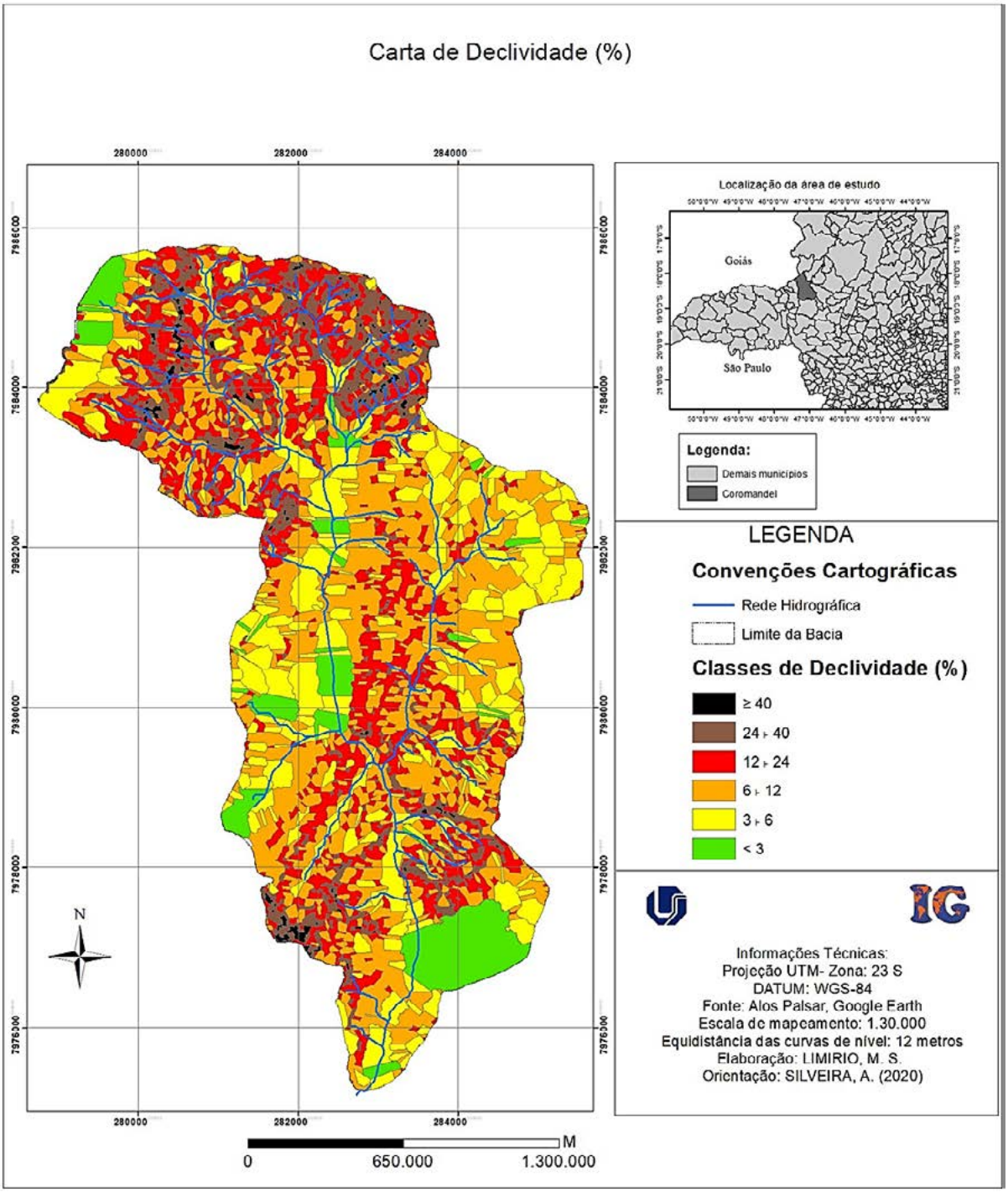


FIGURA 2: Carta de Declividade da Bacia do Córrego Santa Cruz.

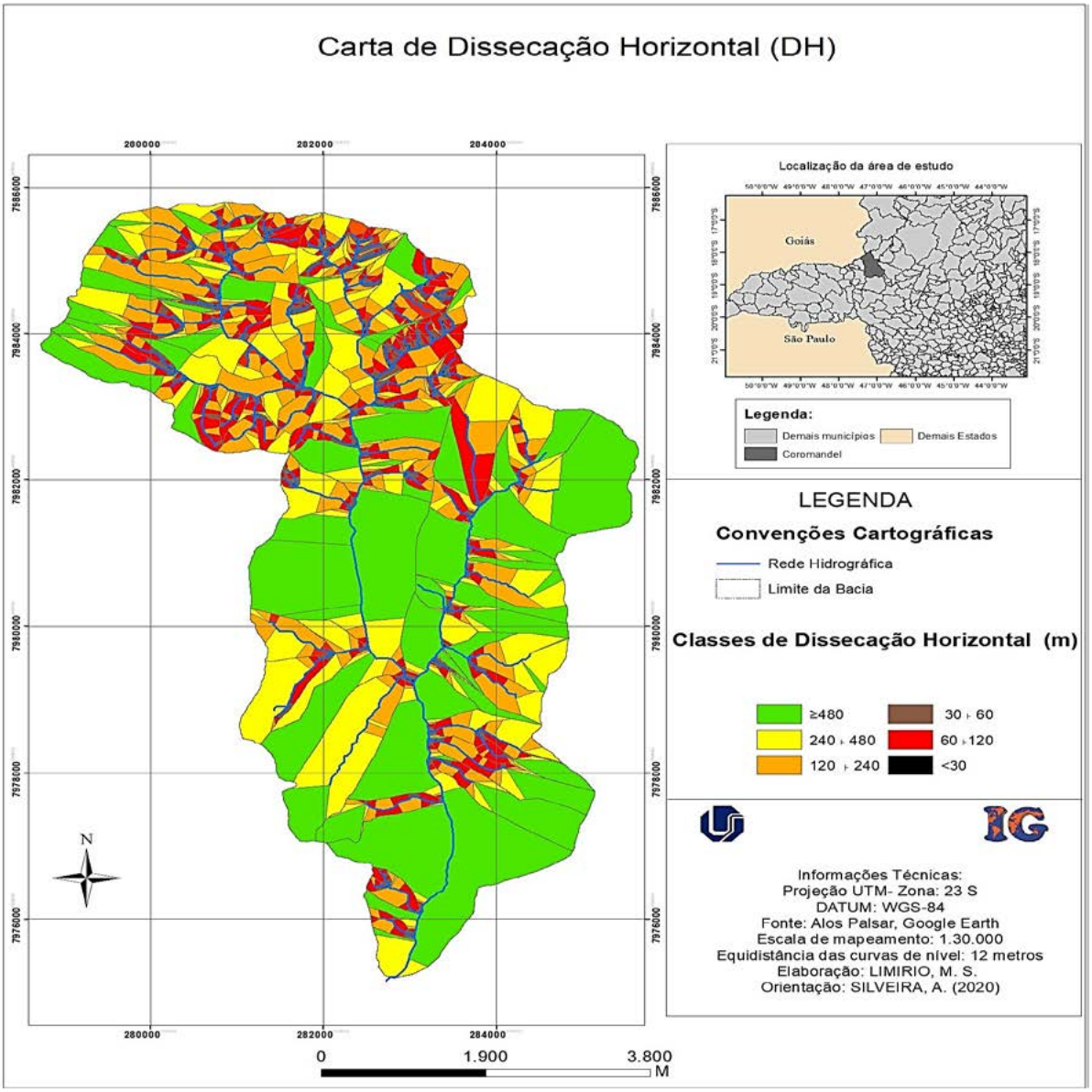


FIGURA 3: Carta de Dissecação Horizontal do Córrego Santa Cruz.

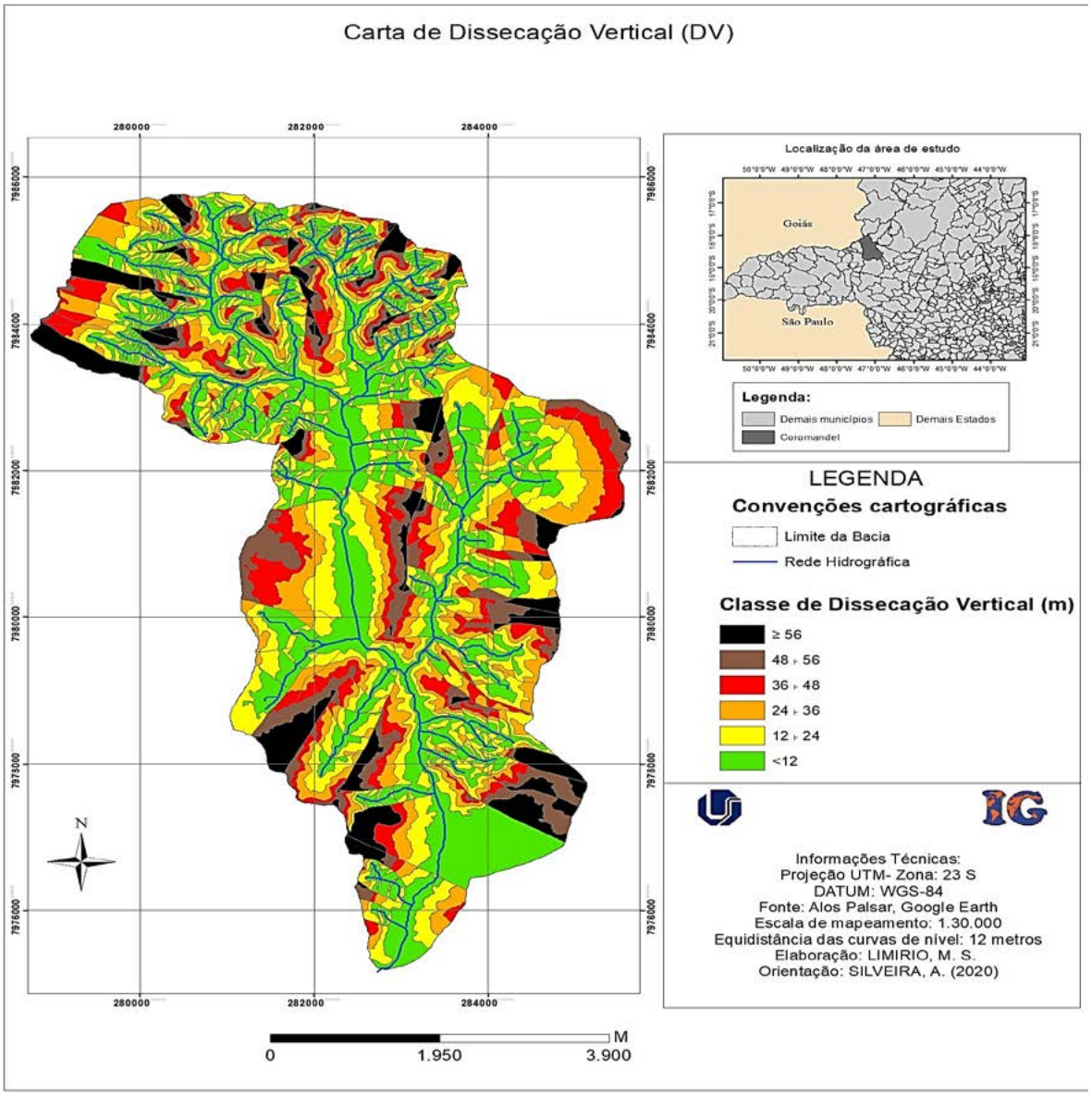


FIGURA 4: Carta de Dissecação Vertical da Bacia do Córrego Santa Cruz.

Para o setor da Alta Bacia, com base nas informações morfométricas, foram reconhecidos dois compartimentos, a saber: "topos aplainados à oeste" e o "intensamente dissecado à leste".

Os "topos aplainados à oeste" restringem-se a uma pequena faixa e apresentam reduzidas classes de declividade (< 3 e 3 ⊢ 6%) e de dissecação horizontal (240 ⊢ 480 e ≥ 480m). Por serem áreas que se dirigem às cabeceiras de drenagens, abrigando topos e terços superiores de vertentes, foram encontradas classes mais elevadas de dissecação vertical (com destaque as classes 36 ⊢ 48, 48 ⊢ 56 e ≥56m). As cotas registradas nessa área estão acima de 984 metros e

transicionam para áreas de maior dissecação, a partir de uma extensa ruptura topográfica, onde se posicionam canais de primeira ordem, como ilustra a figura 5A.

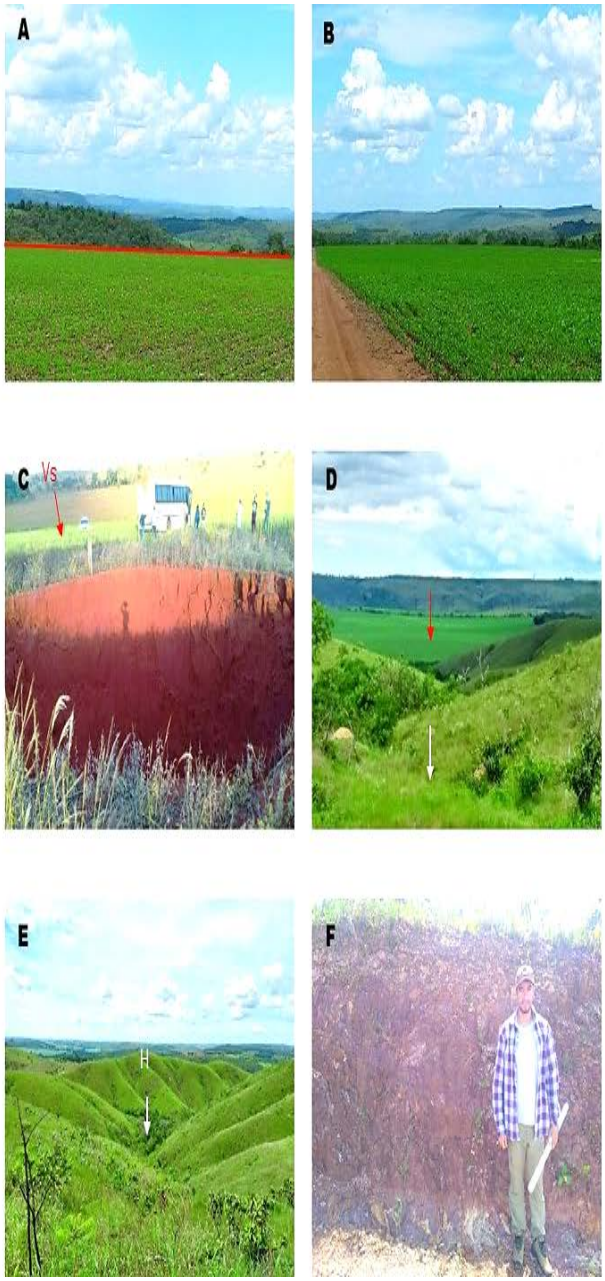


FIGURA 5: A: Setor da Alta Bacia, "topos aplainados à oeste", a linha vermelha indica a ruptura topográfica (quebra de relevo), local onde se instalam canais de primeira ordem; B: Feição tabular no setor da Alta Bacia com uso do solo destinado a agricultura em Latossolos; C: Dolina abatida instalada em vertente suavizada (Vs) da margem direita do Córrego Santa Cruz (Média Bacia); D: Assimetria do Córrego Santa Cruz na Média Bacia, vertentes dissecadas da margem esquerda (seta branca) e vertentes suavizadas da margem direita (seta vermelha); E: Drenagem tributária encaixada (H) na margem direita do Córrego Santa Cruz com direção SW-NE; F: Afloramento de siltitos micáceos sobrepostos por Nesssolo Regolíticos posicionados em áreas de canais de primeira ordem da drenagem da foto E. Autora: Limírio (2019).

Do ponto de vista geológico e pedológico, os "topos aplainados" são caracterizados por apresentarem uma Cobertura Detríto-Laterítica com espessos perfis latossolizados destinados à agricultura de grãos (figura 5B). Os dados morfométricos associados às características litológicas e pedológicas denotam

para esse compartimento um baixo potencial ao desenvolvimento de processos morfogenéticos.

O compartimento "intensamente dissecado", dominante no setor da Alta Bacia, é caracterizado por apresentar um contexto geral de classes de declividade acentuadas (12 ⊦ 24, 24 ⊦ 48 e ≥ 48%), elevada densidade de drenagem (com interflúvios que se destacam por classes 60 ⊦ 120, 30 ⊦ 60 e <30 m) e grau de entalhamento dos vales com classes médias e altas (36 ⊦ 48, 48 ⊦ 56 e ≥56 m).

Conforme mencionado, esse compartimento transita em relação ao compartimento dos "topos aplainados" a partir de uma ruptura topográfica (figura 5 A) que margeia os canais de primeira ordem. A elevada densidade desses canais propicia o entalhamento dos vales, tornando as feições concavizadas. Assim, os processos de erosão regressiva atuam na dissecação da borda da chapada.

No extremo leste do compartimento "intensamente dissecado", há um setor com uma drenagem assimétrica que contém 7 canais de primeira ordem, os quais dissecam vertentes da margem direita do canal, ao passo que as vertentes da margem esquerda são desprovidas de tributários. Essa assimetria de drenagem indica um provável controle lito-estrutural na área, devido ao contato entre o Grupo Canastra e o Grupo Vazante (CPRM, 2013), o qual contribui para uma dissecação mais efetiva nas vertentes da margem direita que se encontram declivosas e posicionadas em interflúvios estreitos. Tais características denotam maior suscetibilidade ao desencadeamento de processos morfogenéticos.

Para a Média Bacia foram reconhecidos 2 compartimentos a partir das cartas morfométricas: "drenagem assimétrica leste (Córrego Estiva)" e "drenagem assimétrica oeste" (Córrego Santa Cruz) (figura 1).

No primeiro compartimento da Média Bacia, destaca-se principalmente a diferenciação dos valores das classes de declividade. As vertentes da margem direita do Córrego Estiva caracterizam-se pela presença de valores mais elevados de declividade (6 ⊦ 12 e 12 ⊦ 24%), quando comparados as vertentes da margem esquerda (3 ⊦ 6, 6 ⊦ 12%). Essa diferença também é observada para as classes de dissecação horizontal, quando as vertentes da margem esquerda apresentam-se com maior densidade de drenagem, embora seus comprimentos de rampa sejam mais extensos. Tal assimetria de drenagem pode estar associado à uma falha ou fratura apontada pela CPRM (2013), onde se instala o Córrego Estiva.

Além disso, as vertentes da margem esquerda que se apresentam mais extensas e suavizadas são caracterizadas pela presença de Coberturas Detríticas Indiferenciadas com solos mais espessos, ao passo que as vertentes da margem direita, caracterizam-se pela presença de litologias da Formação Serra do Garrote, Grupo Vazante (CPRM, 2013), com perfis de solos mais restritos quanto ao seu desenvolvimento. As características morfométricas associadas as características geológicas e pedológicas, indicam que as vertentes da margem direita do Córrego Estiva apresentam maior potencial ao desenvolvimento de processos morfogenéticos.

Já no compartimento "drenagem assimétrica oeste" da Média Bacia as vertentes da margem direita do Córrego Santa Cruz apresentam classes de declividade mais reduzidas (<3 e 3 ⊦ 6%) em relação às vertentes da margem esquerda do canal principal (6 ⊦ 12 e 12 ⊦ 24%). De modo geral a densidade de drenagem é similar, mas o comprimento de rampa das vertentes da margem direita é mais extenso do que as vertentes da margem esquerda. É nessa área de vertentes suavizadas, pouco dissecadas e extensas que se posiciona a dolina abatida, conforme ilustra a figura 5C.

A figura 5D procura ilustrar essa assimetria, quando a seta branca indica as vertentes dissecadas da margem esquerda do Córrego Santa Cruz, caracterizadas pela presença da Formação Serra do Garrote (Membro Andrequicé) com litologias siltosas e quartzosas (CPRM, 2013) sobrepostas por Neossolos e Cambissolos (com ocupação de gramíneas), enquanto a seta vermelha indica as vertentes pouco dissecadas da margem direita, caracterizadas pela presença de Coberturas Detríticas Indiferenciadas (CPRM, 2013) com Latossolos (com uso da agricultura de grãos), onde se posiciona a dolina (figura 5C).

Destaca-se que essa feição apresenta aproximados trinta metros de profundidade, onde a exposição do perfil de alteração indica a presença de Latossolos Vermelho espessos sem indicativo de saprolito e afloramento rochoso. Além disso, salienta-se que nas proximidades da Média Bacia encontram-se explorações de calcário dolomítico da Formação Serra do Garrote (Membro Sumidouro), bem como é feito uso dos canais superficiais para a agricultura irrigada. Neste sentido, as características geológicas da área, associadas às interferências antrópicas podem estar condicionando o desenvolvimento da feição cárstica, indicando a necessidade de estudos de subsuperfície.

Assim como para os setores da Alta e Média Bacia, a Baixa Bacia também foi compartimentada em 2 subsetores: “drenagens encaixadas” e “drenagem assimétrica (Córrego Santa Cruz)”.

Destaca-se para o primeiro compartimento da Baixa Bacia uma drenagem tributária da margem direita Córrego Santa Cruz. Essa drenagem encontra-se bem encaixada com padrão de canal retilíneo (lineamento de drenagem) e orientação de fluxo de SW para NE, que se diferencia significativamente da orientação do canal principal, que segue de N para S.

Para essa drenagem, são evidenciados nas cartas morfométricas, elevadas classes de declividade (12 ⊦ 24, 24 ⊦ 40 e ≥40%) e dissecação vertical (48 ⊦ 56 e ≥56 m). A figura 5E ilustra o grau de entalhamento dos vales, bem como as vertentes declivosas e dissecadas que se dirigem ao canal, encaixado em uma falha ou fratura segundo mapeamento da CPRM (2013). Nestas áreas de canais de primeira ordem, em campo, foram observados siltitos micáceos com veios preenchidos por quartzos leitosos da Formação Serra do Garrote (Grupo Vazante, Membro Andrequicé), sobre o falhamento ou fratura indicado pela CPRM (2013). Além disso, o regolito demonstrou-se bem intemperizado **e em função das características** morfométricas apresentadas, os processos morfogenéticos **são bem atuantes, resultando em solos pouco desenvolvidos como os** Neossolo Regolíticos (figura 5F).

Destaca-se ainda, para este compartimento, a presença de três drenagens tributárias posicionadas nas vertentes da margem esquerda do Córrego Santa Cruz. Apresentam-se com elevado grau de dissecação, tendo os três canais orientações bem distintas ao canal principal, com fluxo dirigido de SE-NW. Tais evidências denotam para esse compartimento um elevado potencial ao desencadeamento de processos morfogenéticos, os quais estão controlados por condicionantes lito-estruturais.

Por fim, na Baixa Bacia foi também identificado o compartimento “drenagem assimétrica”, caracterizado por vertentes mais declivosas (6 ⊦ 12 e 12 ⊦ 24%) e mais dissecadas do ponto de vista horizontal (60 ⊦ 120 e 120 ⊦ 240m) e vertical (48 ⊦ 56 e ≥56m) na margem direita do Córrego Santa Cruz. Já as vertentes da margem esquerda, caracterizam-se por declividades mais reduzidas (<3 e 3 ⊦ 6%), bem como reduzida dissecação horizontal (≥480m), comprimentos de rampas extensas e menor grau de entalhamento (<12m).

Nas vertentes mais dissecadas (da margem direita), destaca-se a presença de litologias da Formação Serra do Garrote (Grupo Vazante, Membro Andrequicé), sobrepostas por solos pouco desenvolvidos. Já nas vertentes menos dissecadas, extensas e suavizadas, predominam as Coberturas Detríticas Indiferenciadas com solos mais espessos. Assim, as vertentes da margem direita do Córrego Santa Cruz denotam maior suscetibilidade ao desenvolvimento de processos morfogenéticos.

5. Considerações finais

As três cartas morfométricas organizadas para a Bacia do Córrego Santa Cruz contribuíram para o apontamento das áreas mais suscetíveis ao desencadeamento de processos morfogenéticos. Com isso, foram identificados os compartimentos de maior suscetibilidade nos setores de Alta, Média e Baixa Bacia.

Entende-se que essa suscetibilidade indicada pelas variáveis morfométricas está associada aos condicionantes lito-estruturais registrados para a área, que se posiciona na unidade geotectônica da Faixa de Dobramentos Brasília Meridional. Denotaram-se drenagens assimétricas, canais fluviais encaixados com padrões retilíneos e de orientações de fluxos discrepantes ao canal principal, bem como canais encaixados em falhas ou fraturas e em contatos litológicos.

Além disso, observou-se que as áreas de maior suscetibilidade estão presentes em litologias dos grupos Canastra e Vazante, com destaque ao Membro Andrequicé pertencente ao último grupo. Já nas áreas com características morfométricas que indicam menor potencial ao desenvolvimento de processos morfogenéticos são registrados Coberturas cenozoicas e perfis espessos de solos.

Registra-se que a dolina posicionada no compartimento "drenagem assimétrica oeste" da Média Bacia, desenvolveu-se em área caracterizada por reduzido potencial ao desenvolvimento de processos erosivos frente às características morfométricas, tendo perfis de solos extremamente pedogenizados. Reitera-se que nas imediações da Bacia do Córrego Santa Cruz são registradas cavas de exploração de calcário dolomítico, bem como nessas áreas de relevos aplainados e solos desenvolvidos os seus usos são destinados a agricultura irrigada.

Vale ainda o registro de que nas proximidades da dolina, tem-se indicativos de falha ou fratura onde se instalam canais fluviais. Dessa forma, as características apresentadas contribuem e indicam a necessidade da ampliação de estudos de superfície e subsuperfície que permitam avanços na compreensão genética dessa feição.

Referências

ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p. 46-58, jun. 2007.

BATISTA, C.B.; SILVA, S.F.; DANTAS, M.E.; DUARTE, K.S.; ALMEIDA, B.F.; MURICY FILHO, A.F.; COUTINHO, C.I.; PEDROSA, L. Aspectos Gerais do Meio Físico. In: MACHADO, M.F; SILVA, S.F. (Org). **Geodiversidade do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2010.

BOIN, M. N.; ZANATTA, F.A.S; CUNHA, C.M.L. Avaliação da morfometria do relevo da alta bacia hidrográfica do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP). **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v.2, p. 5-26, 2014.

CHIRSTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: HUITEC, 1979.

CPRM, COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Relatório Final de Pesquisa e Carta Geológica:** Folha Coromandel (SE.23-Y-A-II), escala 1:100.000. Belo Horizonte**:** CPRM, 2013.

CUNHA, C.M.L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental.** Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista; Instituto de Geociências e Ciências e Exatas. Rio Claro, 2001.

CUNHA, C.M.L; MENDES, I.A.; SANCHEZ, M.C. Técnicas de Elaboração, Possibilidades e Restrições de Cartas Morfométricas na Gestão Ambiental. **Geografia,** Rio Claro, v.28, n. 3, p. 415-429, 2003.

DE BIASI, M. Cartas de Declividade: Confecção e Utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n.21, p. 812. 1970.

DE BIASI, M.A Carta Clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, n.6, p. 45-60. 1992.

FERREIRA, C.C.M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais.** Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Departamento de engenharia agrícola; Viçosa, 1997.

FERREIRA, M.V.; TINOS, T.M.; PINTON, L.G.; CUNHA, C.M.L. Dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: proposta de técnica digital automática. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, p. 585-600. 2014.

FERREIRA, M.V. **Contribuição metodológica ao estudo da dissecação e energia do relevo: proposta e avaliação de técnicas computacionais**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro. 2015.

GOMES, W.N.; MIGUEL, A,E.; PINTO, A.L. Análise da Dissecação Horizontal e Vertical da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda, Três Lagoas / MS. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alto Paulista**, Tupã,(SP): v. 12, n. 3 p. 112-123, 2016.

GUERRA, A.T; GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico.** 8ª. Ed. Rio de janeiro: Bertrand Brasil, 652p., 2010.

GRECHIA, L. **Dinâmica geomorfológica da bacia hidrográfica do córrego bom jardim**. 2011. 133p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Três Lagoas/MS, 2011.

MACHADO, A.C.P. **Alterações morfológicas decorrentes da expansão urbana no setor Leste da cidade de Rio Claro (SP)**: subsídios ao planejamento urbano. 2015. 172f. Dissertação (Mestrado em geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2015.

MACHADO, A.C.P.; CUNHA, C.M.L.; SATO, S.E. A contribuição da cartografia morfométrica do relevo para a análise ambiental: exemplos do litoral brasileiro. In: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, 2010, Coimbra. **Anais...** Coimbra, 2010, p. 1-12.

MOTTA, P.E.F. da; BARUQUI, A.M.; SANTOS, H.G. dos. Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Região do Alto Paranaíba, **Embrapa**, Rio de Janeiro. 2004.

MOURA, M. Cratera de cerca de 30 metros se abre em fazenda em MG e é avaliada pela UFU. **Portal G1**, Minas Gerais, Triângulo Mineiro, 16 nov. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/cratera-de-cerca-de-30-metros-se-abre-em-fazenda-em-mg-e-e-avaliada-pela-ufu.ghtml>. Acesso: 21 de março de 2019.

OLIVEIRA, P.C. **Avaliação do patrimônio geomorfológico potencial dos municípios de Coromandel e Vazante, MG.** Dissertação (pós-graduação em Geografia) - Instituto de Geografia- UFU, Universidade Federal De Uberlândia, Uberlândia. 2015.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S.F. Técnicas em Hidrografia. In: VENTURI, L.A.B. (Org.). **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.

SANTOS, E.; RIBEIRO, G. Clima e agricultura no município de Coromandel (MG), **Caminhos de geografia**, Uberlândia, v. 5, n. 13. p 122-140. 2004.

SOUZA. C.G. **Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: EMATER, 124p. 2002.

SPIRIDONOV, A.I. **Princípios de la Metodologia de las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfológico**. Havana:

Universidad de la Havana, Faculdad de Geografia, 1981.

TEODORO, V.L.I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D.J.L; FULLER, B.B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, n. 20, p. 137-157. 2007.

UHLEIN, A.; FONSECA, M.A.F.; SEER, H.J.; DARDENNE, M.A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – Setores Setentrional e Meridional. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.20, n. 2, p. 1-14, 2013.

CLASSIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DO RELEVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GUARIROBA, CAMPO GRANDE – MS

2020

Viviane Capoane
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Av. Dom Antônio Barbosa, 4155 - Vila Santo Amaro, Campo Grande - MS, CEP: 79115-898
E-mail: capoane@gmail.com

Resumo

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência da resolução espacial de Modelos Digitais de Superfície (MDSs) e de Elevação (MDE) na classificação automatizada do relevo da bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande, MS. Para a classificação do relevo foi utilizado o algoritmo Geomorphons, no programa SAGA GIS 7.9.0. Os MDS utilizados foram SRTM 30m e Alos Palsar 12,5m e, o MDE 5m foi gerado com curvas de nível e pontos cotados de um aerolevantamento na escala 1:10.000. Os resultados mostraram que a classificação automatizada do relevo utilizando o algoritmo Geomorphons é sensível à resolução espacial de MDS e MDE. Comparado a base de maior resolução espacial, os MDS superestimaram as áreas de pico, crista, concavidades, vales e depressões, e subestimaram as áreas planas e de ombro.

Palavras-chave: Resolução espacial, Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital de Elevação, *Landforms*.

1. Introdução

Até a metade do século XX, os atributos geomorfométricos eram medidos calculando manualmente a geometria do terreno (HORTON, 1932; 1945; STRAHLER, 1952). Nas décadas de 1960 e início da década de 1970 a disponibilidade de computadores possibilitou o desenvolvimento de métodos mais complexos e baseados em estatística para identificar características do terreno (CHORLEY, 1972; EVANS, 1972). Os avanços na tecnologia computacional, novos métodos analíticos geoespaciais e a crescente disponibilidade Modelos Digitais de Elevação (MDE) e de Superfície (MDS) reorientaram a geomorfometria (PIKE, 1999), e promoveram o desenvolvimento de algoritmos computacionais para o cálculo das propriedades geomorfométricas da superfície terrestre, o que contribuiu para desenvolvimento de pesquisas em diversas áreas das ciências ambientais, como agricultura, hidrologia, biologia, geografia e engenharias, as quais utilizam variáveis dependentes da topografia (RUHOFF, et al., 2011).

Ao longo das últimas décadas, muitos algoritmos foram desenvolvidos para a classificação das formas de relevo. Dikau et al. (1995) e Iwahashi e Pike (2007) desenvolveram algoritmos que utilizam o gradiente de curvatura e inclinação; Iwahashi e Pike (2007) incluíram a rugosidade da superfície. Conforme Stepinski e Jasiewicz (2011) e Jasiewicz e Stepinski (2013), estes métodos geram elementos de relevo que geralmente não são compatíveis com as posições das inclinações usadas por exemplo, no mapeamento do solo com base no modelo solo-paisagem (MILNE, 1935; JENNY, 1941), além de serem computacionalmente dispendiosos. Isso levou estes autores a proporem um método de classificação do relevo a partir dos fenótipos de relevo (JULESZ, 1981), compreendidos como microestruturas fundamentais do relevo.

A ferramenta de análise geoespacial desenvolvida por Stepinski e Jasiewicz (2011) e Jasiewicz e Stepinski (2013) reconhece as variações nos padrões topográficos da paisagem possibilitando sua classificação. O algoritmo Geomorphons faz uma varredura nas mudanças de elevação ao longo de uma linha contínua em oito direções da bússola, a partir de um ponto central, usando perspectivas de zênite e nadir (que são registradas como iguais a, maiores que, ou inferiores ao ponto em questão), o que resulta em 10 formas únicas: *flat*, *summit*, *ridge*, *shoulder*, *spur*, *slope*, *hollow*, *footslope*, *valley* e, *depression*.

Neste trabalho, a ferramenta Geomorphons foi utilizada para classificar o relevo da bacia hidrográfica do córrego Guariroba a partir de MDS e MDE de diferentes fontes, a fim de ilustrar os efeitos da resolução espacial nos fenótipos de relevo derivados.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica (BH) do córrego Guariroba, sub bacia do Ribeirão da Botas, afluente do rio Pardo, possui 369,7 km² e localiza-se integralmente na zona rural do município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, a leste da sede do município (Figura 1). Esta BH, atualmente, é responsável por 36% da água potável que abastece a cidade de Campo Grande, conforme a concessionária Águas Guariroba.

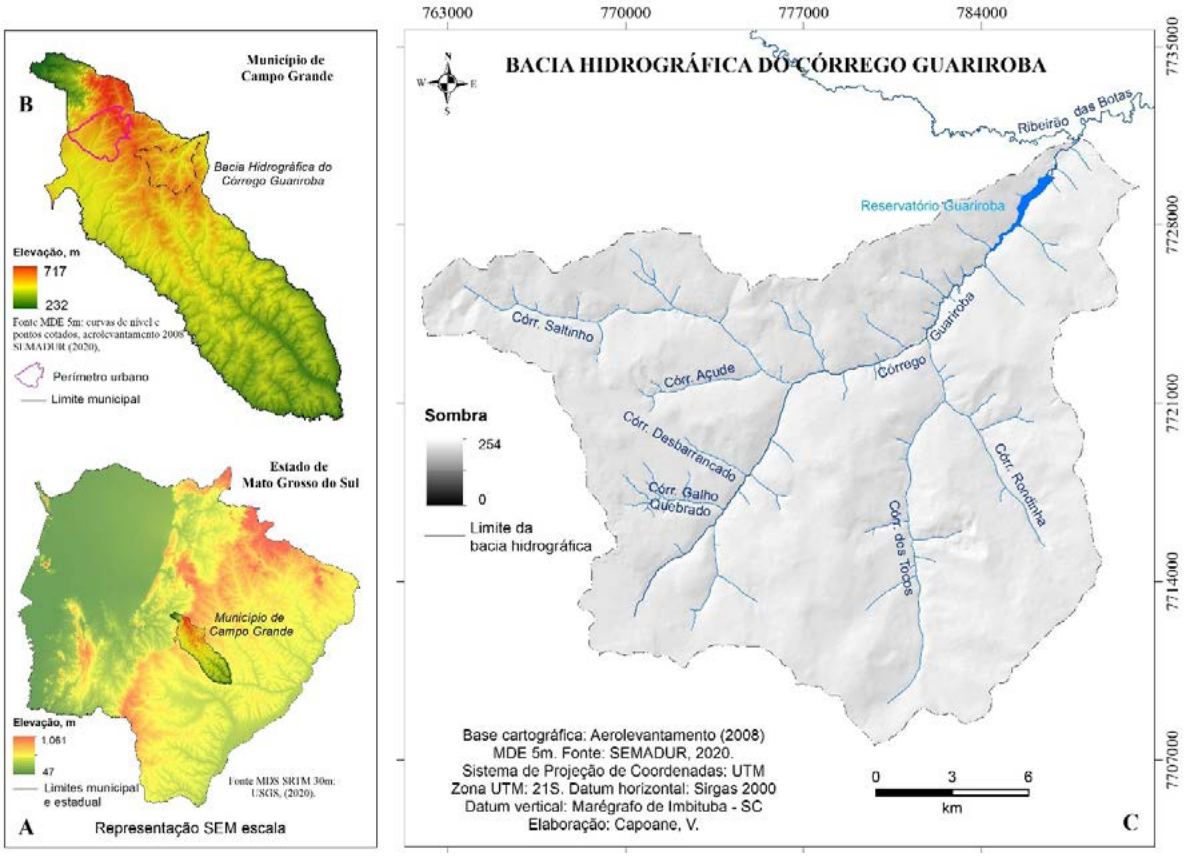


FIGURA 1: A) Município de Campo Grande no contexto do Estado de Mato Grosso do Sul; B) bacia hidrográfica do córrego Guariroba no contexto municipal; C) área de estudo do presente trabalho

A bacia hidrográfica do córrego Guariroba é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável - Área de Proteção Ambiental - APA do Guariroba, criada pelo Poder Público Municipal em setembro de 1995 (SEMADUR, 1995), com o intuito de recuperar e conservar o principal sistema produtor de água bruta para abastecimento público que, à época, respondia por aproximadamente 50% do abastecimento de Campo Grande. O Reservatório Guariroba (Figura 1C), cuja lâmina d'água é de aproximadamente 99 ha, está em operação desde 1985.

No contexto Geológico, a BH encontra-se na transição entre os derrames basálticos da Formação Serra Geral (supersequência Gondwana III - Neojurássico-Eocretáceo) e a Bacia Sedimentar de Bauru, Grupo Caiuá (indiviso), uma bacia intracratônica de subsidência isostática Neocretáceo (MILANI, et al., 1998; LACERDA-FILHO, et al., 2006; BASILICI; SGARBI; DAL'BÓ, 2014; BATEZELLI, 2015). No contexto geomorfológico, a área situa-se na macroforma de relevo dos Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná (ROSS, et al., 2019), na Unidade Planalto de Campo Grande (IBGE, 2019). Conforme Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos do Município de Campo Grande na escala 1:100.000 (MOTTA, et al., 2013), a classe de solo predominante na BH é Neossolo Quartzarênico órtico (RQo).

A vegetação natural compõe a ecorregião do Cerrado e o uso predominante são pastagens plantadas. Os remanescentes de Cerrado como Formações Florestais e Savânicas restringem-se a fragmentos e nas margens dos cursos d'água (MapBiomas, 2020). Muitas áreas utilizadas para pecuária extensiva estão degradadas ou em processo de degradação e já é possível identificar focos em processo de arenização (identificados no projeto MapBiomas como áreas não

vegetadas e dunas). A classe de uso Floresta Plantada também tem aumentado em área nos últimos anos. Estas atividades, que são desenvolvidas predominantemente em solos altamente suscetíveis a erosão, pobres quimicamente, álicos e cuja capacidade de troca catiônica depende quase que exclusivamente da matéria orgânica do solo (SPERA, et al., 1999), podem resultar em consequências negativas tanto do ponto de vista ambiental (erosão e sedimentação) quanto de abastecimento público (recarga de aquíferos e capacidade de armazenamento de água no reservatório Guariroba), como já apontou Capoane (2019) em trabalho desenvolvido na bacia hidrográfica.

2.2 Fonte dos dados

Neste trabalho foram utilizados dados de elevação de diferentes fontes e resoluções: imagens de radar – SRTM, MDS 30m; Alos Palsar (AP), MDS 12,5m e; curvas de nível e pontos cotados de um levantamento aerofotogramétrico (LA) do município de Campo Grande, MDE 5m. A imagem do radar SAR da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) utilizada foi a SRTM1S21W055V3 com data de aquisição 11/02/2000 e de publicação 23/09/2014 (USGS, 2020). A resolução espacial da cena é de 30,31818954 metros. A imagem de radar do satélite Alos com múltipla polarização em amplitude, órbita ascendente 26796, ponto 6770, no modo de imageamento: banda L, polarização HH e tamanho do pixel de 12,5m, com data de aquisição de 04/02/2011, foi obtida no site da *Alaska Satellite Facility* (ASF, 2020). As curvas de nível, com equidistância de 5m e pontos cotados para o município foram obtidos no *site* da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano (SEMADUR, 2020). Os dados de elevação foram gerados pela técnica de fotogrametria, escala 1:10.000 na zona rural – contexto do presente trabalho (voo março de 2008, faixa 03, fotos 940 a 942) e 1:2.000 na zona urbana (voo fevereiro de 2008, faixa 12, fotos 8.424).

Uma vez obtidas as imagens do radar SRTM e AP foram reprojetadas para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) e convertidos para ponto. Para os dados obtidos junto a SEMADUR foi necessário a checagem das cotas das curvas nível e remoção de *sinks* e *spires* no arquivo pontos cotados. No programa ArcGIS 10.8.1 (licenciado para a autora) os dados altimétricos das três bases foram interpolados utilizando a ferramenta de análise espacial *Interpolation*, método *topo to raster*. A escolha do método de interpolação baseou-se nos resultados do trabalho desenvolvido por Hutchinson (1989), que constatou que este interpolador resulta em melhor consistência hidrológica. Este método de interpolação é indicado para gerar modelos de elevação acurados, já que o efeito erosivo da água altera substancialmente o contorno do relevo (HUTCHINSON, et al., 2011). Segundo esses autores, o método foi especificamente projetado para criar uma superfície que representa mais de perto uma drenagem natural e preserva melhor as linhas de cume. A versão atual do ANUDEM usado no ArcMap (no qual o *topo to raster* é baseado) é a 5.3. Nos MDSs, foram mantidas as resoluções espaciais de origem de 30,3 e 12,5m, e a interpolação foi realizada visando unicamente a melhor representação dos interflúvios, consequente a delimitação da BH. No MDE LA, a resolução espacial escolhida na interpolação foi a de cinco metros e a opção por esta resolução espacial foi a equidistância entre as curvas de nível (cinco metros), também, porque segundo Hancock et al. (2002), MDEs com esta resolução de pixel são adequados para avaliações geomorfológicas em escala de bacia hidrográfica.

2.3 Delimitação da bacia hidrográfica e classificação automatizada do relevo

Uma vez obtidos os MDSs e MDE, utilizando a ferramenta de análise espacial do ArcMap, foi delimitada a bacia hidrográfica para cada uma das bases de dados. Os MDSs e MDE com as depressões preenchidas "*fill*" foram utilizados unicamente

para a delimitação da bacia hidrográfica. Com o limite das BHs foi extraída a área de interesse – bacia Hidrográfica do córrego Guariroba - e no programa SAGA GIS 7.9.0, utilizando o módulo *Terrain Analyses* → *Lighting*, *Visibility* → Geomorphons, procedeu-se a classificação automatizada do relevo. Este módulo do SAGA GIS delineia as 10 unidades de relevo mais universalmente aceitas, aplicando um algoritmo de reconhecimento de padrão que se baseia em um raio de busca de vizinhança local a partir de um ponto focal central (STEPINSKI; JASIEWICZ, 2011; JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013).

3. Resultados e Discussões

As 10 classes de relevo geradas pelo algoritmo Geomorphons foram computadas para as três bases de dados analisadas, como mostram a Tabela 1 e a Figura 2. A classe com maior representação em área foi encosta com 54,0% (MDE 5m); 50,6% (MDS 12,5m) e; 53,4% (MDS 30m), respectivamente (Tabela 1). Isso pode ser atribuído à erosão e transporte de sedimentos na paisagem, o que faz com que essas áreas inclinadas (que estavam em um estado de fluxo mais alto) se tornassem mais acentuadas e abundantes em comparação as demais posições da vertente. Para Raska (2012), a maior representação desta classe é esperada devido ao fato de que encostas são a forma de relevo mais abundante em qualquer paisagem do mundo. As atividades antrópicas com manejo inadequado, caso da área de estudo do presente trabalho, também aceleram o desenvolvimento e o domínio de encostas (FRANZMEIER, et al., 2004).

A segunda classe de Geomorphons de maior representação em área na BH, nas três bases analisadas, foi esporão ou crista secundária com 13,2%, 14,5% e, 11,6% nas bases LA, SRTM e AP, respectivamente (Tabela 1). Embora a área desta classe tenha sido próxima nas três bases (Tabela 1), na Figura 3, fica evidente que em MDS de menor resolução espacial não são capazes de discerni-las acuradamente.

TABELA 1
Classes de Geomorphons para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba

Fenótipos de relevo	LA*	AP**	SRTM***
	..... Área %		
Plano (*Plan*)	5,29	0,54	2,81
Pico (*Summit*)	0,04	0,50	0,14
Crista (*Ridge*)	3,40	6,93	4,22
Ombro (*Shoulder*)	10,10	3,62	7,64
Espora (*Spur*)	13,17	14,51	11,65
Encosta (*Slope*)	53,97	50,61	53,41
Concavidades (*Hollow*)	4,46	12,12	7,16
Base da encosta (*Footslope*)	7,01	3,84	8,26
Vale (*Valley*)	2,47	6,76	4,53
Depressão (*Depression*)	0,10	0,57	0,17

*Levantamento Aerofotogramétrico; ** Alos Palsar; *** *Shuttle Radar Topography Mission*.

A classe de menor representação em área na bacia hidrográfica, nas três bases, foi pico com 0,04% (MDE 5m); 0,50% (MDS 12,5m) e; 0,14% (MDE 30m) (Tabela 1). Em paisagens de baixo relevo e relativamente plana como a área de estudo (SRTM - declive médio de 3,9%; AP - declive médio de 4,9% e; LA - declive médio de 3,4%), essa classe não é representada adequadamente.

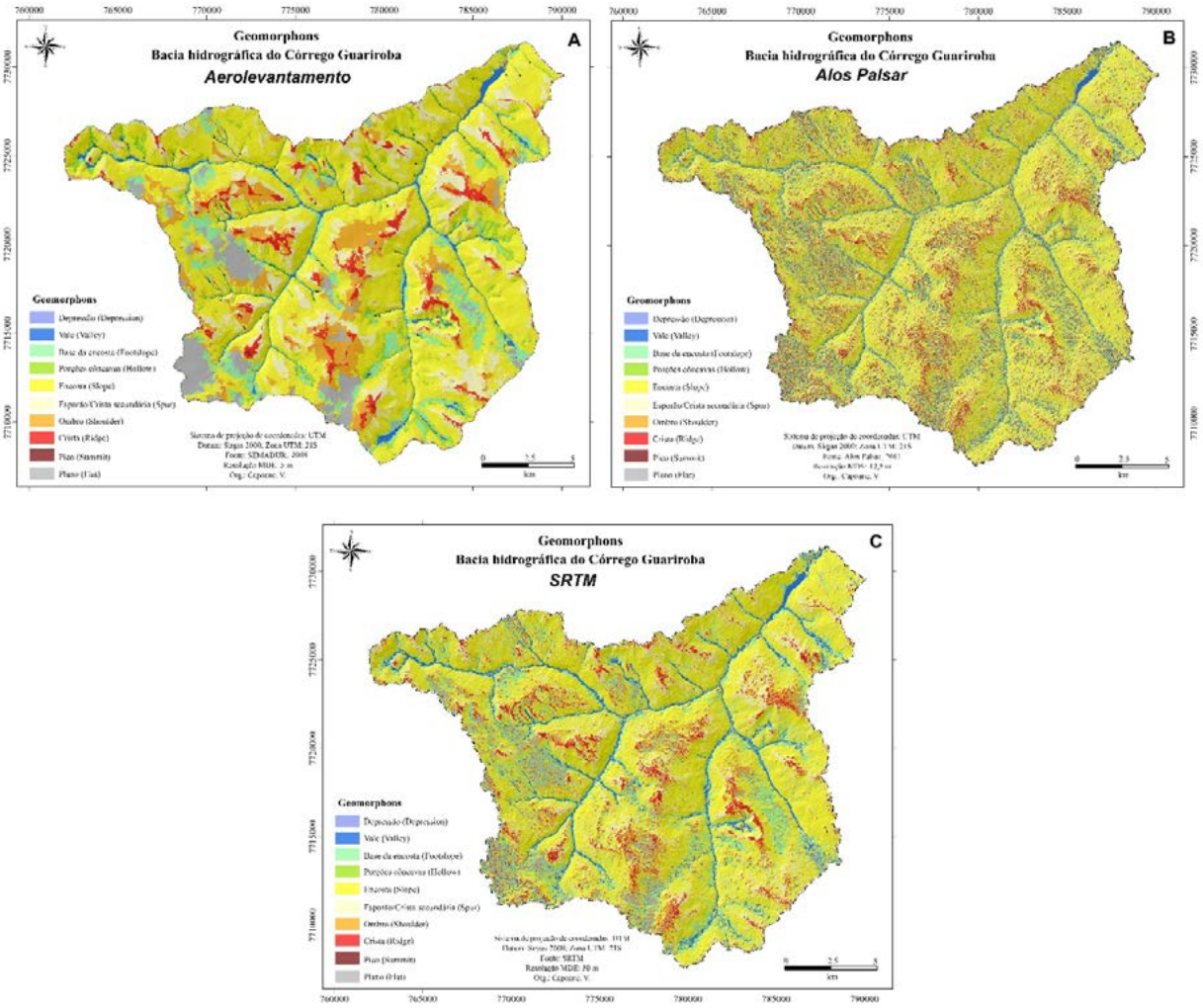


FIGURA 2: Classes de Geomorphons para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba nas três bases de dados analisadas

As demais classes de relevo variaram na ordem de representação de acordo com a base de dados: MDE 5 m – ombro, base da encosta, plano, porções côncavas, crista, vale, depressão com 10,1; 7,0; 5,3; 4,5; 3,4; 2,5; 0,1% da área da BH, respectivamente (Tabela 1); MDS 12,5m – porções côncavas, crista, vale, base da encosta, ombro, depressão, plano, com 12,1; 6,9; 6,8; 3,8; 3,6; 0,6; 0,5% da área da BH, respectivamente (Tabela 1). MDS 30m – base da encosta, ombro, porções côncavas, vale, crista, plano, depressão com 8,3; 7,6; 7,2; 4,5; 4,2; 2,8; 0,2% da área da BH, respectivamente (Tabela 1).

Com base na análise qualitativa ou visual (cartas) e quantitativa (tabela), este trabalho mostra que certas características da paisagem são menos discerníveis em MDSs com menores resoluções espaciais como 30 e 12,5m, do que em MDEs com alta resolução espacial como a de cinco metros. Para Thompson et al. (2001), a acurácia dos modelos altimétricos de menores resoluções espaciais nos produtos derivados pode ser crítica quando os dados são usados para modelagem ambiental e previsão da distribuição espacial das propriedades hidrológicas, geomorfológicas (fato constatado no presente trabalho) e biológicas.

No recorte espacial (Figura 3), observa-se em melhor detalhe os impactos da resolução espacial de MDS na classificação automatizada do relevo. Diminuindo a resolução espacial os MDS produziram gradientes de declive mais baixos em declives mais íngremes; declives mais acentuados em declives mais planos; faixas mais estreitas nas curvaturas; maiores áreas de captação específicas nas posições superiores da paisagem; e menores áreas de captação específicas em posições mais baixas da paisagem. A assinatura geomorfométrica Vale, que possui baixa inclinação, localizada próximo às áreas de talvegues, foi a que apresentou melhor acurácia posicional, porém com subestimação de área nas bases de menor resolução espacial - MDSs SRTM e AP (Tabela 1).

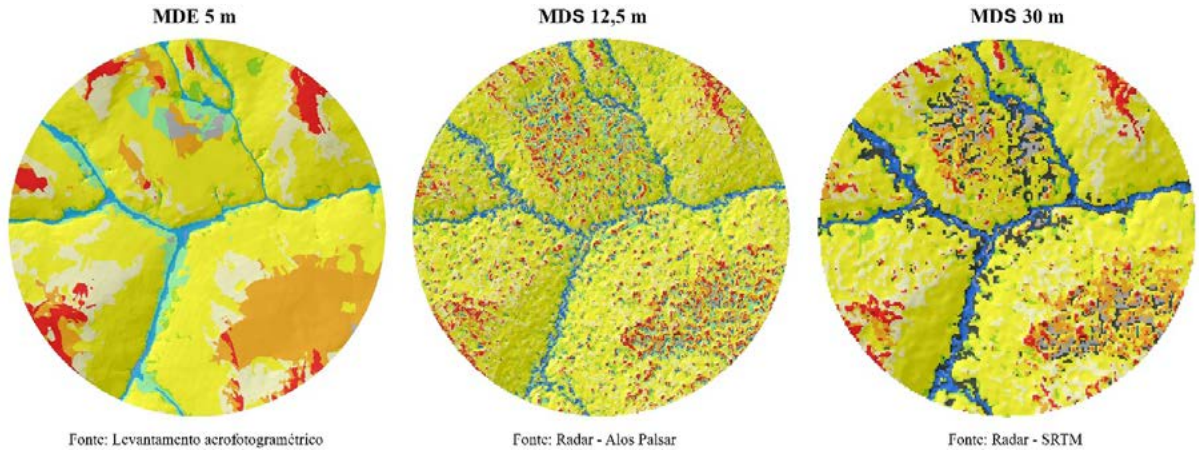


FIGURA 3: Recorte espacial para as três bases de dados analisadas: levantamento aerofotogramétrico (MDE 5m), Alos Palsar (MDS 12,5m) e SRTM (MDS 30m)

Os resultados obtidos mostram que dados de elevação com diferentes fontes e resoluções para a mesma paisagem produzem previsões de paisagem diferentes, porque os coeficientes, variáveis e estrutura do modelo mudam. Considerando os vários usos de MDS e MDE, como os preditivos (USLE, MUSLE, RUSLE, SWAT, WEPP, EPIC, EUROSEM, AGNPS, dentre outros), e de classificação de relevo, é importante considerar os impactos da resolução espacial nos atributos do terreno derivados.

Embora, nas últimas décadas numerosos estudos tenham comprovado que a modelagem topográfica é sensível à resolução espacial dos MDS e MDE de entrada (JENSON; DOMINGUE, 1988; ZHANG; MONTGOMERY, 1994; WOLOCK; PRICE, 1994; BAND; MOORE, 1995; WALKER; WILLGOOSE, 1999; THOMPSON, et al., 2001; WU; HANG, 2007; CAPOANE, et al., 2015; CAPOANE, et al., 2017; SCHLÖGEL, et al., 2018; ŽABOTA, et al., 2019, dentre inúmeros outros), seus impactos nos atributos do terreno derivados continuam sendo ignorados (WELCHSLER, 2007; HIRT, 2018).

4. Conclusão

Neste trabalho foi utilizado o algoritimo Geomorphons para a classificação automatizada do relevo da bacia hidrográfica do córrego Guariroba a partir dados de elevação de diferentes fontes (radar e aerolevantamento) e resoluções espaciais (5, 12,5 e 30m). Os resultados obtidos mostram que a classificação automatizada das formas de relevo é sensível à resolução espacial de MDS e MDE. O algoritimo Geomorphons mostrou-se promissor para a classificação automatizada dos fenótipos de relevo.

Cabe salientar que a precisão e acurácia da representação da superfície terrestre a partir de modelos altimétricos depende da escala dos levantamentos originais dos quais os MDEs e MDSs foram construídos. A reamostragem (interpolação) para diminuição do tamanho da grade além da resolução original do levantamento não aumenta a precisão e acurácia da representação da superfície e potencialmente introduz erros de interpolação, que são propagados nos atributos do terreno derivados.

Referências

ASF. Alaska Satellite Facility. **Vertex data**. Disponível em: https://search.asf.alaska.edu/#/. Acesso em: 20 jan. 2020.

BATEZELLI, A. Continental systems tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and their relationship with the tectonic and climatic evolution of South America. **Basin Research**, v. 27, p. 1-25, abr. 2015.

BASILICI, G.; SGARBI, G. N.; E DAL' BÓ, P. F. F. A sub-bacia Bauru: um sistema continental entre deserto e cerrado. In: HASUI, Y. *et al.* (Orgs.). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca-BALL, 2014. pp. 520-543.

CAPOANE, V. Susceptibilidade a erosão na bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Acta Brasiliensis**, v. 3, n. 2, p. 49-55, 2019.

CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F.; KUPLICH, T. M. Efeito da resolução de modelos digitais de elevação na derivação do índice topográfico de umidade: estudo de caso no município de Palmitinho-RS. **Geografia em Questão**, v. 10, n. 2, p. 9-23, 2017.

CAPOANE, V. *et al.* Influência da resolução do modelo digital de elevação na determinação do índice topográfico de umidade e na capacidade de predição dos teores carbono orgânico do solo. **Geo UERJ**, v. 27, p. 144 - 155, 2015.

CHORLEY, R. J. Spatial analysis in geomorphology. In: CHORLEY, R. J. (Ed). **Spatial analysis in geomorphology**. New York: Harper and Row Publishers, 1972. p. 3-16.

DIKAU, R. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: RAPER, J. (Ed.). **Three Dimensional Applications in Geographic Information Systems**. London: Taylor and Francis, 1989. p, 51-77.

EVANS, I. S. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. J. (Ed). **Spatial analysis in geomorphology**. New York: Harper and Row, Publishers, 1972. p 17–90.

FRANZMEIER, D. P.; STEINHARDT, G. C.; SCHHULZE, D. G. **Indiana soil and landscape evaluation manual, Version 1.0.** Purdue University, Agronomy Department, 2004.

HANCOCK, G. R.; WILLGOOSE, G. R.; EVANS, K. G. Testing of the SIBERIA landscape evolution model using the Tin Camp Creek, Northern Territory, Australia, field catchment. **Earth Surface Processes and Landforms,** v. 27, n. 2, p. 125-143, 2002.

HIRT, C. Artefact detection in global digital elevation models (DEMs): the maximum slope approach and its application for complete screening of the SRTM v4.1 and MERIT DEMs. **Remote Sensing of Environment**, v. 207, p. 27-41, 2018.

HORTON, R. E. Erosional development of stream and their drainage basin. Hydrogeological approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

HORTON, R. E. Drainage basin characteristics. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 13, n. 1, p. 350-360, 1932.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and streamlines data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, p. 211-232, 1989.

HUTCHINSON, M. F.; XU, T., STEIN, J. A. Recent progress in the ANUDEM elevation gridding procedure. **Geomorphometry**, p. 19-22, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento de recurso naturais do Brasil escala 1:250.000**. Rio de

Janeiro, 2019.

IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology,** v. 86, n. 3-4, p. 409-440, 2007.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. Geomorphons: A pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 18, n. 1, p. 147-156, 2013.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 54, p. 1593-1600, 1988.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941.

JULESZ, B. Textons, the elements of texture perception, and their interactions. **Nature**, v. 290, n. 5002, p. 91-97, 1981.

LACERDA FILHO, J. V. *et al.* **Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso do Sul - Escala 1:1.000.000**. 2006. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/10217. Acesso em: 20 fev. 2020.

MapBioma. **Coleção 5.0. Uso e cobertura do solo - 2019**. Disponível em: https://plataforma.mapbiomas.org/. Acesso: 30 jun. 2020.

MILANI, E. J. *et al.* Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. **Boletim IG-USP**, São Paulo, p. 125-173. nov. 1998.

MILNE, G. Some suggested units for classification and mapping, particularly for East African soils. **Soil Research**, v. 4, n. 2, p. 183-198, 1935.

MOTTA, P. E. F. da *et al.* **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Município de Campo Grande, MS**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

PIKE, R. J. **A bibliography of geomorphometry, the quantitative representation of topography.** US. Geological Survey, 1999.

RASKA, P. Biogeomorphologic approaches to a study of hillslope processes using non-destructive methods. **Studies on Environmental and Applied Geomorphology**, p. 21-44, 2012.

ROSS, J. L. S. *et al.* Macroformas do relevo da América do Sul. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 38, p. 58-69, 2019.

RUHOFF, A. L.; CASTRO, N. M. R.; RISSO, A. Numerical modelling of the topographic wetness index: an analysis at different scales. **International Journal of Geosciences**, v. 2, n. 4, p. 476-483, 2011.

SCHLÖGEL, R. *et al.* Optimizing landslide susceptibility zonation: Effects of DEM spatial resolution and slope unit delineation on logistic regression models. **Geomorphology**, v. 301, n. 15 p. 10-20, 2018.

SEMADUR. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Gestão Urbana**. Decreto n. 7.183** de 1995 que Instituiu a Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba - APA Guariroba.

_____. **Arquivos vetoriais**. Disponível: http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/arquivos-vetoriais-de-campo-grande/. Acesso: 23 jan. 2020.

SPERA, S. T. *et al.* **Solos areno-quartzosos no cerrado**: Características, problemas e limitações ao uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999.

STEPINSKI, T. F.; JASIEWICZ, J. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. In: HENGL, T. *et al.* (Eds.). **Proceedings of Geomorphometry**, p. 109-112, 2011.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V. (Ed.). **Handbook of**

applied hydrology. New York: McGraw Hill, 1964. 439-476.

THOMPSON, J. A.; BELL, J. C.; BUTLER, C. A. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. **Geoderma**, v. 100, p. 67–89, 2001.

USGS. United States Geological Survey. **Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global: SRTM1N22W016V3.** Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 20 jan. 2020.

WALKER, J. P.; WILLGOOSE, G. R. On the effect of digital elevation model accuracy on hydrology and geomorphology. **Water Resources Research**, v. 7, p. 2259-2268, 1999.

WELCHSLER, S. P. Uncertainties associated with digital elevation models for hydrologic applications: a review. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 4, p. 1481-1500, 2007.

WOLOCK, D. M.; PRICE, C. V. Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model. **Water Resources Research**, v. 11, p. 3041-3052, 1994.

WU, S.; LI, J.; HUANG, G. H. Modeling the effects of elevation data resolution on the performance of topography-based watershed runoff simulation. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, p. 1250-1260, 2007.

ŽABOTA, B.; REPE, B.; KOBAL, M. Influence of digital elevation model resolution on rockfall modelling. **Geomorphology**, v. 328, p. 183-195, 2019.

ZHANG, W. H.; MONTGOMERY, D. R. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. **Water Resources Research**, v. 30, p. 1019-1028, 1994.

CLASSIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DO RELEVO E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS DO SUBSTRATO LITOLÓGICO EM SÃO MARTINHO DA SERRA - RS

2031

Antonio Von Ende Dotto
Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima nº 1000, Bairro - Camobi, Santa Maria - RS, 97105-900
E-mail: dottovon@gmail.com
Luís Eduardo de Souza Robaina
Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima nº 1000, Bairro - Camobi, Santa Maria - RS, 97105-900
E-mail: lesrobaina@yahoo.com

Resumo

Os estudos geomorfológicos permitem compreender os processos atuantes na superfície terrestre. Para pesquisas nessa temática, faz-se necessário analisar a interface dos sistemas físicos que compõem a natureza, sistemas esses como a litologia e a geomorfologia. Com o advento das geotecnologias para estudos ambientais, a presente pesquisa busca investigar, com apoio de técnicas de geoprocessamento, a correlação da distribuição dos diferentes elementos de relevo, através da aplicação dos geomorphons, com os substratos litológicos da área de estudo. A aplicação do método de geomorphons para classificação automatizada do relevo apresentou resultados satisfatórios e condizentes com a geomorfologia de São Martinho da Serra. Observa-se que existe uma relação marcante entre o substrato litológico e o modelado do relevo, a partir da interação que os processos superficiais incidem sobre os diferentes embasamentos rochosos. Isso explica a variação dos parâmetros geomorfométricos do relevo em determinadas áreas do município

Palavras-chave: *geomorphons; geomorfologia; litologia; geotecnologias;*

1. Introdução

Os estudos geomorfológicos permitem compreender os processos atuantes na superfície terrestre. Para pesquisas nessa temática, faz-se necessário analisar a interface dos sistemas físicos que compõem a natureza, como a litologia e a geomorfologia.

De acordo com Tricart (1965), o estudo das características geomorfológicas deve ser complexo e abordar informações referentes à gênese e à natureza litológica do material de origem (dados morfogenéticos), sobre as formas, altimetrias, hipsometrias e declividades da área em questão (dados morfográficos e morfométricos). As diferentes composições mineralógicas que estruturam as litologias, quando associadas aos agentes exógenos, correspondem a variados processos que irão modificar a gênese do relevo. Dessa forma, salienta-se a importância do estudo da geologia local para o entendimento das diferentes modelações do relevo e sua interação com o ambiente físico.

Segundo Furlan (2018), a disponibilidade de diversas tecnologias e metodologias que empregam a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) faz com que se amplie possibilidades de manuseio de base de dados. Assim, a automatização de alguns processos torna as pesquisas cartográficas mais acessíveis e propicie novas discussões geomorfológicas nas técnicas de compartimentação do relevo.

Cita-se como referência a esse trabalho, os autores Jasiewicz & Stepinski (2013), que estabeleceram uma classificação de elementos do relevo, usando ferramentas de visão computacional ao invés de ferramentas da geometria diferencial. essa forma, podem ser elaborados “mapas geomorfométricos” a partir de algoritmos, permitindo, através de técnicas computacionais, classificar e mapear elementos das formas de relevo.

Nesse sentido, o presente trabalha busca investigar, com apoio de geotecnologias, a correlação da distribuição dos diferentes elementos de relevo, através da aplicação dos *geomorphons,* com os substratos litológicos da área de estudo.

1.1 Caracterização da Área de Estudo

O município em que a pesquisa está concentrada, se localiza na região Central do Rio Grande do Sul entre as seguintes coordenadas geográficas de latitudes 29.34° a 29.61° Sul e longitudes entre 54.10° a 53.68° Oeste. Seu território é de cerca de 670,7 km² e 3.231 habitantes segundo estimativas do IBGE para o ano de 2020. A região de São Martinho da Serra está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná e sobreposta aos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. Em termos geomorfológicos, se localiza na transição de compartimentação geomorfológica da Depressão Periférica Central ou Sul-Riograndense para o Planalto Meridional.

2. Metodologia

A automação da classificação do relevo se deu através da proposta de Jasiewicz & Stepinski (2013), em que procuram compreender a similidade textural do MDE, que consiste na análise do nível de cinza de uma célula central e as suas vizinhas, portanto quando a célula central obtiver valor igual, assume o valor “0”, quando assumir valor maior, considera-se “1”, e quando menor representa “-1”. A aplicação utilizada na época foi online, disponibilizada no endereço eletrônico <http://sil. uc.edu/geom/app>>, porém, o site está fora do ar atualmente. O arquivo de entrada para a varredura é um MDE e dois parâmetros livres que são search radius (distância em metros ou célula unidades) e flatness (nivelamento

em graus), aplicou-se valor igual a 22 pixels na escala de comprimento para o elemento de relevo ser reconhecido e graus igual a 1º.

Os 10 elementos do relevo adquiridos com o processamento do MDE pelo aplicativo, são: áreas planas (flat); pico (peak); crista (ridge); ressaltos (shoulder); crista secundária (spur); encosta ou vertente (slope); escavado (hollow); base de encosta (footslope); vales (valley); e fosso (pit).

O Modelo Digital de Elevação utilizado, foi obtido através de imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 90 metros, adquiridas pelo site do Serviço Geológico dos Estados Unidos. Essa imagem *raster* também possibilitou a geração da declividade da área de estudo, que serviu de ferramenta auxiliar na análise geomorfológica. A utilização do MDE com resolução espacial de 90 metros resultou em um produto final mais homogêneo e adequado para a pesquisa se comparado o resultado com a aplicação de uma imagem de resolução espacial de 30 metros.

As litologias foram obtidas através de trabalhos de campo e usando como base o mapeamento desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), na escala 1:750.000 (WILDNER et al., 2006). Com a sobreposição das camadas vetoriais das litologias sobre os elementos de relevo (*geomorphons*) foi possível estimar a quantificação da distribuição dos elementos nas unidades geológicas.

Para o manuseio dos dados geoespaciais e criação de mapas temáticos em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica), empregou-se o *software* de código livre e aberto, QGIS 3.10.5.

Para definição das formas de relevo foi considerando a análise combinada dos atributos morfométricos de São Martinho da Serra. Com base nisso, utilizou-se como referência a proposta de classificação do relevo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), sendo essa proposta modificada e adaptada seguindo algumas particularidades do relevo da área de estudo.

A partir da análise dos mapas de declividade e hipsometria com o efeito *hillshade*, foi realizada a vetorização manual para determinar as cinco formas de relevo: áreas planas, colinas suaves de altitude, colinas onduladas, associação de morros e morrotes e morrotes isolados.

3. Discussão e Resultados

3.1 Caracterização Litológica

Pode ser observado na área de estudo uma grande geodiversidade de elementos e processos geológicos que formam o território de São Martinho da Serra (Figura 1).

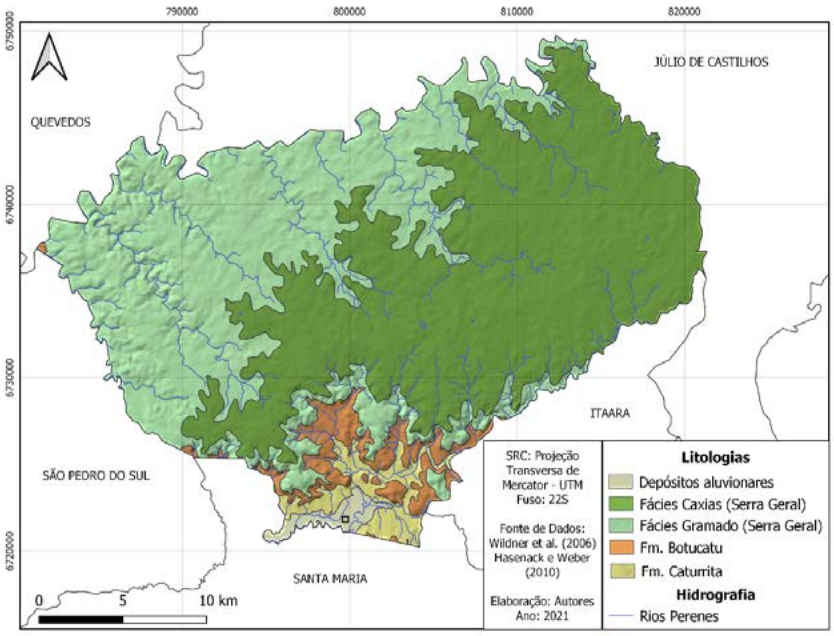


FIGURA 1: Mapa da distribuição das litologias em São Martinho da Serra – RS.
Fonte: Autores.

A Formação Caturrita representa diferentes fácies de ambiente fluvial. Sua composição é por camadas de arenitos finos a médios, de cor rosa e cinza claro de composição essencialmente quartzosa e matriz argilosa contendo em algumas partes considerável teor de feldspato, intercalados por camadas ou lentes de siltitos de espessura menor e cor avermelhada (BORTOLUZZI, 1974).

Nas menores altitude do município, na porção Sul, abaixo da cota de 200m, que irão aflorar os arenitos, frequentemente com clastos de argila, com estratificação cruzada de grande porte, originária de um paleoambiente fluvial (BORTOLUZZI *et al.,* 1987).

A Formação Botucatu tem origem quando as sequências areníticas se originaram há cerca de 160 milhões de anos, e está associada ao "paleodeserto" Botucatu, que foi um extenso deserto de dunas eólicas originado antes da deriva continental.

Vargas (2015) disserta que a área de ocorrência dessa Formação limita-se a uma faixa relativamente estreita constituindo a porção média a basal do rebordo do Planalto dos morros testemunhos da região serrana. No entanto em determinados locais, essa unidade está ausente, com os primeiros derrames basálticos da Formação Serra Geral assentando diretamente sobre os arenitos da Formação Caturrita.

Os arenitos Botucatu se posicionam abaixo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e são arenitos essencialmente quartzosos contendo felspatos alterados cimentados por sílica predominantemente ou óxido de ferro, com estratificação cruzada de grande porte. (MACIEL FILHO, 1990).

É comum haver nessa área, contatos litológicos, pois durante os sucessivos derrames vulcânicos, o intervalo entre eles possibilitou a formação de arenitos eólicos que se encontram em algumas áreas intercalados entre os derrames vulcânicos (interderrames = intertrápicos). Por isso, o Planalto é denominado arenítico-basáltico, pois apresenta características morfoestruturais alternando camadas de arenito e derrames basálticos, com solos ácidos da formação Serra Geral (SILVÉRIO DA SILVA; MAZIERO; SANTOS, 2004).

Para as rochas ígneas, os derrames de lavas que constituem a Formação Serra Geral, representam uma das maiores manifestações de vulcanismo fissural no mundo. Essas sequências vulcânicas com aproximadamente 133 Ma (Renne *et al*., 1992), se desenvolveram durante a ruptura do supercontinente Gondwana, que extravasou a Bacia Sedimentar do Paraná com sucessivos derrames basálticos abrangendo cerca de 1 milhão de km^2.

Conforme mapeamento geológico em escala 1:750.000 para o Estado do Rio Grande do Sul (Wildner (2008) a Formação Serra Geral foi dividida em fácies de acordo com suas características geoquímicas e afinidades de campo. Dentre as diversas fácies individualizadas para a Serra Geral, se encontram na delimitação do município: a Fácies Gramado e a Fácies Caxias.

A Fácies Gramado constituem os primeiros derrames vulcânicos ocorrem sobre um sistema eólico ativo da Formação Botucatú. Predominam as rochas ígneas básicas a intermediárias como basaltos e andesitos basálticos de textura granular, fina a média, com níveis vesiculares preenchidos por carbonatos e zeolitas intercalados com arenito Botucatu. Essa fácie se encontra na região Centro-Oeste na área de estudo, associadas as altitudes próximas a 400m e estão posicionadas, estratigraficamente, abaixo das rochas ácidas que compõem a Fácie Caxias.

A Fácies Caxias forma o pacote de rochas intermediárias a ácidas e não é recoberto por nenhuma unidade mais nova, constituindo o platô da Serra Geral na região, onde se encontram as maiores altitudes. Nessa litologia, encontra-se riolitos e riodacitos, de textura microgranular a vitrofirica. Observa-se forte disjunção tabular, embora a porção central destes derrames seja maciça, dobras de fluxo e auto brechas frequentes, algumas vesículas preenchidas por ágata e calcedônia (CPRM, 2006).

Por fim, a litologia, de menor proporção na área de estudo e mais recente, pertence a Depressão Periférica Central ou Sul-Rio-Grandense e abrange as composições litológicas da Bacia Sedimentar do Paraná originadas durante a fase de sedimentação Paleozóica/Mesozóica, nas efusivas Jurocretácicas e nas coberturas terciárias. É uma área que não sofreu derrame de lavas e forma, por diferenças altimétricas entre o Planalto arenito-basáltico e o Escudo, uma região de terras baixas com camadas de depósitos aluvionares (SCHERER; FACCINI; LAVINA, 2002).

Os depósitos recentes localizados no município, estão na porção extremo Sul e são compostos por sedimentos areno-argilosos junto aos canais fluviais do Rio Ibicuí-Mirim e por cascalhos de origem vulcânica da Formação Serra Geral (CPRM, 2018).

3.2 Geomorfologia

Em termos geomorfológicos, São Martinho da Serra está inserido e um transição de compartimentação geomorfológica, da Depressão Periférica Central ao Planalto Sul Rio-grandense. Na Figura 2, observa-se as formas de relevo encontradas na área de estudo.

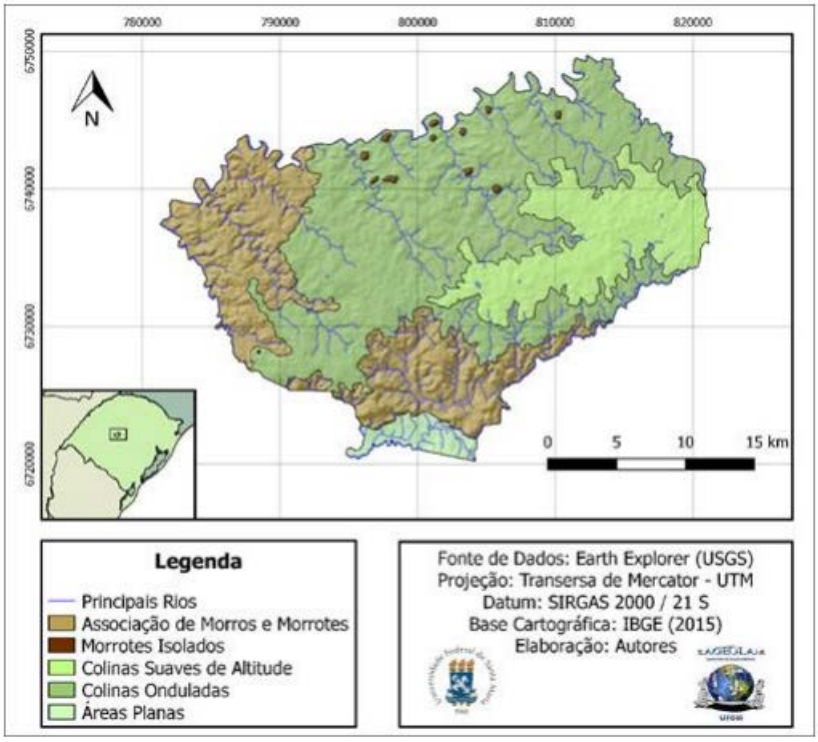


FIGURA 2: Mapa das formas de relevo de São Martinho da Serra – RS.
Fonte: Autores.

A Depressão Central irá caracterizar áreas planas na porção do extremo-Sul da área em altitudes inferiores a 150 metros com declividades menores que 2%.

Nas partes do Rebordo da Serra (próximos ao Leste e Centro-Sul) é encontrado associação de morros e morrotes apresentando um relevo com declividades superiores a 15% e amplitude altimétrica ao redor de 100m e ocorrendo dominantemente nas altitudes entre 250 e 350 metros.

Regiões sobre o Planalto Sul Rio-Grandense vão formar colinas suaves de altitude e colinas onduladas. Colinas suaves de altitude são localizadas nas elevações topográficas superiores à 450 metros, mas com declividades entre 5 e 15% do Centro para o Leste do município, compreendendo a compartimentação do Planalto das Missões. Enquanto as Colinas Onduladas Destacam-se por terem declividades entre 5 e 15% e amplitudes ao redor de 60m de altitudes principalmente de 350 a 450 metros bem distribuídas ao longo de todo território.

3.3 Relação Litologia e Elementos do Relevo

Os elementos de relevo obtidos por classificação automatizada são: plano, pico, crista, ressalto, crista secundária, encosta, fosso, vale, base da encosta e escavado. Esses elementos espacializados no município e a quantificação para cada litologia se encontra na Figura 3.

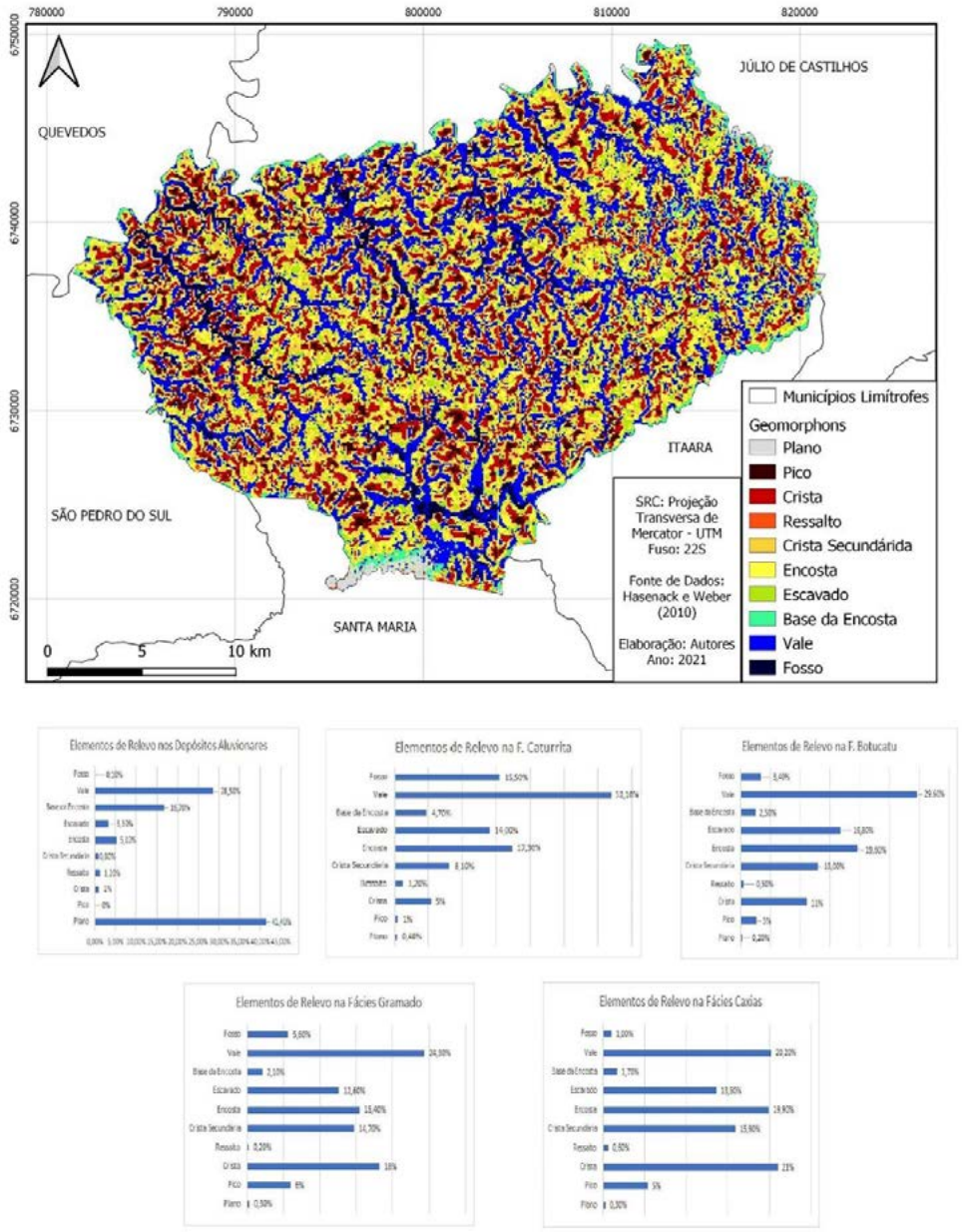


FIGURA 3: Mapa de distribuição dos elementos do relevo e sua quantificação.
Fonte: Autores.

Para a Formação Caturrita, o elemento do tipo vale é abrangente seguido das encostas que formam colinas fortemente onduladas. A presença dos fossos, são associadas aos vales mais profundos na área. Ocorrem, também, elementos do tipo escavado que formam entalhamento nas encostas.

As áreas dessa litologia são de relevos mais baixos e declividades mais suaves que das litologias circundantes a ela. O que permite classificar essa litologia como mais suscetível à processos erosivos.

Na Figura 4, em um recorte espacial ao Sul de São Martinho da Serra, que rochas pertencentes a distintas formações geológicas respondem ao intemperismo com desiguais desgastes (erosão diferencial), modelando a geomorfologia do ambiente.

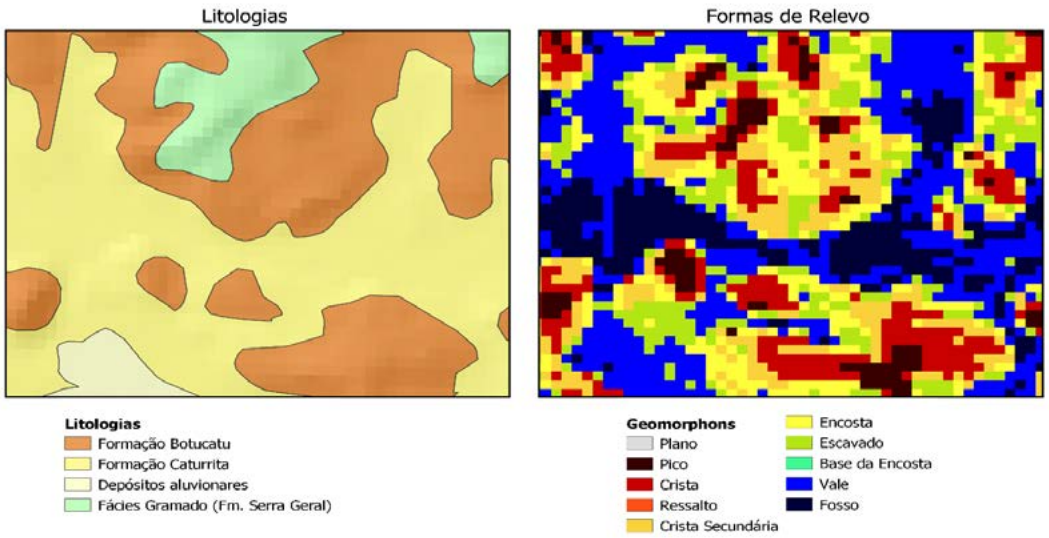


FIGURA 4: Comparação das litologias e *geomorphons em um mesmo ambiente.*
Fonte: Autores.

Os elementos de relevo característicos da Formação Botucatu não se distinguem muito com a geomorfologia dos arenitos Caturrita. Em ambas formações existe ampla predominância dos vales e encostas que constituem o Rebordo do Planalto. Contudo, a maior resistência a erosão dessas rochas, formam relevos com declividades mais acentuadas.

Conforme Wu (1992), durante o transporte e deposição da Formação Botucatu, os grãos destes arenitos sofreram fortemente a ação abrasiva eólica e os minerais de baixa dureza foram eliminados, permanecendo somente os minerais mais duros. Isso explica a presença de cristas e picos, o que caracteriza morros com rochas mais resistentes e a ausência de áreas mais planas e rebaixadas.

Maciel Filho (1990), explica que o arenito Botucatu possui comportamento geotécnico que pode variar desde rocha dura e muito abrasiva, em locais próximos do topo e junto a escarpas, até arenito brando e areia com pouca coesão, quando alterado. Nas partes litificadas, possui alta resistência à erosão, porém essa resistência é baixa nas partes alteradas e de solo residual, facilitando a ocorrência de movimentos de massa lentos como rastejamento ou ainda escorregamento de terra.

Para a Formação Serra Geral, a distinção das fácies dessa litologia é facilmente identificada a partir do estudo das declividades. Na figura 5, destaca-se a diferença das inclinações do relevo que ocorre nas rochas básicas e ácidas. O relevo da fácies Gramado é de declividades predominantes de 5-15% e superiores de 15%. Enquanto as rochas ácidas da fácies Caxias formam uma topografia de baixa amplitude altimétrica e de declividades inferiores a 2% e entre 2-5%.

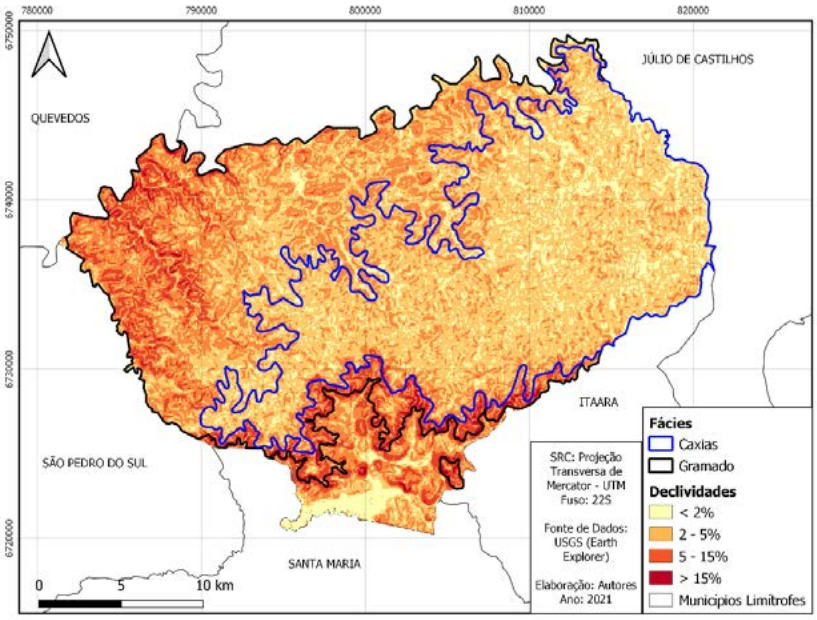


FIGURA 5: Mapa de declividade de São Martinho da Serra – RS.
Fonte: Autores.

Segundo Guareschi (2012), nas áreas cobertas por rochas básicas (F. Gramado), menos resistentes aos processos de denudação, a topografia apresenta dissecação mais intensa refletida no entalhamento e abertura dos vales e pela presença de morros residuais. Nesse sentido, as declividades são mais acentuadas com amplo predomínio das formas de vales, e em seguida cristas e encostas, respectivamente. Esse relevo testemunha a atual evolução do Planalto com fundos de vales dissecados que formam uma paisagem acidentada. A maior presença de fossos e picos em relação a outras unidades, vão caracterizar essa litologia.

Por sua vez, as rochas ácidas (F. Caxias) são mantenedoras do relevo apresentando maior resistência ao intemperismo devido ao alto teor de sílica na sua composição mineralógica. É nas maiores altitudes do município que vai ser encontrado rochas componentes da Fácies Caxias de declividades predominantemente suave onduladas.

Os elementos de relevo serão de amplitudes curtas e comprimento dos vales alongados, o que caracteriza relevo de colinas suaves para essa litologia. A forma do tipo escavado é importante nessa área pois representa rebaixamentos côncavos que marcam áreas de cabeceiras de drenagem.

Por fim, nos Depósitos Aluvionares predomina-se, majoritariamente, o elemento do tipo plano nas áreas de acumulação, que são associados a base da encosta. Enquanto as formas de vales e encostas, irão formar colinas suaves modeladas pela dissecação do relevo da Formação Caturrita.

Considerações Finais

A aplicação do método de geomorphons para classificação automatizada do relevo apresentou resultados satisfatórios e condizentes com a geomorfologia de São Martinho da Serra. Observa-se que existe uma relação marcante entre os substratos litológicos e a gênese do modelado terrestre, a partir da relação que o embasamento rochoso tem com os processos superficiais atuantes sobre as rochas. Isso explica a variação dos parâmetros geomorfométricos do relevo em determinadas áreas do município.

O apoio das geotecnologias para estudos geomorfológicos é de grande auxílio para trabalhos nesse aspecto, e podem servir de complemento para futuras pesquisas ou análises de gestão territorial.

Agradecimentos

Agradece-se o apoio financeiro recebido pela FAPERGS/CNPq.

Referências

MACIEL FILHO, C. L., **Carta Geotécnica de Santa Maria.** Santa Maria: Imprensa Universitária, 1990, p. 11-12.

TRICART, J. – **Príncipes et Methodes de la Geomorphologie**. Paris: Masson et Cie Editemas, 1965.

FURLAN, André Ricardo; TRENTIN, Romario; DE SOUZA ROBAINA, Luís Eduardo. CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO RELEVO A PARTIR DA METODOLOGIA DOS GEOMORPHONS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APUAÊ-MIRIM, RS. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 32, p. 27-45, 2018.

GUARESCHI, Vinícius Duarte *et al.* **Feições de carste sobre a formação Serra Geral no município de São Martinho da Serra-RS**. 2012.

JASIEWICZ, Jaroslaw; STEPINSKI, Tomasz F. Example-Based Retrieval of Alike Land-Cover Scenes From NLCD2006 Database. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters v.10(1), 2013, p. 155-159.

SILVERIO DA SILVA, J. L.; MAZIERO, L.; SANTOS, E. **Impactos da atividade humana sobre os solos: aquíferos.** AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. (Org). Solos & Ambiente: I Fórum. Santa Maria: Pallotti, 2004.

VARGAS, Luciani Vieira de *et al.* **Suscetibilidade a movimentos de massa: um estudo geomorfológico na sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim a montante da barragem do DNOS, em Santa Maria/RS. 2015.**

WILDNER, Wilson; RAMGRAG, Gilberto Emilio; LOPES Ricardo da Cunha; IGLESIAS, Carlos Moacyr Fontoura. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750000**. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Porto Alegre, RS. 2006

WU, Fu-Tai; CAETANO-CHANG, Maria Rita. Estudo mineralógico dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu no Centro-Leste do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, v. 13, n. 1, p. 58-68, 1992.

ZERFASS, Henrique *et al.* **Geologia da folha SH. 22-VCV, Agudo.** 2007.

Bortoluzzi, C.A. 1974**. Contribuição a geologia da região de Santa Maria**, Rio Grande do Sul. Pesquisas, 4 (1), p.7-86.

Renne, P., Ernesto, M., Pacca, I.G., Coe, R.S., Glen, J.M., Prévot, M. & Perrin, M. 1992. **The age of Paraná Flood Volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary**. Science, 258:975-979.

CLASSIFICAÇÃO DE FORMAS DE RELEVO NA CHAPADA DO ARARIPE UTILIZANDO O INDÍCE DE POSIÇÃO TOPOGRÁFICA

José Guilherme de Oliveira
Universidade Federal do Paraná
Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba-PR, CEP 81530-900
E-mail: joseguilhermegeo@gmail.com
Leonardo José Cordeiro Santos
Universidade Federal do Paraná
Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba-PR, CEP 81530-900
E-mail: santos@ufpr.br
Claudinei Taborda da Silveira
Universidade Federal do Paraná
Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba-PR, CEP 81530-900
E-mail: claudineits@ufpr.br

Resumo

A porção setentrional do nordeste brasileiro engloba diferentes formas de relevo, com destaque a exuberância da chapada do Araripe, que com sua cimeira situada próxima a 1000 m de altitude se destaca frente ao relevo do semiárido. O presente artigo objetiva classificar as formas de relevo ao redor da Chapada do Araripe, utilizando a combinação dos atributos topográficos altimetria, declividade e como principal o índice de posição topográfica. Foi tomado por base o modelo digital de terreno (MDT) SRTM, com resolução de 30 m. Foram extraídos os atributos declividade, hipsometria e índice de posição topográfica, com dois raios, 200 e 1500 m. Os resultados foram classificados em 11 formas de relevo, sendo elas: Fundos de Vale com forte incisão, Vales Rasos, Cabeceiras de drenagem Terço inferior e Vales em forma de U, Áreas Planas, Posições Intermediárias das vertentes, Patamares superiores ou mesas, Interflúvios secundários, Topos secundários, Cristas elevadas e Topos maiores que 750 m.

Palavras-chave: Chapada do Araripe, Mapeamento Geomorfológico, Índice de Posição Topográfica.

1. Introdução

A representação das formas de relevo é feita através da cartografia geomorfológica, constituindo um dos principais métodos de estudo e pesquisa na geomorfologia (SANTOS et al. 2006). Uma carta geomorfológica deve conter informações sobre morfologia, morfografia, morfogênese e morfocronologia (COLTRINARI, 1984; ROSS, 1982). Para isso, a modelagem digital do terreno surge como uma forma de auxiliar no tratamento quantitativo dos estudos das formas do relevo (SILVEIRA; SILVEIRA, 2017).

Localizado em uma porção antiga e relativamente estável da placa sul-americana, o Brasil apresenta uma variedade de unidades morfoestruturais (tectônicas) que registram a sua longa permanência nos supercontinentes Pangea e Gondwana e o seu posterior deslocamento a partir do início do Cretáceo. As unidades geológicas formadas durante todo este período, deixaram expressões distintas na paisagem na forma de crátons, bacias sedimentares e sistemas orogênicos, sobrepostas as fases tectônicas mais recentes. Desta forma, o estudo e a classificação das formas de relevo se mostra como um campo de grande potencial a ser explorado no país. A área selecionada para o presente estudo é a Chapada do Araripe, discutida no tópico seguinte.

Desta forma o objetivo deste trabalho é classificar as formas de relevo ao redor da Chapada do Araripe, utilizando para isto a combinação dos atributos topográficos: altimetria, declividade e como principal parâmetro o índice de posição topográfica.

2. Caracterização da área de estudo

A presente estudo foi realizado para a Chapada do Araripe e suas áreas adjacentes (FIGURA 1), englobando a porção sul do estado do Ceará, norte do estado de Pernambuco e Sudeste do estado do Piauí. Á área de estudo engloba parte de três grandes bacias hidrográficas brasileiras, a porção cearense drena para a bacia do rio Jaguaribe, a pernambucana para a bacia do rio São Francisco e a piauiense para a bacia do rio Parnaíba.

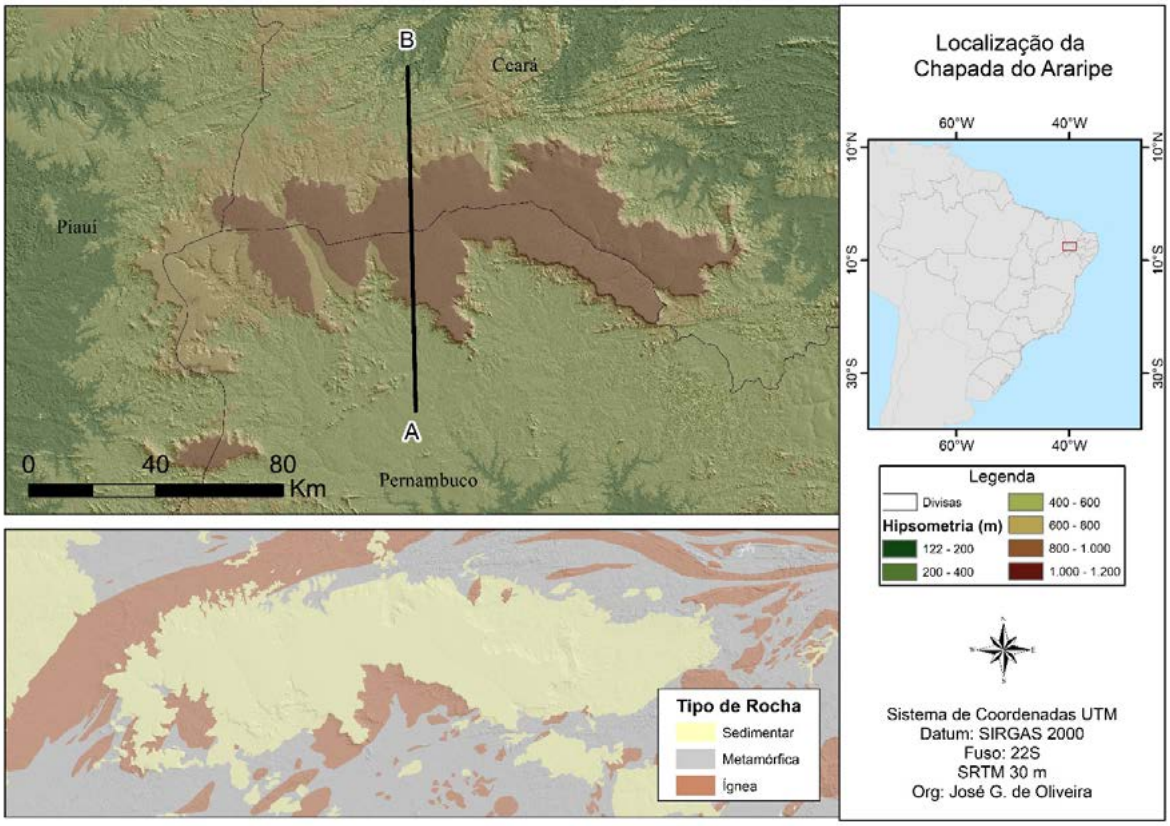


FIGURA 1 – Cartograma de Localização Da Chapada Do Araripe
Legenda: Segmento A-B será representado na figura 2.

A porção setentrional do nordeste brasileiro possui um relevo que se dispõe na forma de um vasto anfiteatro de erosão inclinado para o atlântico, com a depressão do Jaguaribe no centro e morfologia herdada de processos morfoestruturais (PEULVAST E CLAUDINO SALES, 2003).

Desde o início do século XX a região vem sendo objeto de diversos estudos que propuseram a organização do relevo é organizado na forma de uma série de níveis escalonados de superfícies de aplainamento, resultantes de fases de soerguimento seguidas por fases de erosão generalizada, em condições de climas secos ou alternâncias climáticas (MAIA *et al*., 2010). Novos estudos sugeriram que o relevo do nordeste é "controlado por zonas de cisalhamento dúcteis e suas reativações" (MAIA; BEZERRA, 2015).

O NE setentrional é delimitado a sul pela chapada do Araripe, que engloba formações sedimentares sustentadas pela última unidade do grupo Araripe, formação Exu, que é constituída de arenitos de origem fluvial, de sistema hidrográfico formado por rios em sistema de meandros entrelaçados, cuja gênese é associada a paleobacia hidrográfica do rio São Francisco (PONTE, 1991).

A composição geológica é marcada pelo embasamento cristalino e diversas bacias sedimentares superpostas, dentre elas está a bacia do Araripe. Com aproximadamente 9.000 km2 sua área abrange desde a chapada do Araripe até partes do vale do Cariri (ASSINE, 2007).

A sequência estratigráfica é composta de formações oriundas de distintos ambientes, com formações de diferentes ambientes fluviais (formação Cariri e Barbalha), lacustres (formação Brejo Santo e Abajara) e formações de ambientes costeiros (membro Romualdo e formação Araripina) (ASSINE, 2007).

3. Materiais e métodos

Para a classificação das formas de relevo, de início foi adquirido o modelo digital de terreno (MDT), o MDT selecionado possui resolução de 30 m (SRTM). Foi utilizado o Índice de posição topográfica (FIGURA 2a e 2b), que mensura a relação de uma célula do MDT com as células a seu entorno, com base em um raio definido (WEISS, 2001). O índice de posição topográfica é um atributo que mensura a elevação de uma célula com relação as células a sua volta.

Para o método de classificação utilizado, Weiss (2001) propõe a utilização de 2 diferentes IPTs, um com raio pequeno e outro com maior raio. Foram adotados os raios de 1.500 m (menor detalhe) e 200 m (maior detalhe).

Além do IPT, foram utilizados outros dois atributos derivados do MDT, a declividade (FIGURA 2c) foi utilizada para diferenciar as posições intermediarias das vertentes com declividade constante das áreas planas, para tanto foram definidas duas classes: entre 0 e 10% e acima de 10% de declividade.

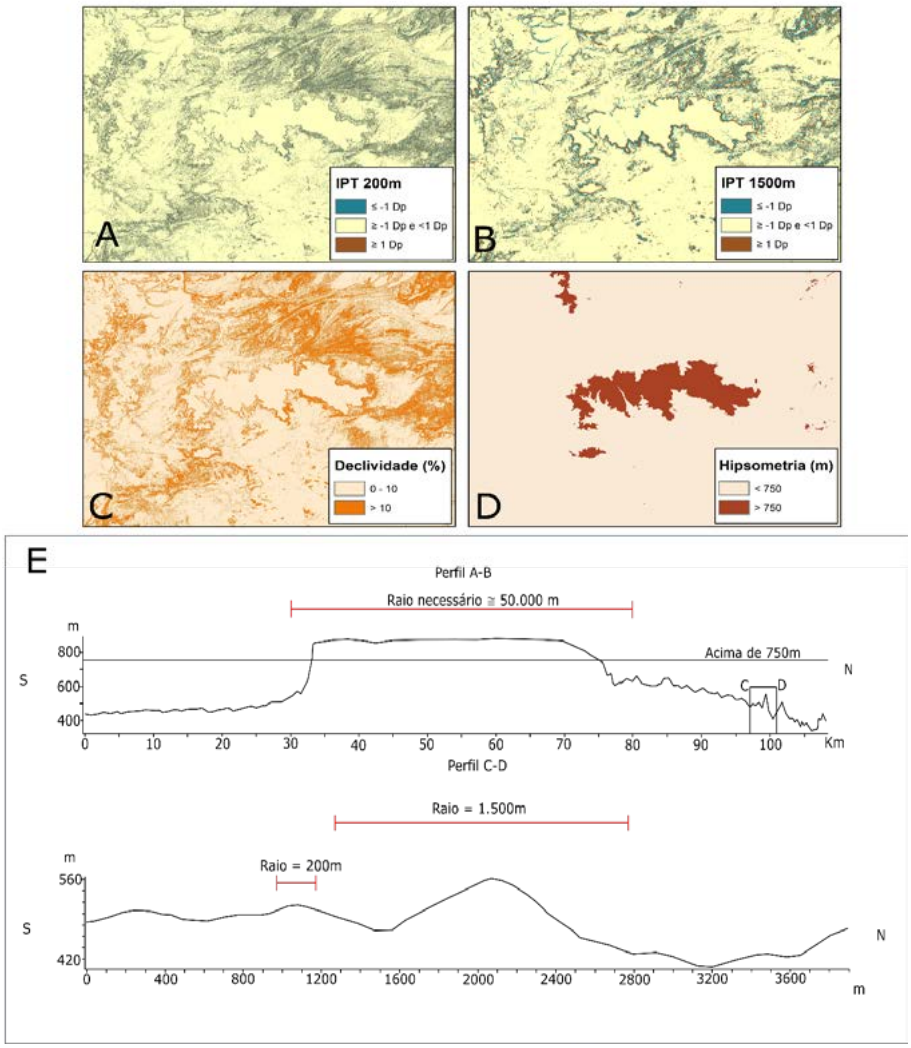


FIGURA 2 – Atributos topográficos utilizados no trabalho: a) índice de Posição Topográfica com raio de 200m; b) índice de Posição Topográfica com raio de 1500m; c) Declividade; D) Hipsometria; E) Raios utilizados e definição dos raios utilizados para o IPT.

Como citado anteriormente, a chapada do Araripe possui elevação de destaque no contexto do nordeste setentrional brasileiro, desta forma, de modo a destacar essa forma de relevo, foi tomada a hipsometria como atributo na classificação das formas, utilizando o limite de 750 m e assim inserindo a classe ''11 - Topos maiores que 750 m'', que basicamente engloba a cimeira da chapada e alguns topos elevados de maciços (FIGURA 2d e 2e).

Logo, as formas de relevo classificadas e os atributos utilizados na sua discretização encontram-se descritas na Tabela 1:

TABELA 1
Formas De Relevo E Parâmetros De Classificação

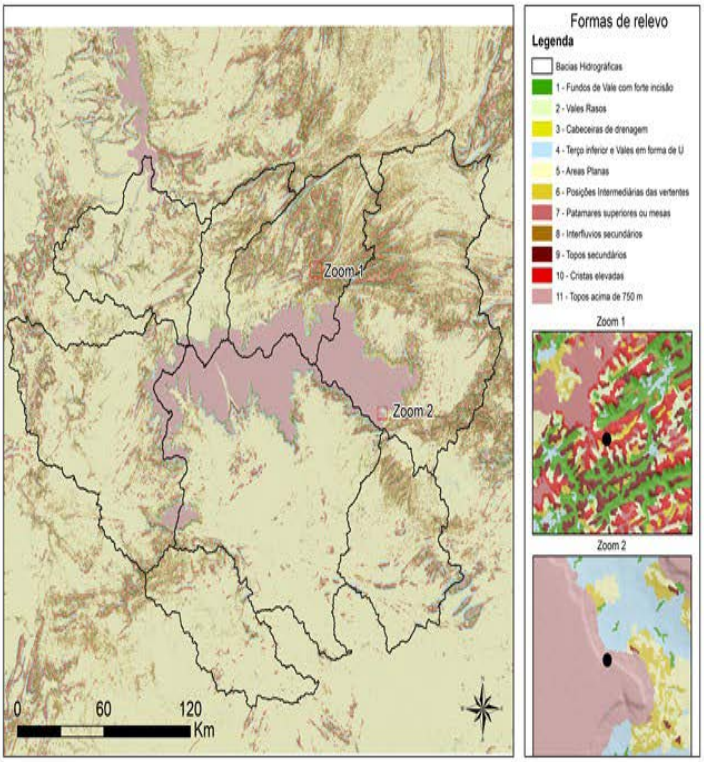
Forma de Relevo	Parâmetros	
1 - Fundos de Vale com forte incisão	IPT Detalhado	≤ -1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	≤ -1 Desvio Padrão
2 - Vales Rasos	IPT Detalhado	≤ -1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	≥ -1 Desvio Padrão e <1 Desvio Padrão
3 - Cabeceiras de drenagem	IPT Detalhado	≤ -1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	≥ 1 Desvio Padrão
4 - Terço inferior e Vales em forma de U	IPT Detalhado	> -1 e < 1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	≤ -1 Desvio Padrão
5 - Áreas Planas	IPT Detalhado	> -1 < 1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	> -1 e < 1 Desvio Padrão e declividade ≤ 10 %
6 - Posições Intermediárias das vertentes	IPT Detalhado	> -1 < 1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	> -1 e < 1 Desvio Padrão e declividade ≥ 10 %
7 - Patamares superiores ou mesas	IPT Detalhado	> -1 e < 1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	≥ 1 Desvio Padrão
8 - Interflúvios secundários	IPT Detalhado	≥ 1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	≤ -1 Desvio Padrão
9 - Topos secundários	IPT Detalhado	≥ 1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	≥ -1 e < 1 Desvio Padrão
10 - Cristas elevadas	IPT Detalhado	≥ 1 Desvio Padrão
	IPT Generalizado	≥ 1 Desvio Padrão
11 - Topos maiores que 750 m	-	Altimetria > 750 m
	-	

Adaptado de: SILVEIRA E SILVEIRA (2013)

A partir da reclassificação com base nos parâmetros citados, foi aplicado um filtro para adequar o mapa a escala da base bem como eliminar ruídos e pixels espúrios, o filtro foi definido para remover formas com áreas menores que 30 pixels (27 Km^2).

4. Resultados e Discussões

As formas de relevo classificadas foram analisadas quanto a seu embasamento litológico, os resultados estão apresentados na FIGURA 3 e serão discutidos na sequência:



Descrição	Total	Área Ígneas	Área Sedimentares	Área Metamórficas
1 - Fundos de Vale com forte incisão	3,61%	6,21%	2,43%	3,74%
2 - Vales Rasos	4,70%	5,46%	2,70%	5,96%
3 - Cabeceiras de drenagem	0,40%	0,99%	0,08%	0,45%
4 - Terço inferior e Vales em forma de U	5,40%	8,68%	4,97%	4,80%
5 - Áreas Planas	63,33%	52,29%	63,11%	66,16%
6 - Posições Intermediárias das vertentes	6,63%	7,80%	5,10%	7,45%
7 - Patamares superiores ou mesas	3,37%	5,03%	3,76%	2,66%
8 - Interflúvios secundários	0,06%	0,17%	0,02%	0,06%
9 - Topos secundários	3,36%	3,79%	2,23%	4,08%
10 - Cristas elevadas	3,93%	6,64%	2,15%	4,46%
11 - Topos maiores que 750 m	5,21%	2,95%	13,47%	0,18%

FIGURA 3 – Formas de Relevo Mapeadas e porcentagens por unidade litológica.

A partir da análise do Quadro 1 e da Figura 3 é possível notar forte diferenciação entre as duas faces da chapada, enquanto a face norte apresenta uma maior heterogeneidade das formas de relevo, a face sul possui relevo mais homogêneo, com predomínio da classe 5 – Áreas planas.

Essa diferenciação pode ser explicada através de uma análise de componentes geológicos, a face norte possui uma maior abrangência espacial das formações ígneas, bem como uma influência estrutural mais nítida observando as direções principais dos topos encontrados (NE-SO).

Na figura 4 são representadas algumas das formas visualizadas através de pontos de campo.



FIGURA 4 – Representação das formas de relevo mapeadas – A) Município de Altaneira – CE (zoom 1); B) Município de Jardim – CE (zoom 2).
Legenda: 3 – Cabeceiras de drenagem; 4 – Vales em forma de U; 6 – Posições Intermediárias das vertentes; 7 – Patamares superiores ou mesas; 10 – Cristas elevadas; 11 – Topos acima de 750m.

Na figura 4a são representadas 3 classes: 10 cristas elevadas, 3 cabeceiras de drenagem e 7 patamares superiores ou mesas. A região que engloba os municípios de Altaneira, Campos Sales e Araripe (bacias 2 e 3) é marcada por topos planos sustentados por crostas lateriticas (NUNES *et al*, 2018).

Já a figura 4b representa outras três classes: 11 – topos acima de 750m, 4 vales em forma de U e 6 porções intermediarias das vertentes. A face da chapada voltada para sul possui um relevo menos movimentado, devido ao contato direto entre a formação Exu (formação superior da chapada) e o embasamento cristalino (PEUVAST; BETARD, 2015), enquanto na porção norte existem as formações da bacia do Araripe em contato com a formação Exu.

As formas que englobam os extremos no IPT (1 - Fundos de Vale com forte incisão e 10 - Cristas elevadas) são mais representativas em coberturas ígneas. esse fato é marcado principalmente nas bacias 01 e 02, que englobam o complexo do Maciço do Quincuncá, compartimento de relevo mais movimentado da área de estudo.

A classe ‘’11 - Topos maiores que 750 m’’ foi inserida devido a uma limitação operacional notada no IPT, a cimeira da chapada do Araripe devido a sua extensão espacial era classificada quase como um todo parte do grupo ‘’ 5 - Áreas Planas’’, desta forma, a saída encontrada foi utilizar o atributo hipsometria. Foram definidos que quando maiores que 750m, os pixels seriam diretamente atribuídos a uma nova classe. Esta classe se estende como um amplo platô com declividades baixas (RIBEIRO, 2012) que tem sua superfície mantida devido à resistência do capeamento rochoso da formação Exu, última unidade da bacia do Araripe, constituída de arenitos resistentes.

A morfologia atual do relevo é descrita na literatura a partir do conceito de superfícies de aplainamento (BIGARELLA; ANDRADE, 1965) sendo discutidos distintos ciclos de aplainamento para a região.

A predominância do grupo 5, áreas planas, bem como a existência de diversas áreas classificadas topos secundários (grupo 8) e cristas elevadas (grupo 9), reforça a marcação na paisagem das distintas fases de aplainamento, que consequentemente deixaram resíduos na paisagem.

Nas concepções clássicas, a evolução do relevo no nordeste brasileiro ocorre através da ‘’retração lateral das escarpas das vertentes e por consequência, acúmulo de material detrítico em sua base, formando rampas suaves em direção ao fundo dos vales, denominadas pedimentos’’ (MAIA et al., 2010).

A predominância de processos de clima semiárido leva a maior existência de vales rasos (grupo 2), frente aos vales mais profundos (grupo 1), sendo restritos principalmente aos rios encontrados em áreas cristalinas com fortes indícios de presença de controle estrutural (SILVA; MAIA, 2017).

5. Considerações Finais

A legenda proposta por Weiss (2001) apresentou limitações para a área de estudo, principalmente para a cimeira da chapada.

Apesar das limitações, o emprego do IPT se mostrou como uma ferramenta viável no mapeamento geomorfológico em ambientas análogos, destacando que para sua aplicação são necessárias adaptações ao contexto de cada ambiente estudado.

A definição do raio do IPT foi compreendida como principal etapa na execução do trabalho, salientando que é necessária uma identificação pretérita das feições existentes na área, para que a partir disso, haja uma definição do tamanho de raio, e assim o mapeamento seja mais próximo à realidade das formas de relevo.

Referências

ASSINE, M. L. **Bacia do Araripe**. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 15, p. 371-389. 2007.

BIGARELLA, J.J e ANDRADE. G.O; **Contribuition to study área of Brazilian Quaternary Geol**. Assoc. Am. Paper 84: 433-45. 1965.

COLTRINARI, L. **Cartas geomorfológicas**. Orientação, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, n. 5, out. de 1984.

CORDEIRO, A. M. N; BASTOS, F. H.; MAIA, R. P. Formações Concrecionárias e Aspectos Genéticos e Evolutivos do Maciço do Quincuncá, Província Borborema, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, 2018.

MAIA, R. P., BEZERRA, F. H. R., & SALES, V. C. (2010). **Geomorfologia do Nordeste: concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento nordestinas**. Revista de Geografia (Recife), 27(1. Esp), 6-19.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H.R. Condicionamento estrutural do relevo no Nordeste setentrional brasileiro. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 13, n. 1, p. 127-141, 2014.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. (2003) Stepped surfaces and Paleolandforms in the Northern Brasilian <<Nordeste>>: Constraints on models of morfotectonic evolution. **Geomorphology**. v. 3: 89-122.

PEULVAST, J. P., & BÉTARD, F. (2015). A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: The Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, 233, 20-40.

PONTE, F. C. 1991. **Sistemas Deposicionais na Bacia do Araripe**. Rio de Janeiro, PETROBRÁS – CENPES – DIVEX – SEBIPE. Relatório Interno, p. 1 – 22.

RIBEIRO, S. C. **Etnogeomorfologia Sertaneja: proposta metodológica para a classificação das paisagens da sub-bacia do rio Salgado/CE**. Tese (Doutorado em Geografia). Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2012. 278 p.

ROSS, J. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Rev. Geografia**. São Paulo, IG-USP, 1992.

SANTOS, L. J. C., OKA-FIORI, C., CANALI, N. E., FIORI, A. P., SILVEIRA, C. T., SILVA, J. M. F., & ROSS, J. L. S. (2006). Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de geomorfologia**, 7(2).

SILVA, M. B., & MAIA, R. P. (2017). Caracterização morfoestrutural do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, Ceará-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 18(3).

SILVEIRA, C. T., & SILVEIRA, R. M. P. (2017). Índice de Posição Topográfica (IPT) para classificação geomorfométrica das formas de relevo no estado do Paraná-Brasil. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, 41, 98-130.

WEISS, A. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA, 2001.

COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CARINHANHA PELA ASSOCIAÇÂO DO MAPA DE RELEVO, HIPSOMETRIA E ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DE RUGOSIDADE

Alberto Franco Lacerda
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
Superintendência Regional de Salvador
Av. Ulisses Guimarães 2862 – CAB Sussuarana – Salvador - BA
E-mail: alberto.lacerda@cprm.gov.br

Resumo

Dentre uma gama de estudos geomorfológicos para a análise de bacias hidrográficas, a compartimentação geomorfológica é bastante utilizada para melhor descrição e caracterização, tanto das formas de relevo quanto da dinâmica da bacia. Este realizou, portanto, a compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Carinhanha a partir da associação das informações obtidas pelo mapa de unidades de relevo, hipsometria e o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), com a verificação das informações produzidas por meio das atividades de campo. A metodologia mostrou-se adequada aos objetivos do presente trabalho, e possibilitou a individualização, descrição e análise de quatro compartimentos bastante distintos enfatizando as características morfoestruturais de cada um.

Palavras-chave: Compartimentação do relevo, Índice de Concentração de Rugosidade, hipsometria.

1. Introdução

Trabalhos geomorfológicos, os quais fazem o tratamento de dados em Sistemas de Informação Geográficas (SIG), já ocupam grande espaço no campo das geociências. Diversos são os modelos e as metodologias utilizadas para simular o comportamento do ambiente e a sua evolução. Dentre essa gama de estudos geomorfológicos está a análise de bacias hidrográficas. Estas análises se utilizam da compartimentação geomorfológica para melhor descrição e caracterização, tanto das formas de relevo quanto da dinâmica da bacia. A compartimentação geomorfológica é uma abordagem importante para se fazer uma análise do relevo, reconhecida por autores de renome como Ab'Sáber (1969) e Santos e Lacerda (2004).

Martins-Ferreira e Campos (2017), descrevem que os estudos de compartimentação geomorfológica são uma vertente da análise geomorfológica e buscam individualizar áreas com características comuns baseados em critérios físicos superficiais, elegidos de acordo com a escala de trabalho e os objetivos propostos.

A compartimentação geomorfológica, vista como técnica dentro da Cartografia Geomorfológica, dá grande subsídio e suporte a trabalhos de análise ambiental e uso e cobertura do solo. Porém, cabe aqui ressaltar que, a obtenção de bons resultados para as representações computacionais da paisagem, as quais tem o intuito de facilitar e contribuir para as diversas abordagens ao buscar entender a dinâmica do ambiente geográfico, dependerá da qualidade dos dados de entrada, poder de processamento e, principalmente, da expertise do analista.

Para Trentin et al. (2012) o uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), nas análises geomorfológicas, proporciona uma maior agilidade na realização de levantamento e processamento das informações, facilitando a tarefa de integração, espacialização dos dados e elaboração dos resultados, como o estudo do relevo por meio da compartimentação geomorfológica.

Considerando o exposto, é com o senso de aplicabilidade em estudos futuros que este trabalho tem por objetivo elaborar a compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Carinhanha a partir da associação das informações obtidas pelo mapa de unidades de relevo, hipsometria e o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), com a verificação das informações produzidas por meio das atividades de campo.

2. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Carinhanha está localizada na margem esquerda do rio São Francisco, na divisa dos Estados de Minas Gerais e Bahia e tem a área aproximada de 17.191 km2. É formada por três sub-bacias: a bacia homônima, e as bacias dos rios Itaguari, no estado da Bahia; e a bacia do rio Coxá, no estado de Minas Gerais. Engloba 11 municípios: Formoso, Bonito de Minas, Arinos, Januária, Montalvânia, Cônego Marinho e Juvenília em Minas Gerais; e Carinhanha, Feira da Mata, Coribe e Cocos na Bahia. (Figura 1)

Faz parte do contexto geológico/geomorfológico do Grupo Urucuia, uma das litologias que compõem a Bacia Sanfranciscana. O mapa geomorfológico elaborado por Mauro et al. (1982) insere a área de estudo em duas unidades: A - Planaltos em Estruturas Sedimentares Concordantes, com o planalto divisor do São Francisco – Tocantins bem caracterizado por chapadões, principalmente no alto e médio curso do rio Carinhanha; e B - Depressões Pediplanadas, caracterizadas pelo vão do São Francisco no seu baixo curso. Essa descrição converge com a classificação feita pelo IBGE (2006), embora haja uma pequena variação

quanto à nomenclatura destas macro unidades.

A região de estudo apresenta, em grande parte, um terreno tabular, embasado por arenitos finos a grosseiros, muito bem selecionados e arredondados. Apresenta, em sua maior parte, um padrão paralelo de drenagem, correlacionando o entalhamento dos rios a um padrão estrutural.

Segundo o Mapa de Clima do Brasil (IBGE, 2002), a bacia hidrográfica do rio Carinhanha pertence à região do tipo climático: "Tropical Brasil central", o qual tem o cerrado como principal bioma, apesar de o baixo rio Carinhanha já apresentar uma transição com a vegetação de Caatinga, na área do médio São Francisco.

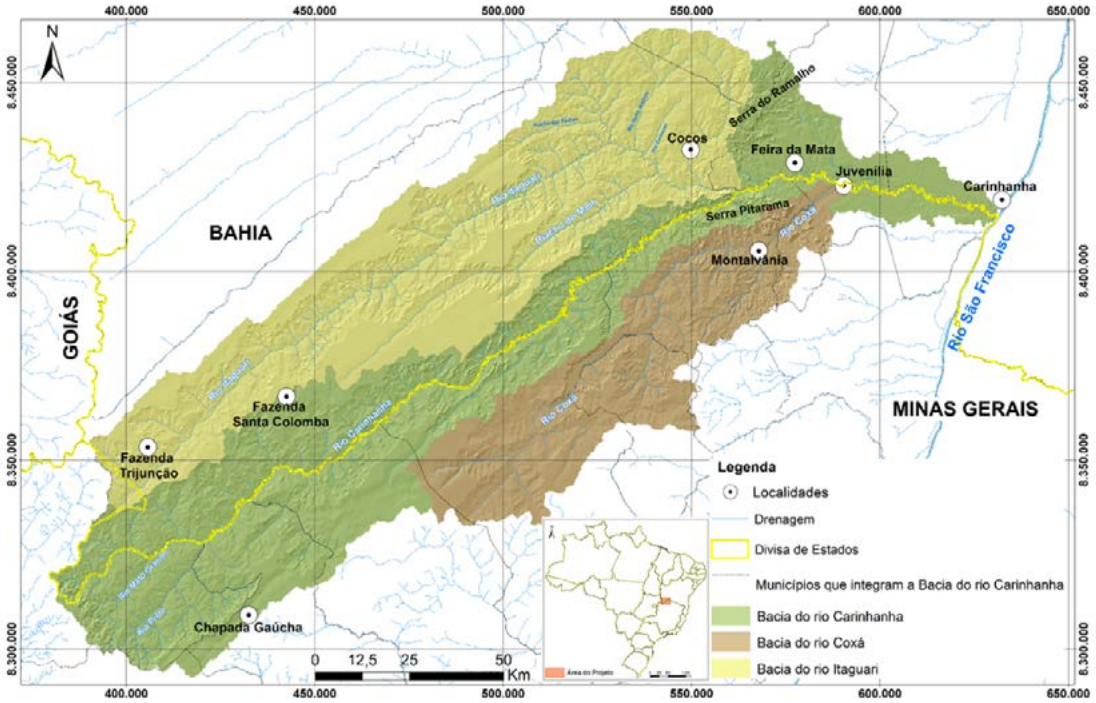


FIGURA 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Carinhanha. Fonte: Arquivo do autor

3. Metodologia

Para a execução deste trabalho foram realizadas análises de dados cartográficos, produção de mapas de relevo, hipsometria e ICR, e a verificação em campo das informações geradas. Os dados cartográficos foram tratados e manipulados por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) na escala 1:100.000. Foram utilizados modelos de elevação do terreno a partir de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução de 30 m e de imagens Landsat 08 – Sensor OLI - ambas obtidas no site EarthExplorer USGS do Instituto Geológico Americano (Disponível em https://earthexplorer.usgs.gov/).

O mapa de formas de relevo foi gerado por meio de fotointerpretação seguindo a biblioteca de unidades de relevo elaborada por Dantas (2016), onde as formas da paisagem são equivalentes ao 3º e 4º táxons de hierarquização feita por Ross (1992), o qual corresponde às unidades geomorfológicas e representam unidades de relevo homólogas. Posteriormente, foi feita checagem em campo, quando também foram realizados registros fotográficos e perfis topográficos de toda a área.

Foram identificados 12 padrões de unidades de relevo, os quais foram checados e confirmados com as atividades de campo. (Figura 2)

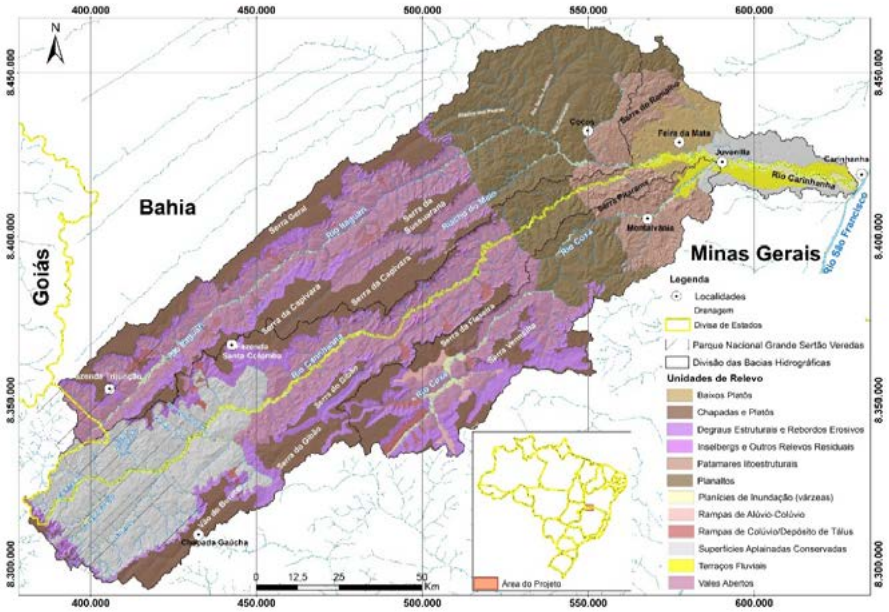


FIGURA 2: Mapa de padrão de relevo da bacia hidrográfica do rio Carinhanha**.** Fonte: Arquivo do autor

O mapa hipsométrico foi gerado utilizando as imagens SRTM no programa ArcGis, através da ferramenta Spatial Analyst e dividido em 10 classes. Apresenta a variação de altitude do terreno para toda a área da bacia. (Figura 3)

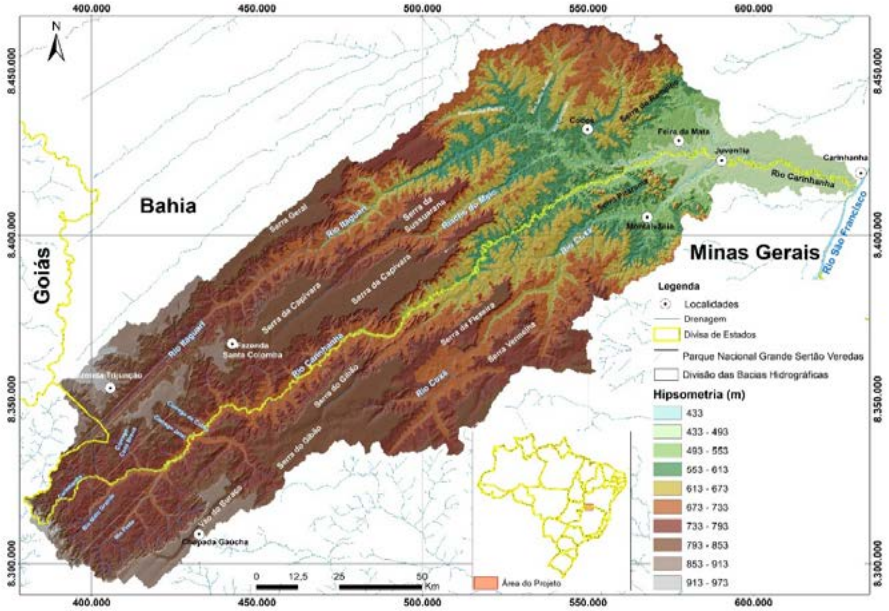


FIGURA 3: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Carinhanha. Fonte: Arquivo do autor

Para obtenção do ICR foi utilizada a metodologia proposta por Souza et.al. (2017) e Sampaio e Augustin (2014), na qual a obtenção do ICR é feita, primeiramente, com transformação do modelo digital de elevação (MDE) em valores de declividade em porcentagem (%). Posteriormente, o dado matricial de declividade é convertido para o formato de pontos (dado vetorial) para que seja possível a aplicação do Estimador de Densidade por Kernel. O dado final é uma normalização executada com álgebra de mapas para melhor representação do ICR.

A Figura 4 apresenta o mapa resultante da realização do ICR para a bacia hidrográfica do rio Carinhanha.

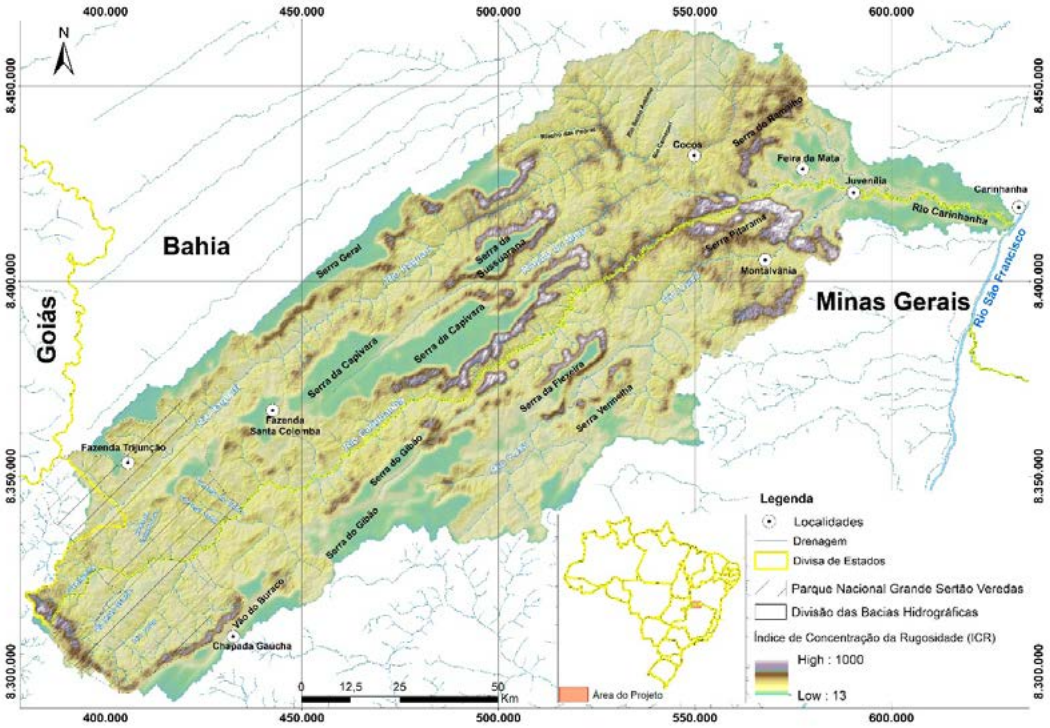


FIGURA 4: Mapa de Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) da bacia do rio Carinhanha. Fonte: Arquivo do autor

4. Resultados

A integração das informações do mapa de ICR, mapa de relevo e mapa hipsométrico, após as atividades de campo, possibilitou uma boa segregação de áreas morfoestruturais com características semelhantes e deu origem ao mapa de compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Carinhanha. (Figura 5)

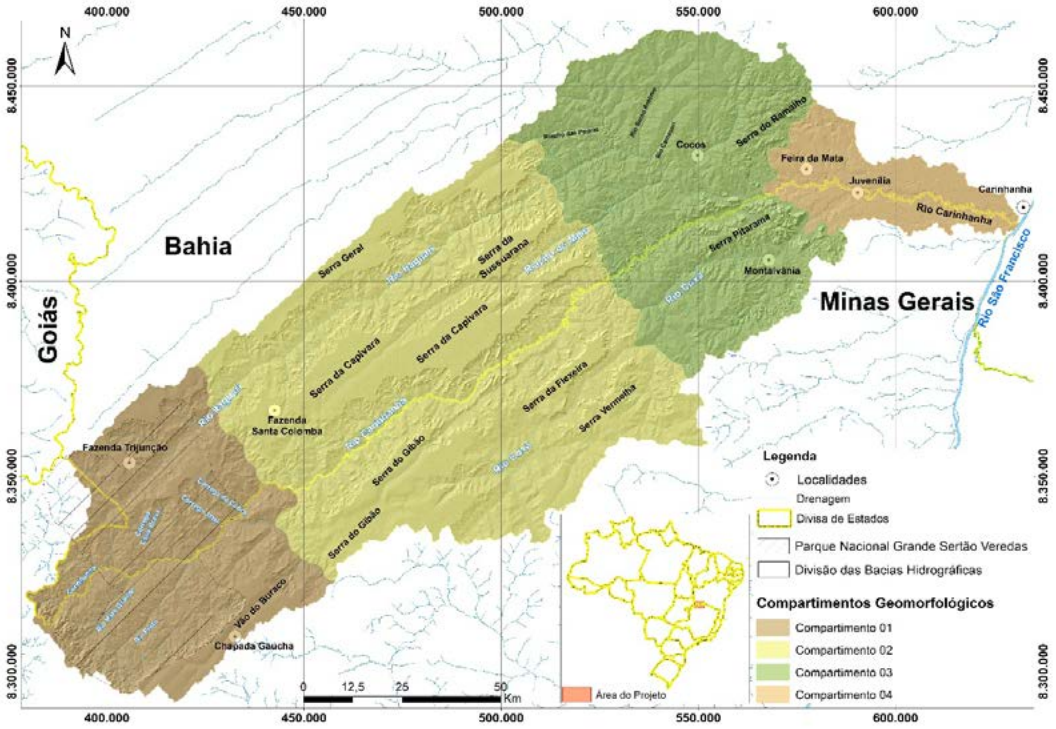


FIGURA 5: Mapa de Compartimentos Geomorfológicos da bacia do rio Carinhanha. Fonte: Arquivo do autor

Foram identificados quatro compartimentos bastante distintos: o primeiro onde predominam amplas superfícies aplainadas, no alto rio Carinhanha; o segundo representado por extensos vales abertos e chapadas; o terceiro marcado pelo escalonamento entre planaltos e patamares litoestrururais; e o quarto, e último, caracterizado por baixos platôs, as superfícies aplainadas, do vão do São Francisco e os terraços fluviais do baixo rio Carinhanha.

4.1 Compartimento 1

O primeiro compartimento é marcado por terrenos que englobam o alto rio Carinhanha e o alto rio Itaguari, localizados na divisa dos estados da Bahia, Minas Gerais e Goiás. Estende-se das cabeceiras das drenagens até o início da Serra do Gibão, na bacia do Carinhanha, e até o início da Serra da Capivara, divisor de águas entre os rios Carinhanha e Itaguari.

Possui uma característica, relativamente homogênea, uma vez que o terreno se apresenta como extensas superfícies aplainadas. Os interflúvios são amplos e suaves com divisores de água pouco perceptíveis devido ao fraco entalhamento da rede de drenagem. Apresentam-se bem extensos e planos apresentando uma leve convexidade, desenhando, assim, uma paisagem monótona com aclives/declives muito suaves, quase imperceptíveis, inclusive ao aproximar dos talvegues dos principais rios. Os topos planos das chapadas marcam os limites das bacias do Carinhanha e Itaguari.

Este compartimento abrange quase toda área do Parque Nacional Grande Sertão Veredas. Apresenta um padrão de drenagem que reflete uma declividade relacionada ao contexto geológico regional, onde toda a área da bacia apresenta

um basculamento muito suave para leste. De acordo com Christofoletti (1974), Brierley e Fryirs (2005) e Huggett (2011), o padrão de drenagem paralelo refere-se às áreas onde os estratos são uniformemente resistentes e a inclinação regional é marcada por forte controle estrutural exercido por uma série de falhas espaçadas.

Observa-se superfícies suavemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos com uma posterior retomada erosiva, proporcionada pela incisão suave da rede de drenagem incipiente. Podem ser tomadas também por grandes depressões interplanálticas.

Este setor apresenta as cotas mais altas da área de trabalho, entre 880 e 900 metros, nos pontos limítrofes das bacias (áreas de chapadas). A diferença de cotas entre o topo das áreas elevadas com o nível de base, representado pelo rio Carinhanha, pode chegar a amplitudes de até 200m. Contudo, esses degraus nas bordas das chapadas, nem sempre apresentavam uma quebra abrupta no relevo. Algumas vezes eram mais rebaixados com aclives/declives moderados.

4.2 Compartimento 2

O segundo compartimento é bem diferente do primeiro e é marcado por extensos vales abertos separados pelas características formas tabulares das chapadas. O ICR apresentou um resultado bastante eficaz para a divisão desse compartimento, uma vez que evidencia os degraus estruturais das chapadas em contraste com os vales, e principalmente, com a região de planaltos (compartimento 3). As chapadas marcam os divisores de água entre as bacias dos principais rios (Itaguari, Carinhanha e Coxá).

Este setor apresenta as cotas médias da área de trabalho. Os pontos mais altos estão, entre 700 e 800m, nas linhas de cumeada das bacias (áreas de chapadas). Dos vales englobados nesse compartimento estão: o vale do rio Itaguari; o vale do Riacho do Meio (afluente da margem direita do rio Itaguari e o mais encaixado dentre eles); o vale do médio Carinhanha, e o vale do alto e médio rio Coxá.

Ao longo da etapa de campo, a qual ocorreu no período da estação seca, em julho, não foi possível constatar a existência dos afluentes de primeira ordem dos rios principais. E embora possivelmente estes sejam intermitentes, aparecendo apenas nos períodos chuvosos (Outubro a Fevereiro), é recomendado um trabalho mais minucioso a esse respeito. É possível observar nos vales, principalmente no médio Carinhanha, alguns morros testemunhos de arenito, porém, não cartografáveis nesta escala de trabalho.

Ao longo dos extensos vales, as vertentes apresentam-se bem vegetadas por Cerrado e o terreno no interior dos vales mostra-se plano a suave ondulado. A drenagem segue um padrão em paralelo, escavando os terrenos arenosos do Grupo Urucuia.

Os topos das chapadas funcionam como área de recarga para toda a bacia do Carinhanha. Devido à litologia do Grupo Urucuia, a extensão em área dessas chapadas e a baixa declividade, as águas pluviais têm alta taxa de infiltração no solo e baixo escoamento superficial, alimentando os níveis de base locais.

Contudo, intercaladas com extensas áreas de Cerrado, grandes porções da região das chapadas é utilizada para a criação de gado na pecuária extensiva e para as atividades de agricultura mecanizada. Também foi possível verificar algumas áreas com plantações de eucalipto para a fabricação de carvão vegetal.

4.3 Compartimento 3

O terceiro compartimento engloba o baixo curso do rio Itaguari, o médio/baixo curso do rio Carinhanha e médio e baixo rio Coxá. O relevo é muito distinto dos compartimentos anteriores. Esta área destaca-se pela mudança de litologia, e, portanto, pelo tipo de modelado identificado no terreno, responsável pela mudança no padrão de drenagem, que deixa de ser paralelo e passa a ser dendrítico.

Neste compartimento ocorre a zona de transição que marca o contato entre o Cerrado, presente nas áreas de Chapada, vegetação de Mata Seca, típica das regiões cársticas, e a Caatinga, identificada na Depressão Sanfranciscana.

São destacados os planaltos e patamares litoestruturais, com o limite bem demarcado pela Serra do Ramalho e Serra da Pitarama, onde se localizam, respectivamente, as cidades de Cocos (BA) e Montalvânia (MG).

É possível observar um escalonamento do terreno, em "patamares", desde as margens do São Francisco até as cotas mais altas na borda da bacia, que corresponde às áreas classificadas por Mauro et al. (1982) como Patamares do Chapadão.

Esse escalonamento é delimitado por aclives/declives suaves. O único desnível expressivo ocorre localmente, na transição dos Baixos Platôs para os Patamares Estruturais devido aos paredões de calcário da Serra do Ramalho.

Os planaltos são superfícies mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares, a levemente convexas, com interflúvios muito amplos devido ao fraco entalhamento do sistema de drenagem. Neste compartimento estão os afloramentos cársticos e extensas áreas de solos mais argilosos provenientes de rochas calcárias, um contraste bem marcado quando comparados aos solos mais arenosos do Grupo Urucuia.

Os entalhes mais profundos estão localizados próximos aos talvegues dos afluentes da margem esquerda do rio Itaguari. Os principais afluentes que fazem parte do sistema de drenagem que disseca esta região são o rio Riachão, o rio Santo Antônio e o rio Camaçari.

Este compartimento é marcado por uma proeminente quebra de relevo, típica dos Patamares Litoestruturais, com um degrau bem definido e melhor observado a partir da região dos Baixos Platôs, no quarto compartimento. Estas abruptas mudanças de cota ocorrem, principalmente, quando estão presentes os calcários das Formações Sete Lagoas e Paraopeba. Os melhores exemplos são a Serra do Ramalho, a noroeste do município de Feira da Mata, na Bahia; e a Serra de Pitarama, próximo ao município de Montalvânia, Minas Gerais.

Outra característica marcante é a presença de uma superfície francamente dissecada por canais incisos, típicos dos relevos de Planaltos Dissecados, descritos no trabalho de Dantas (2016). O topo dessa unidade apresenta superfícies mais elevadas que os terrenos de Baixos Platôs, muito mais dissecadas, principalmente em seus talvegues, apresentando superfícies planálticas fragmentadas e morros de topos planos. Possui a maior quantidade de relevo residual em forma de mesetas, com vertentes íngremes e topo plano.

4.4 Compartimento 4

O quarto e último compartimento apresenta a unidade de relevo de baixos platôs, sobre a qual está assentada a cidade de Feira da Mata (BA) e os terraços do baixo rio Carinhanha, além das superfícies aplainadas da Depressão Sanfranciscana.

Próximo a região do município de Feira da Mata (BA), o relevo de Baixos Platôs, com cotas de 15 a 20 metros acima das Superfícies Aplainadas Conservadas, apresenta uma dissecação muito leve com topos amplos e suaves. Porém, a quebra negativa de relevo entre os Baixos Platôs e as Superfícies Aplainadas Conservadas adjacentes é marcada por uma diferença altimétrica muito suave. Também marca o contato com o terreno mais elevado dos Patamares Litoestruturais, do terceiro compartimento, expondo os calcários que fazem parte da Serra do Ramalho.

A Planície de Inundação do rio Carinhanha, neste setor, está numa cota de 460 metros e o degrau formado pela diferença de cotas entre as Superfícies Aplainadas Conservadas e a Planície de Inundação é marcado por aclives/declives muito suaves com declividade média de 3%, descendo 20 metros em 4 quilômetros, aproximadamente. Um melhor destaque pode ser encontrado entre os terraços e a planície de inundação.

Os terraços do baixo Carinhanha são do tipo isolados, portanto, assimétricos, refletindo um deslocamento do entalhe em direção as bordas. Isso ocorre porque o rio, neste setor se mostra meandrante, devido ao baixo gradiente do terreno.

O limite dos terraços com a planície de inundação é bem marcado, com um degrau que pode variar até 15 a 10 metros. Diferentemente das Superfícies Aplainadas, nas áreas de terraço, o dossel possui um porte maior. Contudo, localmente, os terrenos se encontram antropizados e a vegetação é alterada para áreas de pastagens. Os terraços são muito utilizados para a atividade de pecuária extensiva na região.

5. Considerações Finais

As ferramentas de SIG utilizadas para a compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Carinhanha em quatro grandes conjuntos são consideradas adequadas aos objetivos do presente trabalho. A metodologia adotada possibilitou a individualizados de cada compartimento enfatizando as características morfoestruturais de cada um.

As feições morfoestruturais e as quebras de relevo foram muito bem ressaltadas nos mapas desenvolvidos, mostrando que o uso da modelagem computacional para a identificação de formas de relevo é bastante eficiente.

Foi possível perceber, com clareza, as superfícies aplainadas do 1º compartimento e a região de vales e chapadas do 2º compartimento. O terceiro compartimento foi muito bem destacado, ilustrando a região dos planaltos e a modificação da rede de drenagem. O quarto compartimento ficou muito bem individualizado com a visualização dos degraus estruturais formados pelas Serras do Ramalho e da Pitarama no extremo oeste do compartimento e os terraços e as superfícies aplainadas da Depressão Sanfranciscana.

A interpretação conjunta dos mapas de padrões de relevo, hipsometria e ICR mostrou ser bastante eficiente e de fácil associação. As ferramentas computacionais apresentaram uma convergência muito significativa para este trabalho à luz da cartografia geomorfológica, facilitando a leitura, entendimento e análise do espaço geográfico.

O mapa hipsométrico apresentou uma ótima concordância com o mapa de ICR mostrado na Figura 5 e confirmado, através dos compartimentos topográficos, um escalonamento em “patamares” observados nos intervalos de elevação para cada compartimento (Figura 3), corroborando com o que pode ser visto no mapa

de unidades de relevo. Nota-se, para o primeiro compartimento, que as chapadas (destacadas em coloração mais clara no mapa hipsométrico) estão alçadas a cotas mais altas, quando comparadas às chapadas do segundo compartimento.

As regiões dos terrenos tabuliformes das chapadas, limitadas por exuberantes degraus estruturais, foram muito bem destacadas das demais áreas. Os afloramentos calcários das Serra da Pitarama e da Serra do Ramalho também foram muito bem evidenciados, demarcando um limite abrupto com as regiões dos Baixos Platôs, próximo a Feira da Mata (BA) e as áreas de Superfícies Aplainadas e terraços do baixo rio Carinhanha.

O Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) gerou uma resposta bastante satisfatória como ferramenta de compartimentação geomorfológica de bacias hidrográficas para a cartografia geomorfológica. Apresentou resultados com grande coerência com as informações vistas em campo, com o mapa hipsométrico e com as informações do mapa de padrões de relevo.

Deste modo, análise integrada entre os mapas de relevo, hipsométrico e ICR, validados pela atividade de campo, demonstrou ótimo potencial de aplicação em trabalhos de cartografia geomorfológica, além de potencializar informações em trabalhos de estudos e análises ambientais, sendo possível distinguir características geológicas e geomorfológicas na área estudada. Contudo, vale ressaltar que a composição de mapas de compartimentação geomorfológica mais completos, para escalas de maior detalhe, outros critérios ou parâmetros devem ser considerados, incluindo: comprimento de rampas, declividade, formas das encostas e tipos de solos.

Referências

AB'SÁBER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário**. Geomorfologia, n. 18, p. 1–23, 1969

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management**. 2. ed. Massachusetts - USA: Blackwell, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1980.

DANTAS, M. E. **Biblioteca de padrões de relevo: carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação**. 2016. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16589.

EARTH EXPLORER. 2019. **Earth Explorer**. [Download de imagens orbitais]. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 11 mar. 2019.

HUGGETT, R. J. **Fundamentals of geomorphology**. 3. ed. London: Routledge, 2011(Routledge fundamentals of physical geography series).

IBGE. **Mapa de climas do Brasil**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2002. Disponível em: http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/Map_BR_clima_2002.pdf. Acesso em: 10 mar. 2020.

IBGE. **Mapa de Unidades do Relevo do Brasil**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2006. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/relevo_2006.pdf. Acesso em: 10 mar. 2020.

MARTINS-FERREIRA, M. A. C.; CAMPOS, J. E. G. **Compartimentação Geomorfológica como suporte para Estudos de Evolução Geotectônica: Aplicação Na Região da Chapada dos Veadeiros, GO**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 18, n. 3, 11 ago. 2017. DOI 10.20502/rbg.v18i3.1119. Disponível em: http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/1119. Acesso em: 26 jan. 2021.

MAURO, C. A. de; DANTAS, M.; ROSO, F. A. **Geomorfologia** *in*: Projeto RADAM BRASILFolha - SD23 Brasília: Levantamento de Recursos Naturais V. 29, n. 29. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 1982

ROSS, J. L. S. O **Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Revista do Departamento de Geografia, v. 6, p. 17–29, 8 nov. 1992..

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 15, n. 1, 23 abr. 2014. DOI 10.20502/rbg.v15i1.376. Disponível em: http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/376. Acesso em: 26 jan. 2021.

SOUZA, F. É. V. de; FONSECA, B. M.; PIZANI, F. M. C.; FERREIRA, H. dos S. **Compartimentação do relevo baseada em parâmetros morfométricos: uma proposta de índice global de dissecação do relevo**. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. [S. l.]: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017. p. 5513–5524. DOI 10.20396/sbgfa.v1i2017.2085. Disponível em: http://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2085. Acesso em: 26 jan. 2021.

TRENTIN, R.; SANTOS, L. J. C.; ROBAINA, L. E. de S. **Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Itu: oeste do Rio Grande do Sul - Brasil**. Sociedade & Natureza, v. 24, n. 1, p. 127–142, abr. 2012. https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000100011.

CONFLITOS DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NO BAIXO E MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL, AL.

Alan Victor dos Santos Silva
Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro dos Martins, Maceió, Alagoas - CEP: 57072970
E-mail: alan.silva@igdema.ufal.br

Kallyne Teixeira Santos
Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro dos Martins, Maceió, Alagoas - CEP: 57072970
E-mail:kallyne.santos@igdema.ufal.br

Mayara Marinho Santana
Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro dos Martins, Maceió, Alagoas – CEP: 57072970
E-mail:mayara.santana@igdema.ufal.br

Kleython de Araújo Monteiro
Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro dos Martins, Maceió, Alagoas – CEP: 57072970
E-mail:kleython.monteiro@igdema.ufal.br

Resumo

É sabida a importância de preservar o ambiente físico natural, explorando-o de forma racional. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é mapear os conflitos de uso para três (3) Áreas de Preservação Permanente (APPS) de acordo com a lei federal 12.651/2012, sendo borda de tabuleiro costeiro e mata ciliar no baixo e médio curso da bacia hidrográfica do Rio São Miguel, localizada em Alagoas na mesorregião do Leste Alagoano e Microrregião de são Miguel dos Campos. Nesse sentido, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel 2 para identificar e delimitar o uso e ocupação, modelo de elevação (MDE) ALOS-Palsar para extrair os limites, drenagem, curva de nível, declividade e relevo sombreado da área de estudo. A partir da sobreposição destes produtos tornou possível identificar os conflitos de uso para o baixo e médio curso, sendo dos tipos de mata ciliar (53,3%) e borda de tabuleiro (47,7%) estes relacionados a área urbana de São Miguel dos Campos e as áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Classificação Supervisionada; Código Florestal.

1. Introdução

O território brasileiro dada a sua vasta extensão continental acaba por abarcar diversos biomas que são dotados de características distintas e de alto grau de endemismo e, portanto, a sua preservação é de extrema importância. Tanto do ponto de vista a assegurar esta rica diversidade biológica, quanto a busca por técnicas que possibilitem sua exploração de forma sustentável, já é de amplo conhecimento que o atual modelo de exploração de produção em larga escala, buscando reduzir os custos, leva à desenfreada remoção da cobertura vegetal, que pela ótica da preservação, nos mostra que o modelo atual de exploração dos recursos naturais é insustentável (SANTOS & BRITO, 2018).

Portanto, seguindo esta orientação a legislação brasileira vem criando mecanismos legais com o objetivo de regulamentar a exploração, como a Lei nº 16.651/2012 que estabelece a tipologia e o tipo de ocupação das Áreas de Preservação Permanente (APP). Sendo assim, as APPs são áreas cobertas por vegetação ou não, que desempenham importante papel na preservação dos recursos hídricos, paisagem, a estabilidade geológica e biodiversidade, e etc.

Segundo Rocha et al. (2015), as APPs próximas a recursos hídricos funcionam como:

...uma faixa de segurança para a saúde do corpo hídrico que elas envolvem. Reduzem o impacto de fontes de poluição através do efeito "filtro", ressaltando a melhoria da qualidade do ar, a retenção de sedimentos finos, produtos tóxicos e nutrientes carreados pela precipitação e lixiviação, minimizando os processos de assoreamento do corpo d'água, evitando a erosão e estabilizando os solos marginais, sendo uma verdadeira barreira física (p.4-5).

No entanto, monitorar tais áreas em um país com dimensões continentais como o Brasil é extremamente difícil. Neste ponto as técnicas de sensoriamento remoto nos fornece o arcabouço técnico que possibilita a execução deste monitoramento de forma bastante eficaz. Esta análise se dá através do uso de softwares de processamento digital de imagens, a partir da manipulação dos produtos do sensoriamento remoto para a produção de mapas de uso e ocupação, capazes de identificar conflitos de uso da terra (SANTOS & BRITO, 2018).

Conforme o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF) as APPs são amparadas pela Lei 12.651/2012, o "Novo Código Florestal Brasileiro buscando preservar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Com isso,

A APP é definida por lei e não permite a ocupação irregular, mesmo que esteja localizada dentro de uma propriedade particular. A situação é definida pela característica e mecanismos de proteção do local e não por, algumas vezes, estar localizado dentro de uma APA. (MAIA, 2015).

Estas diferem das Áreas de Proteção Ambiental (APA), que são uma categoria da

Unidade de Conservação de uso sustentável, conforme o que prevê o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), e que, por isso, permite a presença de pessoas e a utilização equilibrada dos recursos naturais. (MAIA, 2015).

No estado de Pernambuco as APPs, assim como Alagoas, sofrem com a remoção ilegal da vegetação natural e com uso e/ou ocupação indevido do solo nas APPs. Conforme o levantamento do Centro de Pesquisa Ambientais (CEPAN) em 2018 mostra que cerca de 7 milhões de hectares de vegetação da caatinga já foram perdidas, devido ao uso da agropecuária.

Para mais, cita-se o caso dos municípios de Sertânia e Arcoverde, ambos abrangem a Bacia Hidrográfica do Moxotó, para a implantação do Sistema Adutor do Ramal do Agreste, onde trechos da Caatinga foram retirados de forma legal, através da permissão do governo do Estado de Pernambuco.

"Art. 1º Fica autorizada a supressão de vegetação de preservação permanente, de acordo com o inciso I do § 1º do art. 8º da Lei nº 11.206, de 31 de março de 1995, na área total de 1,2925 hectares de vegetação de caatinga arbustiva-arbórea, localizada no **Município de Sertânia**, *neste Estado, conforme Memorial Descritivo constante do Anexo Único, a fim de viabilizar a continuidade das obras do Projeto Ramal do Agreste, Trecho VII do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - PISF, neste Estado, obra de utilidade pública. (Lei Nº 17076 de 07 de outubro de 2020)."*

"Art. 1º Fica autorizada a supressão de vegetação de preservação permanente, de acordo com o inciso I do § 1º do art. 8 da Lei nº 11.206, de 31 de março de 1995, da área total de 0,4333 hectares de vegetação de caatinga arbustiva-arbórea localizadas no **Município de Arcoverde**, *neste Estado, conforme Memorial Descritivo constante no Anexo Único, a fim de viabilizar a continuidade das obras do Sistema Adutor do Ramal do Agreste, Trecho VII do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - PISF, neste Estado. (LEI Nº 16.911, DE 12 DE JUNHO DE 2020)."*

Porém,

Art. 2º A execução de qualquer obra ou serviço no local onde haverá a supressão de vegetação de preservação permanente somente será iniciada mediante a emissão das respectivas autorizações para supressão vegetal por parte da Agência Estadual de Meio Ambiente - CPRH, que acompanhará a realização da obra em todas as fases técnicas.

No que tange ao licenciamento ambiental, ferramenta de grande importância para a proteção de bens naturais, materiais e imateriais da sociedade, no estado de Alagoas o órgão responsável é o Conselho Estadual de Proteção Ambiental (CEPRAM), com o apoio técnico IMA e da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL). No Estado apenas 9 municípios estão aptos para licenciar de forma autônoma, sendo estes: Maceió, Rio Largo, Maragogi, Marechal Deodoro, Jequiá da Praia, Pilar, Palmeira dos índios, Arapiraca e Delmiro Gouveia. Os outros municípios seguem a Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011.

É parte importante da dinâmica de ocupação da bacia, no sentido econômico, a presença de áreas de cultivo da cana-de-açúcar e pastagem, haja visto que estas remontam aos primeiros grandes motores da ocupação da zona da mata alagoana.

Por fim, o objetivo deste trabalho é utilizar das geotecnologias como o sensoriamento remoto e SIGs afim de mapear, no baixo curso da bacia hidrográfica em questão, o uso e ocupação de áreas, bem como as APPs de tipologia borda de tabuleiro, mata ciliar e encosta, para então através da sobreposição do mapeamento identificar os conflitos de uso.

2. Materiais e Métodos

2.1 Localização da área

O médio e baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel (BHSM) drenam uma área de aproximadamente 268,226 km² e está localizada na mesorregião do Leste Alagoano e microrregião de São Miguel dos Campos (SEPLAG, 2021), abarcando os municípios de Boca da Mata, São Miguel dos Campos, Roteiro e Barra de São Miguel (Figura 1). A área de estudo abriga uma população estimada de 96.363 habitantes (IBGE, 2020), que possui como principal ativo econômico, que é corroborada dada a sua extensão, o cultivo de cana-de-açúcar.

As maiores usinas de cana-de-açúcar da região estão localizadas no município de São Miguel dos Campos.

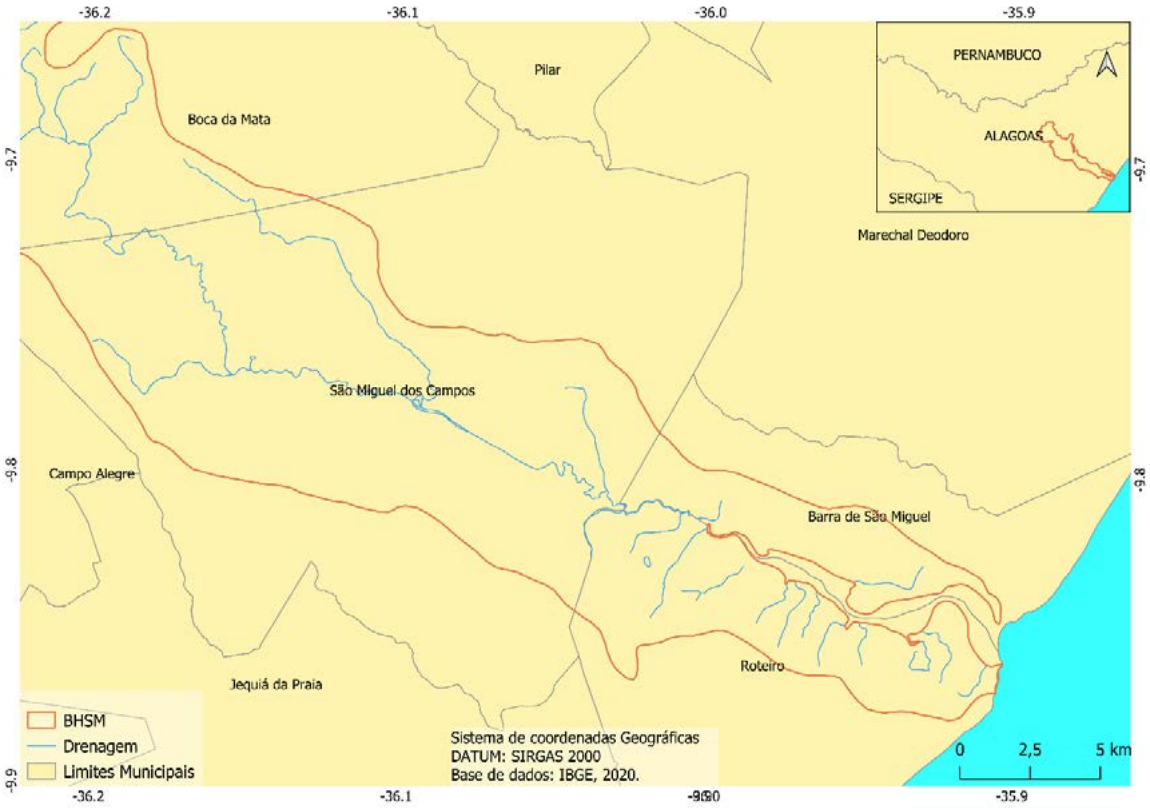


FIGURA 1: Mapa de Localização do baixo curso da BHSM
Fonte: Os autores.

2.1 Aspectos físicos ambiental

O clima para a área de estudo é tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa se estende entre o outono/inverno e temperatura média de 28 ºC (SEPLAG, 2021). Quanto ao bioma Mata Atlântica e ecossistema floresta ombrófila densa, em decorrência dos avanços históricos das áreas cultiváveis para cana e pastagem, sua área foi reduzida a menos de 10% de sua cobertura original.

A região é composta pelos seguintes tipos de solos: a) Latossolo Amarelo, são solos bem desenvolvidos que são divididos entre coesos e não coesos encontrados na zona costeira e na região semiárida, respectivamente; b) Argissolo Amarelo Acinzentado, Vermelho-Amarelo são solos desenvolvidos principalmente em sedimentos do Grupo Barreiras, e sua cor se deve a maior presença de óxidos de minerais hidratados, humidade e óxido de ferro, respectivamente; c) Cambissolo Háplico solo pedregoso relacionado a alta declividade e possui um horizonte, além de alta reserva de material orgânico; d) Gleissolo é um solo mal drenado com alto teor de argila, o manejo inadequado pode levar a aumento dos níveis de acidez e risco e inundação devido seu baixo lençol freático; e) Solo de mangue são escuros e lamacentos se desenvolve nos estuários numa mistura de material sedimentar recente e matéria orgânica; f) Espodossolo Ferrihumilúvico solos arenosos que se desenvolvem em sedimentos do Grupo Barreias e possuem drenagem rápida em superfície mas que pode ser impedida em profundidade; g) Neossolo Quartzarênico é o solo que se encontra na faixa costeira e é composto por sedimentos quartzarerênicos e possui textura arenosa (Figura 2).

O contexto geomorfológico é composto por 3 morfoestruturas: depressão pré-litorânea, planalto sedimentar costeiro e planície flúvio-lagunar. A depressão pré litorânea é definida por se localizar no piemonte do Planalto Cristalino (Borborema) e apresentar drenagem condicionando os processos erosivos que produziram formas dissecadas com aspecto de morros. O planalto sedimentar costeiro se desenvolveu sobre sedimentos do Grupo Barreiras e possui como característica principal uma morfologia de topo plana, nas áreas onde a drenagem atuou de forma mais amena podemos identificar os tabuleiros costeiros conservados, do contrário, temos os tabuleiros costeiros dissecados. Por fim, a planície flúvio-lagunar é a área que apresenta a menor altitude. Isso se dá pela sua dinâmica estar diretamente ligada ao escoamento da drenagem no canal principal (Figura 2).

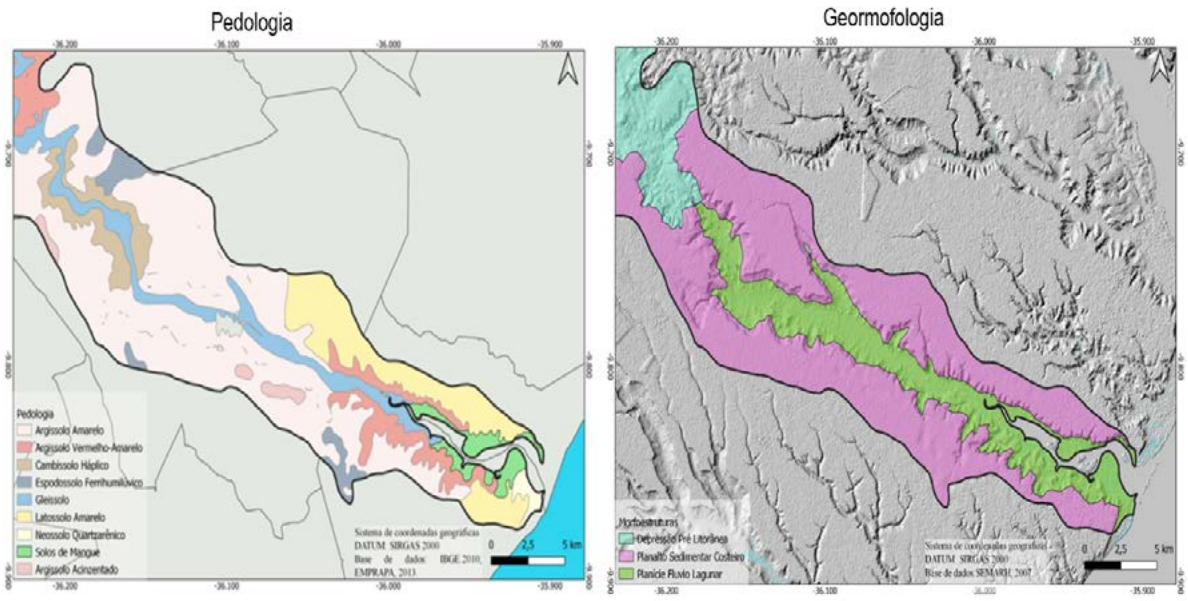


FIGURA 2: Mapa pedológico e geomorfológico
Fonte: Os autores.

2.1 Procedimentos metodológicos

Em todas as etapas a seguir o software utilizado foi o SIG QGIS em sua versão 3.18.1, mas como este não foi desenvolvido com o proposito de ser um processador digital de imagens (PDI), foi necessário fazer uso do plugin Semi-Automatic Classification (SCP), disponível na loja de complementos do QGIS. Este possibilita realizar diversos processos como pré-visualizar, fazer o download, correção atmosférica MS1 e a classificação supervisionada das imagens.

Na execução deste trabalho foram utilizadas imagens capturadas pelos sensores do satélite Sentinel-2 que é gerenciado pela Agência Espacial Europeia (ESA), estas imagens possuem resolução espacial de 10m nas bandas 2, 3 e 4. Estas foram utilizadas para compor uma imagem colorida, além das demais imagens do sensor para a análise espectral que é realizada pelo software utilizado neste trabalho. Esta imagem colorida serviu para que pudéssemos identificar e coletar pixels para as Regiões de Interesse (ROI) de cada um dos tipos de uso que balizaram a classificação supervisionada do uso e ocupação.

Também foram utilizados modelos digitais de elevação (MDE) provenientes dos sensores do satélite ALOS-Palsar com resolução espacial de 12,5 m, onde fomos capazes de extrair dados como declividade, curvas de nível, relevo sombreado,

delimitar a bacia e sua drenagem. Por fim, quanto a etapa de identificação dos conflitos de uso utilizamos a definição das APPs contida na Lei Nº12.651/2012, para as seguintes tipologias: mata ciliar com base no tamanho da calha do canal; encostas com declividade superior a 45º (>100%) e borda de tabuleiro, onde deve se estender 100m antes da linha de quebra do patamar (Tabela 1).

Tabela 1
Área marginal da APP com relação a largura da calha do canal

Largura da calha do canal	Área marginal a ser preservada
10 m	30 m
10-50 m	50 m
50-200 m	200 m
>600	500 m

Fonte: BRASIL, 2012.

3. Resultados e Discussões

Obtivemos como resultado deste trabalho diversos produtos que de forma individualizada nos permitiu identificar as áreas que possuem características descritas na legislação, e estes quando sobrepostos aos usos tornaram clara a leitura da dinâmica atual do uso e ocupação que leva a conflitos de uso.

Fomos capazes de identificar áreas de 2 categorias de APPs. As referidas estão localizadas nas áreas de transição entre os tabuleiros costeiros e a planície fluvial, mas ainda nessa mesma interface a maior parte das áreas apresenta declividade até 45%. Mesmo na porção do média do curso, onde há o embasamento cristalino com atuação da drenagem escavando ate o nível de base e a regressão das escarpas pudesse produzir declividades altas, não foram encontradas APPs para a classe de declividade (Figura 3).

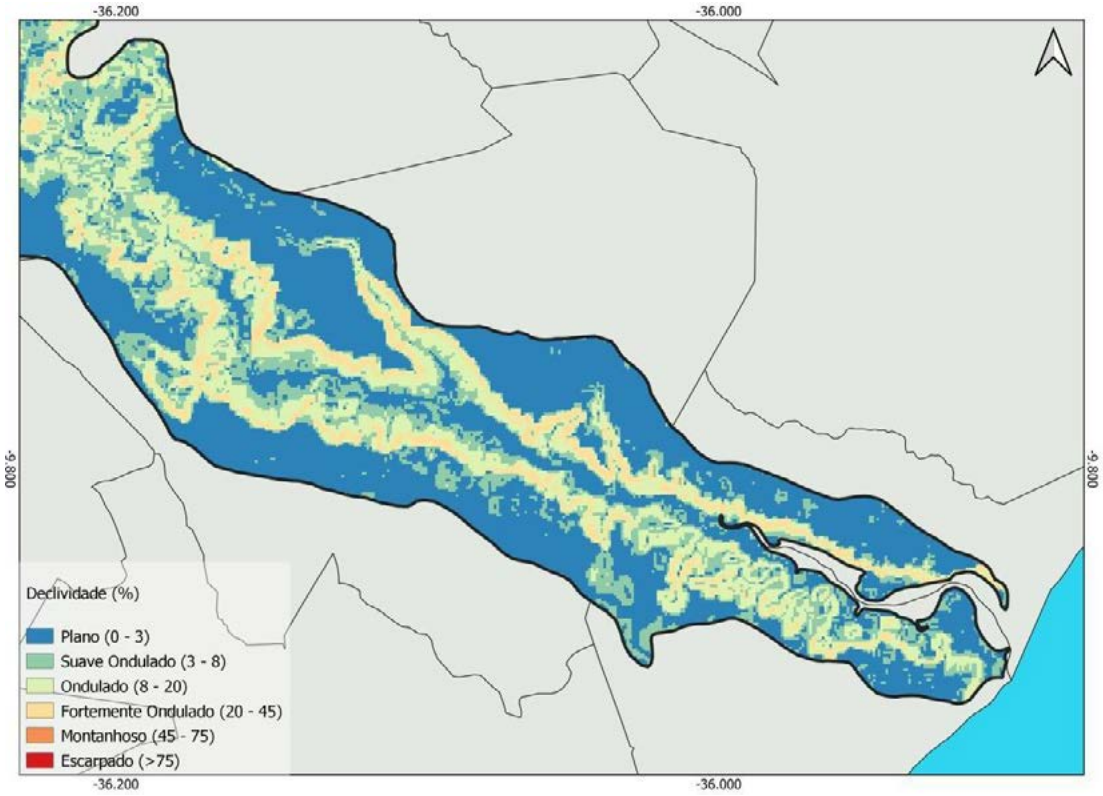


FIGURA 3: Mapa de declividade
Fonte: Os autores.

As APPs para borda de tabuleiro ocupam uma área de 26 km² são definidas a partir da morfologia, e para tal utilizamos o relevo sombreado e as curvas de nível. Fomos capazes de identificar que esta é a classe mais presente no baixo curso haja visto que a morfologia de tabuleiros se desenvolve tipicamente sobre sedimentos do Grupo Barreiras, e este se estende por quase toda a costa brasileira chegando a penetrar 80 km no continente. Esta APP é definida em analise do relevo sombreado e perffís topográficos, assim foi identificada a quebra de patamar, e os 100 m que antecedem esta quebra fazem partde da APP (Figura 4).

A APP de mata ciliar ocupa uma área de 27 km², a área a ser preservada varia de acordo com o tamanho da calha do canal e isto se deve pelo fato de a mata ciliar exercer função de filtro reduzindo os efeitos da erosão nas margens que podem levar ao assoreamento do canal, também por auxiliar na contenção do fluxo superficial em eventos de chuva intensa permitindo a infiltração da água nas camadas mais profundas do solo e a remoção de material pela queda das gotas de chuvas (Figura 4). A maior área de mata ciliar identificada foi, para o baixo curso, 500 m.

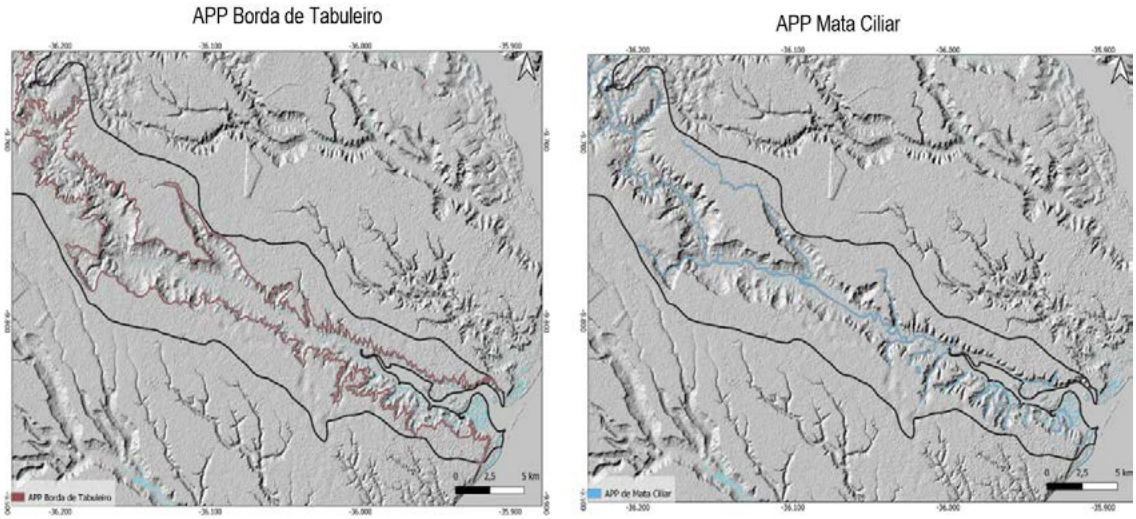


Figura 4: APPs Borda de Tabuleiro e Mata Ciliar
Fonte: Os autores.

Por fim, o mapeamento de uso e ocupação quando na etapa identificação dos tipos de uso e coleta das ROI, foram identificadas 5 classes de uso. Sendo estes: corpos hídricos, pastagem, cultura temporária (cana-de-açúcar), área urbana e florestal (Figura 5). As classes mais presentes foram pastagem (53,7%) e cana-de-açúcar (29,3%), que pode ser explicado pela dinâmica histórica da ocupação, sendo esta desde o período colonial crescente haja visto que são os principais produtos exportados pelo estado e serviram de motor para a ocupação da zona da mata alagoana. As demais classes de uso foram remanescentes florestais (14,9%), corpos hídricos (0,15%) e área urbana (1,6%).

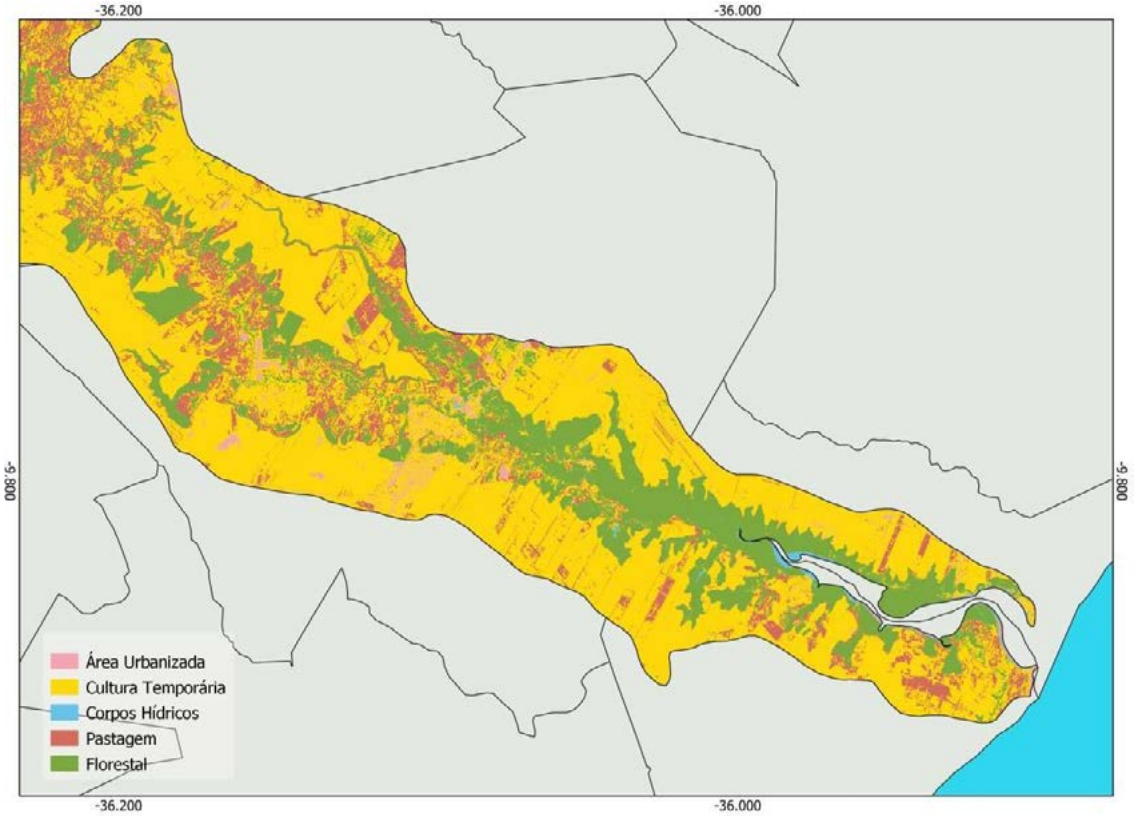


FIGURA 5: Mapa de uso e ocupação
Fonte: Os autores.

Como última etapa a sobreposição destes produtos tornou inteligível a dinâmica de ocupação e a ocorrência de conflitos de uso. Os referidos conflitos estão relacionados ao perímetro urbano do município de São Miguel dos Campos que ocupa as APPs de borda de tabuleiro e mata ciliar, e as áreas de cana-de-açúcar sobre bordas de tabuleiro buscando explorar o máximo de áreas cultiváveis.

4. Considerações Finais

Com este trabalho pôde-se identificar que existem áreas que se enquadram nas APPs de mata ciliar e borda de tabuleiro, ainda que esta última tenha ocorrência quase imperceptível dada a escala do trabalho. E a partir destas identificar os conflitos de uso na área urbana do município de São Miguel dos Campos por quase todo o médio e baixo curso com a presença do cultivo de cana-de-açúcar em APPs de borda de tabuleiro e mata ciliar. Isto pode ser explicado através da relação entre o desenvolvimento do município de São Miguel dos Campos e o cultivo da cana, haja visto que é importante fonte de renda para este e outros municípios da região.

Quando partiu-se para a análise do descumprimento da legislação, notou-se a relação entre os grandes aportes de financiamento que as usinas tem acesso através do governo federal e estadual, mesmo que o setor esteja em um momento de crise que se espalha por toda região nordeste.

Referências

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

e prevalência de leishmaniose visceral canina em Teresina Piauí: uma abordagem utilizando sensoriamento remoto orbital. **CADERNOS DE SAÚDE PÚBLICA**, Rio de Janeiro, n.1, v.1, p. 1-13. 2017.

FIGEUIREDO, A. B. F.; WERNECK, G. L.; CRUZ, M. S. P.; ALMEIDA, A. S. Uso e cobertura do solo

MAIA, Clarice. IMA alerta sobre ocupações irregulares de Áreas de Preservação Permanente. **IMA,** 2015. Disponível em: https://www.ima.al.gov.br/ima-alerta-sobre-ocupacoes-irregulares-em-areas-de- preservacao-permanente/ Acesso em: 07/07/2021.

ROCHA, C. H. B.; FREITAS, F, A.; CASQUIN, A, P. CONFLITOS DE USO DA TERRA NAS APPS HÍDRICAS DE MANANCIAL DA ZONA DA MATA MINEIRA, BRASIL. **BOLETIM GOIANO DE GEOGRAFIA**, Goiânia, n. 1, v. 39, p. 1-22. 2015.

SANTOS, L. C. L.; BRITO, G. H. M. DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃ PERMAMENTE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS PATOS, GO E IDENTIFICAÇÃO DOS CONFLITOS DE

SEPLAG. Alagoas em mapas. **Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio – SEPLAG**, 2021. Disponível em: Alagoas em Mapas - Datasets - Alagoas em Dados e Informações Acesso em Acesso em: 07/07/2021.

USO DO SOLO. **Ipê Agronomic Journal**, Goiânia, v. 2, n. 1, p. 53-60. 2018.

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE O MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BAGAGEM (MG)

Ana Carolina Alves Rosa
Universidade Federal de Uberlândia
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP 38500-000
E-mail:acrosa116@gmail.com
Alan Silveira
Universidade Federal de Uberlândia
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP 38500-000
E-mail: alan.silveira@ufu.br
Marília Inês Mendes Barbosa
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP 38500-000
E-mail: mariliabarbosa@ufu.br
Juliana Abreu Crosara Petronzio
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP 38500-000
E-mail: julianapetronzio@ufu.br

1. Introdução

A bacia hidrográfica do rio Bagagem está posicionada na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (Figura 1), com área drenada de 1.329,86 Km^2, curso principal de 143,7 Km e rede total da drenagem de 1.030,63 Km. Tem sua ocupação fortemente associada ao agronegócio, às atividades extrativistas e ao uso da água para fins agrícolas e de abastecimento dos municípios localizados na bacia.

De acordo com Baccaro *et al*. (2001), a bacia do rio Bagagem está inserida em duas unidades morfoestruturais, sendo uma correspondente ao Complexo Granito-Gnáissico (Faixa de Dobramentos Brasília), a qual compreende a unidade morfoescultural do Planalto Dissecado do Paranaíba e a outra referente à Bacia Sedimentar do Paraná, que abriga a morfoescultura do Planalto Tabular. Assim, as características morfoestruturais e morfoesculturais, bem como a forma de uso e ocupação, indicam o elevado potencial para estudos geomorfológicos na bacia hidrográfica do rio Bagagem.

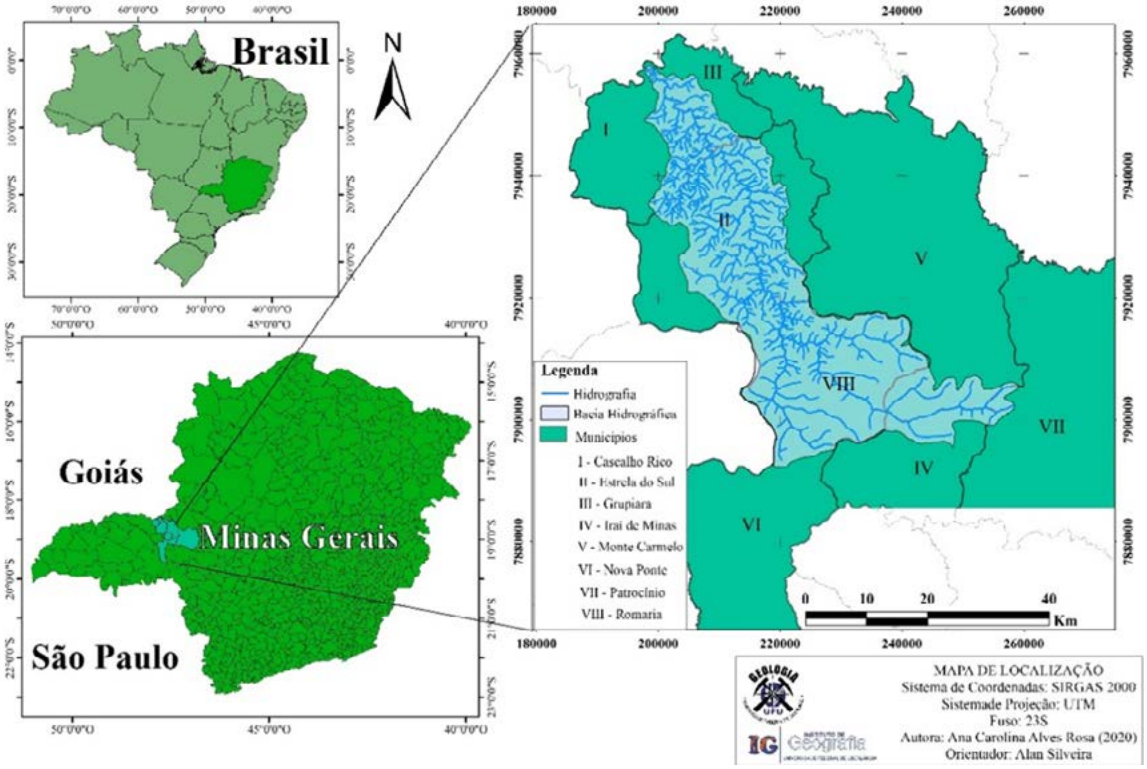


FIGURA 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Bagagem.

2. Objetivo

O projeto encontra-se em momentos iniciais de desenvolvimento e tem como objetivo principal elaborar o mapa geomorfológico da bacia do Rio Bagagem, a partir da metodologia proposta por Ross (1990 e 1992). Neste momento são apresentados os dados adquiridos com a elaboração da Carta de Declividade, que contribuirá para construção da Carta Geomorfológica. Pretende-se que esses documentos colaborem com a análise da dinâmica e evolução do relevo, bem como para o zoneamento geoambiental.

3. Referencial Teórico

Durante sua participação no 1° Workshop sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (IBGE, 2020), Ross destacou a importância do mapeamento geomorfológico, uma vez que a carta permite uma visão global dos fenômenos, processos e feições que acontecem na superfície da Terra. S**ão** empregados no mundo todo com a finalidade de contribuírem com os estudos dos minerais, da agricultura, do posicionamento de hidroelétricas, de sistemas viários, entre outros (IBGE, 2020). Para Casseti (2005), a representação destes mapas pode contribuir na questão da apropriação do solo, subsidiando dados relevantes aos eventuais riscos associados ao uso e ocupação do relevo.

Referenciando sua participação e contribuição ao projeto RADAMBRASIL (1983), Ross (1990 e 1992) propôs seis níveis taxonômicos para a caracterização do relevo. No terceiro nível taxonômico, o autor propõe a quantificação das formas a partir de uma matriz de índices de dissecação. Silveira *et al*. (2020) colocam que a morfometria do relevo quantifica aspectos tridimensionais da superfície a partir de diversos parâmetros como declividade, dissecação, hipsometria, entre outros. Segundo Pissarra *et al*. (2010), os índices morfométricos se caracterizam como um dos principais indicativos da relação entre a rede de drenagem e a respectiva área drenada, representando a fisiografia e a dinâmica fluvial de uma bacia hidrográfica.

A carta de Declividade representa quantitativamente, em porcentagem, a inclinação das vertentes. Trata-se de um instrumento muito utilizado para representações de variáveis gráficas, com a finalidade de obter dados de planejamento e estudos aplicados às geociências (DE BIASI, 1992). Segundo Covalite e Passos (2012), os mapas de declividade funcionam como ferramentas para a análise do relevo, tornando-se forma de classificação temática dos arranjos espaciais em diferentes níveis de inclinação presentes em um terreno.

4. Proposta Metodológica

As classes de declividade foram definidas com base em De Biasi (1970 e 1992), estabelecidas pela porcentagem da inclinação das vertentes. O trabalho cartográfico iniciou-se com a extração de dados das Cartas Topográficas, disponibilizadas pelo Ministério do Exército (1973), em escala de 1:100.000 e equidistância das curvas de 40 m, através do *software* ArcGIS 10.5.

Posteriormente foram extraídas as informações de interesse, por vetorização, como as curvas de nível, rede de drenagens e pontos cotados, sendo definida assim como a base cartográfica do projeto. Os produtos cartográficos estão Georreferenciadas no Sistema de Coordenadas Planas UTM e DATUM SIRGAS 2000 (FERREIRA *et al*, 2019).

Na sequência adotaram-se 3 procedimentos: 1 - Aquisição das imagens do radar ALOS PALSAR – ASF, acesso disponível em: https://search.asf.alaska.edu/#/; 2 - Ferramenta de preenchimento (*Fill*): Ferramenta de Análise Espacial> Hidrologia> Preencher (procedimento aplicado para correção de possíveis erros provenientes da imagem de radar); 3 - Extração da Declividade, com Ferramenta de Análise Espacial> Superfície> Declividade> Porcentagem.

A próxima etapa de trabalho consistirá na integração da carta de Declividade apresentada com as cartas de Dissecação Horizontal e Dissecação Vertical, as quais **já foram elaboradas por Ferreira** *et al* (2019), com a finalidade de elaborar a carta de Energia do Relevo (MENDES, 1993). Na sequência, essas informações serão de grande importância como variáveis morfométricas para a elaboração da carta Geomorfológica, apoiada na proposta taxonômica de Ross (1990 e 1992).

5. Desafios e Dificuldades

O principal desafio para o desenvolvimento do projeto consiste nas dimensões da área de estudo, com extensão de 1.329,86 Km². Isso se reflete nos procedimentos de mapeamento, sobretudo nas etapas de fotointerpretação e de trabalhos de campo.

A fotointerpretação envolve um mosaico de aproximadamente 8 Ortofotos (IBGE, 2005), com escala 1:25.000. Esse procedimento se relaciona principalmente com os registros dos 5° e 6° táxons, que serão organizados com simbologias propostas nos trabalhos de Tricart (1965) e Verstappen e Zuidan (1975). Os trabalhos de campo já estão sendo realizados, no entanto, ainda demandará continuidade para a reambulação dos mapeamentos a serem desenvolvidos.

6. Resultados Esperados

Neste momento apresenta-se a carta de Declividade (Figura 2), como resultado preliminar da pesquisa. As figuras 3A, 3B e 3C, ilustram áreas da Alta Bacia com reduzidas classes de declividade em setores dos Planaltos Tabulares da Bacia do Paraná. Na Média Bacia, observam-se elevadas declividades, em escarpas que representam a transição desses Planaltos Tabulares para os Planaltos Dissecados da Faixa de Dobramentos Brasília (3D e 3E), representados por declividades intermediárias na Figura 3F.

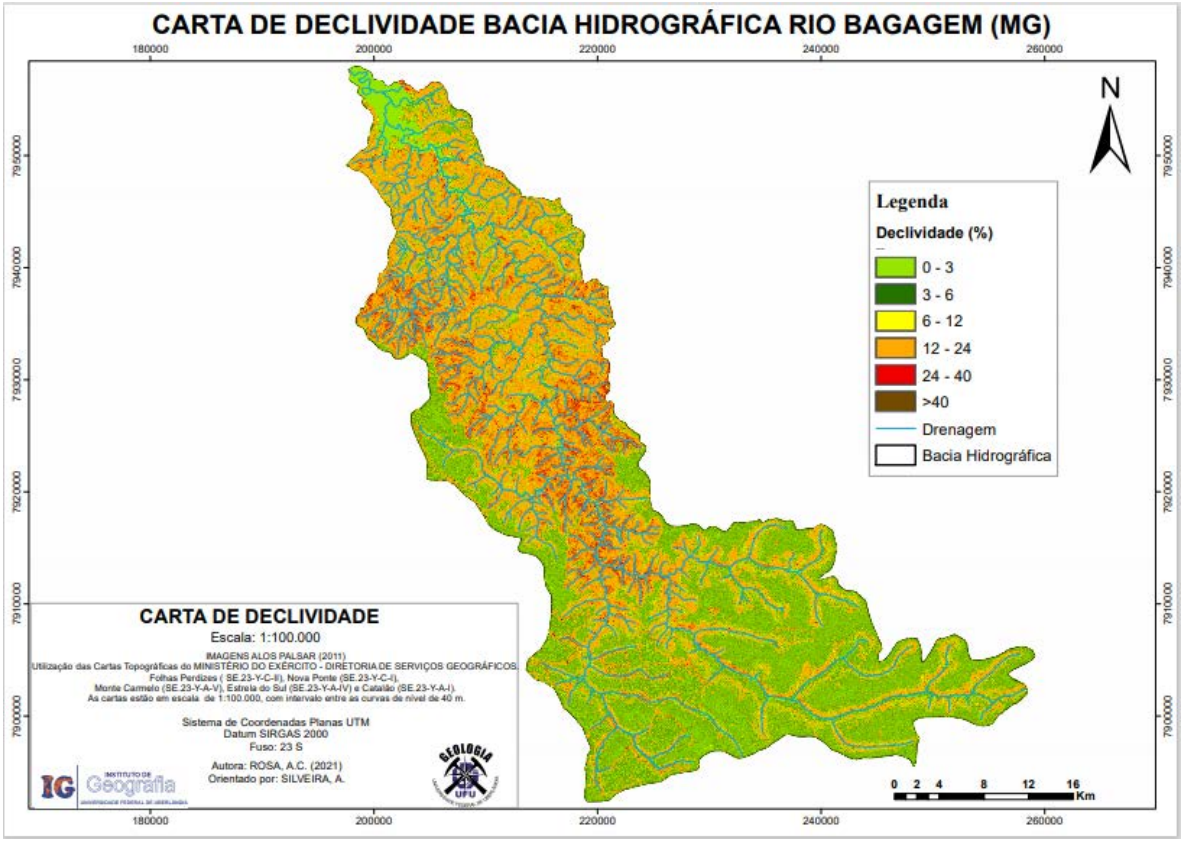


FIGURA 2: Carta de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem (MG).

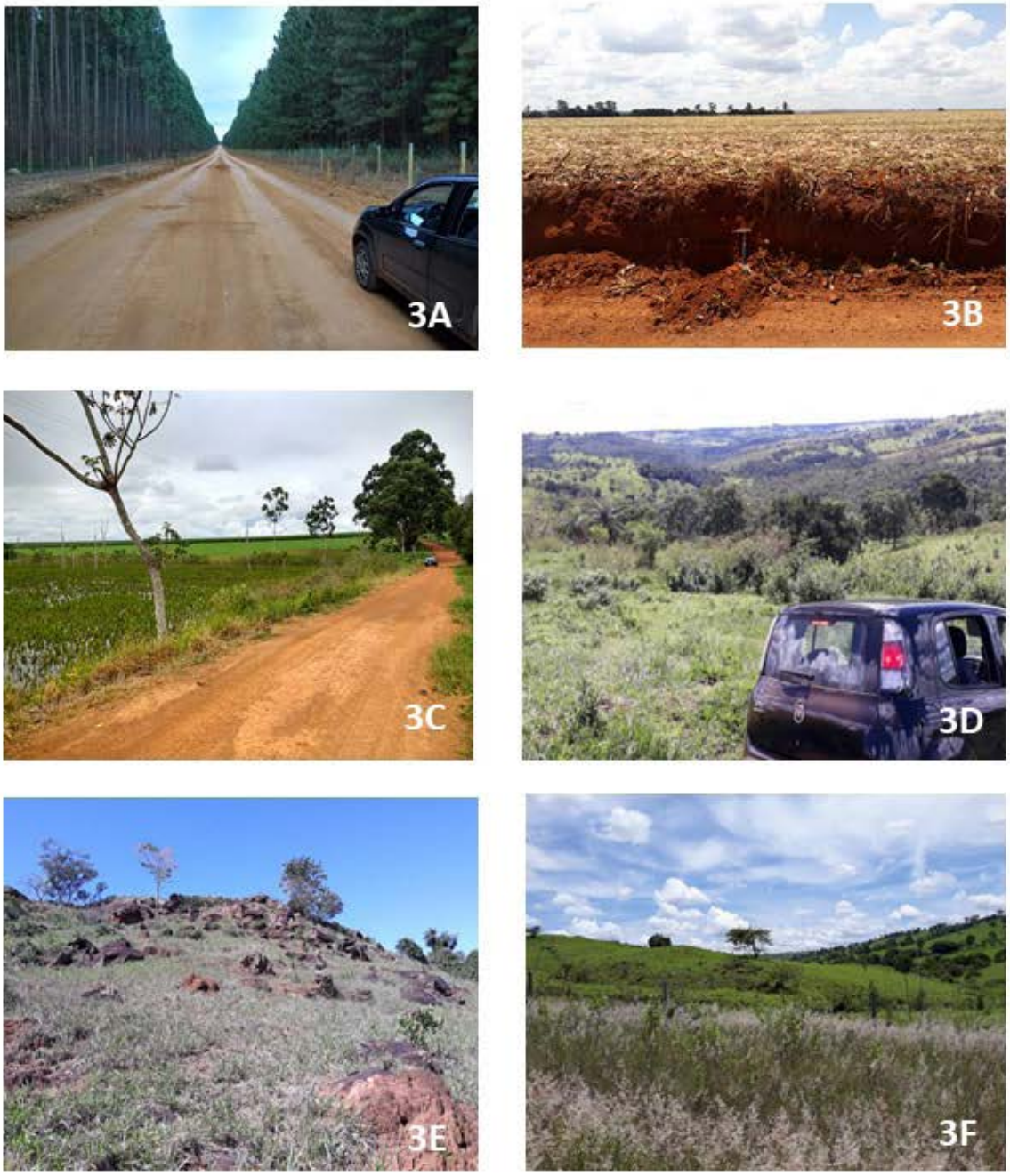


FIGURA 3: A - Topo aplainado de chapada com Latossolos Amarelo na Alta Bacia, Romaria, 989m; **B** - Topo aplainado de chapada com Latossolos Vermelho na Alta Bacia, Irai de Minas, 977; **C** - Vertente extensa e suave que se dirige à represamento na Alta Bacia. Áreas de veredas em planícies fluviais são frequentemente utilizadas para represamentos que abastecem a agricultura irrigada. Monte Carmelo, 944m; **D** - Transição da Alta Bacia para a Média Bacia. Ganho de declividade, da Alta vertente em direção à margem esquerda do Rio Bagagem, Romaria, 938m. Neste local se dá a transição da Bacia Sedimentar do Paraná para a Faixa de Dobramentos Brasília; **E** - Vertente declivosa que se dirige ao Ribeirão Água Suja, com afloramentos de arenitos na Média Bacia, Romaria, 859m. Neste local se dá a transição da Bacia Sedimentar do Paraná para a Faixa de Dobramentos Brasília; **F** - Vertente com declividade intermediária e afloramentos de anfibolitos que se dirige à afluente do Rio Bagagem, Média Bacia, Estrela do Sul, 708m. Autor: Prado Neto (2019, 2020).

Referências

BACCARO, C.A.V.; FERREIRA, I.L; ROCHA, M.R.; RODRIGUES. S.C. Mapa geomorfológico do Triângulo Mineiro: uma abordagem morfoestrutural-escultural/ Triângulo Mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 12, n. 25, 2015.

CASSETI, V. **Cartografia Geomorfológica**. Goiânia: Editora de UFG, 2005. Disponível em: < https://funape.org.brgeomorfologia/cap1/in-dex-php/ > . Acesso em: 13/09/2020.

CODEMIG. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico. Cartas Geológicas: Folha Catalão (**SE.23-Y-A-I**), Estrela do Sul (**SE.23-Y-A-IV**), Nova Ponte (**SE.23-Y-C-I**.) e Perdizes (**SE.23-Y-C-II**). Departamento de Serviço Geográfico, Belo Horizonte, 2017. Escala 1:100000.

COVALITE, A. P.; PASSOS, M. M. Integração de mapas de declividade e modelos digitais tridimensionais do relevo na análise da paisagem. **Revista Geonorte.** v. 2, n. 4, p. 1547-1559, 2012.

DE BIASI, M. Cartas de Declividade: Confecção e Utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n.21, p. 8- 12, 1970.

DE BIASI, M. A Carta Clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.6, p. 45-60, 1992.

FERREIRA, G.J.; SILVEIRA, A.; BARBOSA, M.I.M. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem (MG): Contribuição ao zoneamento ambiental**: relatório técnico. Monte Carmelo, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **1º Workshop Sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ortomosaicos da folha SE.-Y-C-I-23-NE, pertencentes as articulações **MI-2490-1-NO, MI-2453-3-SE, MI- 2453-3-NO, MI-2452-4-NE, 24524NO e MI-2489-2-NO**, **MI-2452-4-NO, MI-2453-3-NO MI-2452-2-SO, MI-2452-1-SE, MI-2452-2-NO e MI-2452-1-NE** com escala 1:25.000. 2005. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso: 12/06/2020.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do Córrego Lafon – Araçatuba–SP**. 171f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F.M.; POLITANO, W.; GALBIATTI, J.A. Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, 2010.

RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro, v.31, 1983.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento.** São Paulo: Ed. Contexto, 1990.

ROSS, J.L.S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, n.6, 1992.

SILVEIRA, A.; SILVEIRA. P.B; LUPNACCI, C.M. Analise morfométrica em bacia hidrográfica: Instrumento para o planejamento ambiental. FIGUERÓ, A.S.; DI MAURO, C.A. **Governança da água: das políticas públicas à gestão de conflitos**. Campina Grande: EPTEC, n.1 p. 76-88, 2020.

TRICART, J. **Principes et Méthodes de la Geomorphologie**. Paris: Masson et Cie, 1965.

VERSTAPEN, H.T.; ZUIDAM, R.A. van ITC System of geomorphological survey. Netherlands, **Manuel ITC Textbook,** Vol. VII, Chapter VII, 1975.

DIVISÃO DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DO BRASIL NO CONTEXTO DO ORDENAMENTO TERRITORIAL

Jurandyr Luciano Sanches Ross
Universidade de São Paulo - FFLCH
Av. Prof. Lineu Prestes, 338 - Butantã, São Paulo - SP, CEP: 05508-000
E-mail: juraross@usp.br
Marciel Lohmann
Universidade Estadual de Londrina – Depto. de Geociências
Rodovia Celso Garcia Cid - PR 445 Km 380 Cx. Postal 10.011
Campus Universitário, PR, CEP: 86057-970
E-mail: marciel@uel.br
Camila Cunico
Universidade Federal da Paraíba – Depto. de Geociências
Cidade Universitária - João Pessoa-PB, CEP: 58051-900
E-mail: camilacunico@yahoo.com.br

Resumo

Este artigo objetivou elaborar uma nova divisão das Unidades Geomorfológicas do Brasil assentado na divisão de Unidades de Relevo do IBGE (1993) e no Mapa Geomorfológico do Brasil de Ross (2006). O produto derivado na escala 1:5.000.000, será utilizado no projeto "Ordenamento Territorial Brasileiro: Potencialidades Naturais e Vulnerabilidades Sociais. Os procedimentos técnicos envolveram a digitalização e georreferenciamento do Mapa Geomorfológico de Ross (2006) já que o mesmo estava em formato analógico. O mapa de Unidades de Relevo do IBGE (1993) foi adquirido no site oficial da instituição, já em formato compatível com ambiente SIG. De posse das bases em formato digital, elaborou-se uma releitura dos mapas, resultando em uma nova proposta de unidades geomorfológicas para o Brasil. Os resultados se traduziram por uma identificação de um maior número de Unidades Geomorfológicas, sobretudo as associadas às bacias sedimentares e aos cinturões orogenéticos.

Palavras-chave: Mapeamento Geomorfológico; Geoprocessamento; Ordenamento Territorial.

1. Introdução

O relevo brasileiro resulta dos processos morfogenéticos relacionados a epirogênese meso-cenozoica decorrente da deriva dos continentes e os processos desnudacionais do Terciário e Quaternário. As altimetrias decorrem da tectônica com os soerguimentos desiguais das macroestruturas a partir do jura-cretáceo e os rebaixamentos desnudacionais produzidos pelas variações climáticas seco e úmido no Terciário e Quaternário. Para aplicação do mapa do relevo brasileiro no ordenamento territorial foi necessário integrar dois produtos cartográficos distintos, sendo os mesmos o mapa do IBGE de 1993 e o de Ross de 2006, em função de um ser mais detalhado, e o outro mais genérico, produzindo-se assim um mapa de resolução intermediária em função do objetivo do projeto.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi gerar a divisão das unidades geomorfológicas do Brasil na perspectiva de atender o projeto de Ordenamento Territorial do Brasil na escala de 1:5.000.000.

2. Área de Estudo

De forma simplificada, as grandes estruturas que definem os macros compartimentos do relevo encontrados no Brasil e na América do Sul, são os crátons ou plataformas, os cinturões orogênicos antigos e recentes, as grandes bacias sedimentares paleo-mesozoicas e as bacias sedimentares cenozoicas.

As plataformas ou crátons correspondem aos terrenos mais antigos e rebaixados por centenas de milhões de anos por atividades erosivas. Constituem-se numa grande complexidade litológica e estrutural, prevalecendo as rochas metamórficas muito antigas do Pré-Cambriano Médio a Inferior (Arqueozoico), bem como rochas metamórficas e intrusivas antigas do Pré-Cambriano Médio a Superior (Proterozoico) e também rochas sedimentares datadas do Pré-Cambriano Superior (Proterozoico), que recobrem residualmente pequenas áreas dos terrenos dos crátons ou plataformas. Essas áreas de plataformas antigas correspondem ao cráton ou plataforma Amazônica, do São Francisco, Uruguaio-sul-rio-grandense.

Os cinturões orogenéticos, que correspondem às extensas faixas de estruturas dobradas no território brasileiro, são muito antigos, correspondendo a diversas fases ao longo no Pré-Cambriano Superior (Proterozoico). Esses cinturões representam faixas de sutura entre crátons e consolidam em seu conjunto os terrenos do Pré-Cambriano da América do Sul. Estão representados pelas faixas de dobramentos do Atlântico, de Brasília e Paraguai-Araguaia

O terceiro tipo de estrutura, que ocorre no território brasileiro é o das grandes bacias sedimentares paleo-mesozoicas, como a Amazônica Oriental, do Parnaíba, do Paraná e do Parecis. Quando essas bacias foram geradas, os terrenos do continente sul-americano não apresentavam o formato e não estavam na posição geográfica atuais, mas sim em posições altimétricas mais baixas. Os depósitos marinhos, glaciais, desérticos e continentais formaram as rochas sedimentares das três grandes bacias. Os “pacotes” sedimentares que formam as grandes bacias sul-americanas tiveram interrupção de sedimentação generalizada no fim do Mesozoico (Cretáceo).

É no Cenozoico que se formam as bacias sedimentares recentes, a cordilheira andina, os soerguimentos epirogenéticos com reativação dos falhamentos antigos e a formação de escarpas na parte central e leste do continente. Desdobra-se, a partir dessa tectônica meso-cenozoica, a intensificação da retomada erosiva decisiva nos processos de rebaixamento dos planaltos e das serras do centro-leste do continente. É, portanto, o Cretáceo um divisor temporal importantíssimo para desvendar-se os enigmas da morfogênese do relevo sul-americano.

3. Materiais e Métodos

O suporte metodológico do mapa do relevo aqui apresentado, segue os pressupostos teóricos definidos a princípio pelos geomorfólogos russos Guerasimov e Mercejakov (1968) que embasaram a proposta taxonômica de Ross (1992) referente à cartografia geomorfológica. Nesse contexto, Ross (1992) apresentou uma sequência taxonômica para ser aplicada nos mapeamentos geomorfológicos no Brasil em seis táxons.

O primeiro e segundo táxons corresponde as macro influências estruturais e esculturais no relevo, seguindo o que estabelece os autores russos, ou seja, as morfoestruturas e as morfoesculturas.

O terceiro táxon corresponde as unidades menores, contidas nas morfoestruturas e morfoesculturas mas sendo determinadas pelos processos esculturais mais recentes, definindo-se pelos modelados de dissecação do relevo, também mais recentemente denominados de rugosidade topográfica.

Os demais táxons representam formas individuais, tipologias de vertentes, e formas de processos atuais. Neste trabalho em função da escala, foi utilizado os dois primeiros táxons de Ross (op cit), ou seja, as Unidades Morfoestruturais e no contexto de cada uma destas, as Unidades Morfoesculturais, onde pode se identificar as diferenciações na rugosidade topográfica que são determinantes como condicionantes do ordenamento territorial.

Os procedimentos técnicos envolveram em um primeiro momento a digitalização e georreferenciamento do Mapa Geomorfológico de Ross (2006) já que o mesmo estava em formato analógico. Para tanto foi utilizado um software de geoprocessamento no qual pode-se fazer a digitalização em tela de cada polígono que representava uma unidade geomorfológica. Após tal procedimento, obteve-se um arquivo em formato .shp (shapefile) com todas as unidades geomorfológicas.

O mapa de Unidades de Relevo do IBGE (1993) foi adquirido no site oficial da instituição, já em formato .shp, compatível com ambiente SIG.

De posse das duas bases de dados, os vetores foram arquitetados em ambiente SIG com o propósito final de elaborar uma releitura dos mapas, resultando em uma nova divisão de unidades geomorfológicas para o Brasil. Cada uma das unidades definidas foi caracterizada e, o mapa final contendo 34 unidades, elaborado.

4. Resultados

Os resultados se traduziram por uma identificação de maior número de Unidades de Relevo, sobretudo as associadas às bacias sedimentares e aos cinturões orogenéticos ficando mais compatíveis com os interesses e necessidades do projeto de Ordenamento Territorial do Brasil na escala 1:5.000.000.

Grande parte das rochas e estruturas que sustentam as formas do relevo brasileiro são anteriores à atual configuração do continente sul-americano, que passou a ter o formato atual com os efeitos da orogenia andina que por sua vez é associada à abertura do Oceano Atlântico, a partir do Jurássico (130 Ma).

É a partir do Jura-cretáceo e ao longo do Cenozoico, que há uma significativa mudança nos rumos dos processos geotectônicos globais com reflexos decisivos na conformação do continente sul americano e consequentemente na estrutura geológica e na gênese do relevo do que viria a se constituir, no Terciário

e no Quaternário, a América do Sul. É no Cenozoico que se formam as bacias sedimentares recentes, a cordilheira andina, os soerguimentos epirogenéticos com reativação dos falhamentos antigos e a formação de escarpas na parte central e leste do continente. Desdobra-se, a partir dessa tectônica meso-cenozoica, a intensificação da retomada erosiva decisiva nos processos de rebaixamento dos planaltos e das serras do centro-leste do continente. É, portanto, o Cretáceo um divisor temporal importantíssimo para desvendar-se os enigmas da morfogênese do relevo sul-americano.

Os depósitos do Cenozoico são encontrados mais extensivamente na Depressão Central Sul americana, como na Bacia Amazônica ocidental (Solimões), nas Bacias do Paraguai-Paraná (Pantanais de Matogrosso e Guaporé) e no litoral do Atlântico. Formaram-se também bacias sedimentares terciário-quaternárias nos grábens ou rift-valleys geradas concomitantemente com as respectivas depressões tectônicas como as do médio vale do rio Paraíba do Sul, nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, Alto Rio Tietê, na região metropolitana de São Paulo, baixo vale do Rio Ribeira do Iguape, em São Paulo, entre várias outras no território nacional.

Os terrenos geologicamente mais antigos da América do Sul, com destaque para o Brasil e Venezuela, mais especificamente relacionados ao Cráton Amazônico, Ab´Saber (1972) e Ross (1990) registram que esta vasta superfície rebaixada tem altitudes que oscilam entre 100 e 300m, esculpidas em embasamento constituído por rochas metamórficas do Pré-Cambriano Médio (1,8 a 2,5 bilhões de anos) No território brasileiro, essa superfície foi denominada por Ab´Saber, em 1972, como Depressão Marginal Norte e Sul Amazônica em face da presença no eixo Leste-Oeste da Bacia Sedimentar da Amazônia Oriental. Esta bacia tem nas suas bordas norte e sul relevos cuestiformes, cujos topos estão entre 350/400m. O desnível entre os topos das bordas da bacia para a base da superfície, que está por volta dos 100m de altitude, é de 200 a 300m, passando então a ser tratada por Ab´Saber como uma "superfície de eversão", em função da exumação que teria ocorrido ao longo do Terciário-Quaternário.

Destaca-se por toda essa superfície baixa e colinosa, relevos pouco mais elevados, geralmente com altitudes entre 600 e 800m, mas que podem, em áreas restritas, ultrapassar os 1000 metros. Esses relevos são sustentados por grande diversidade de litologias, como rochas ígneas da família dos granitos, com alguma presença de vulcânicas ácidas, como os riolitos, e coberturas residuais de plataforma, compostas por arenitos silicificados. Há ainda relevos cujos topos são mantidos por formações ferríferas e de manganês muito resistentes à erosão, que constituem depósitos supergênicos do Pré-Cambriano e sustentam relevos residuais elevados, como ocorre com o complexo serrano de Carajás, no Pará, e de Urucum, em Mato Grosso do Sul.

Recobrindo parcialmente o Cráton Amazônico estão os pacotes das bacias sedimentares da Amazônia Oriental, cujo eixo hidrográfico é determinado pelo rio Amazonas e a bacia sedimentar do Parecis que se encontra no divisor de águas dos rios que vertem para o Amazonas, ao norte, e o rio Paraguai/Paraná, ao sul. Essas bacias têm o fecho da sedimentação nos arenitos do Cretáceo, com a diferença que as partes mais elevadas dos sedimentos do Cretáceo, na Bacia Amazônica, estão entre 350/400m, enquanto no Planalto dos Parecis, oscilam entre 400 a 800m. O fato de estarem nos níveis altimétricos atuais indicam que o cráton amazônico também foi alvo dos processos epirogênicos que se desdobraram ao longo do Cenozoico.

Ross (2014) reinterpretando a morfogênese da Chapada dos Guimarães (MT), posicionada na borda noroeste dos Planaltos Bacia do Paraná e praticamente contínua à Chapada dos Parecis, sintetiza que [...] a Chapada dos Guimaraes é

produto da combinação de processos geotectônicos desencadeando movimentação crustal em razão da abertura do Atlântico, orogenia Andina e soerguimentos generalizados da plataforma sul americana a partir do Jura-cretáceo, e estendendo-se por todo o Cenozoico, somados aos arqueamentos dômicos ao longo dos grandes alinhamentos estruturais, como o que ocorre ao longo da faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia, denominado de Arco de São Vicente. (ROSS, 2014, p. 195)

A faixa de dobramentos supra citado e o arqueamento de São Vicente estão entre as Chapadas dos Guimaraes, a sudeste, e Parecis, a noroeste, e como ambas são constituídas por rochas do Cretáceo (Grupos Bauru e Parecis) e também circundadas por escarpas seguidas de depressões e recobertas por camadas argilosas e ferruginosas, com solos profundos, os fatos alinhavados para interpretar a morfogênese da Chapada dos Guimaraes, também se aplicam à Chapada dos Parecis e as demais chapadas que se encontram nas bordas das bacias sedimentares do Paraná e do Parnaíba, considerando obviamente as especificidades de cada uma. Estes fatos permitiram Ross (2014) considerar que estas chapadas e as depressões que as circundam, tanto ao sul quanto ao norte e oeste, foram geradas ao longo de mais de 60 Ma e não como suponha Ab´Saber (1972), que considerava como sendo decorrentes dos processos desnudacionais do Plio-Pleistoceno.

O conjunto de processos tectônicos e erosivos que ocorreram ao longo de mais de 60 milhões de anos (Cenozoico) e de modo concomitante, foram, portanto, acompanhados e induzidos pelas fases ou pulsos de soerguimentos/arqueamentos de origem tectônica.

A abertura dessas superfícies rebaixadas, que deram origem às Depressões Periféricas e Marginais (Ab´Saber, 1949/1972) que circundam parcialmente as grandes bacias sedimentares, foram esculpidas por fases de maiores ou menores atividades tectônicas (neotectônica) acompanhadas de maior ou menor vigor erosivo, em condições climáticas mais secas ou outras mais úmidas e quentes.

As atividades tectônicas que atuaram no continente sul-americano, a partir do Jurássico e ao longo do Cretáceo e Cenozoico, com prevalência no Terciário, foram responsáveis pelos processos geradores dos rifts marcados por falhamentos transcorrentes, escarpamentos, geração de grábens/horsts e formação nessas depressões tectônicas de bacias sedimentares sintectônicas, ou seja, de formação concomitante à atividade tectônica. Estes processos tanto ocorreram nas terras emersas como na plataforma continental e talude, sobretudo na faixa atlântica desde o litoral do Rio Grande do Sul ao Nordeste Oriental. São exemplos representativos as bacias sedimentares nas terras emersas ou, das também denominadas, bacias continentais trafogenéticas, as bacias Cenozoicas de São Paulo, Taubaté, Rezende, Curitiba, Pariquera-Açu, Volta Redonda, Guanabara, Itaboraí, geradas, conforme Ricomini, (1989), a partir do Oligoceno-Mioceno.

Nas áreas submersas, esse mecanismo tectônico de geração de sistema de rifts, possibilitou concomitante aos processos tectônicos, a formação de várias bacias preenchidas por sedimentos marinhos e continentais. De acordo com Gontijo (1999), essas bacias sintectônicas são as de Pelotas, Santos, Campos Espírito Santo, Bahia-Sul e Sergipe-Alagoas, conforme registradas por Chang et al. (1988). Essas bacias têm processos deposicionais desde o Cretáceo estendendo-se para o Terciário/Quaternário, com diferentes fases de sedimentação marinha em condições ora de mares rasos, ora mais profundas, em função dos processos de subsidências geradas ao longo do Cretáceo e sobretudo no Terciário.

Desde a publicação de Ricomini (1989), conforme afirma Gontijo (1999), tem-se informações claramente demonstradas, que essas atividades tectogenéticas continuam ativas após a formação dos depósitos sedimentares, quando esse autor identificou deformações nos sedimentos das bacias continentais de Rezende e que se proliferam nos depósitos das bacias vizinhas como de Taubaté e São Paulo.

Os resultados apresentados por Ribeiro et al. (2011) sobre a evolução tectônica e desnudacional da serra do Mar, mais precisamente nos planaltos da alta bacia do rio Paraíba do Sul, em área conhecida como Planalto de Paraitinga, aplicando técnica de datação através de análises de traços de fissão E U-TH/HE em apatitas concluiu que, houve no Cretáceo Superior ao Paleoceno forte alçamento tectônico e a partir do qual instala-se ciclos erosivos. Sugere também, baseado nessa análise, que teria ocorrido outra provável atuação tectônica no Eoceno-Oligoceno.

Parece nos que esta interpretação torna-se mais consistente, quando se analisa os resultados parciais apresentados por Assumpção et al. (2015), sobre os dados de 2013 e 2014 gerados pela Rede Sismográfica Brasileira. O pequeno mapa síntese que ilustra a referida publicação, mostra claramente alguns eixos ou áreas onde a frequência de abalos sísmicos é maior no território brasileiro, sendo bastante evidente a concentração na faixa atlântica, com destaque a região sudeste e a faixa que adentra para o centro norte do país acompanhando os Cinturões Orogenéticos do Atlântico, Brasília e Paraguai-Araguaia.

Segue, portanto, a divisão do primeiro e grande táxon, as morfoestruturas do Cráton Amazônico, dos Cinturões Orogênicos Antigos, das Bacias Sedimentares Paleo-mesozoicas e das Bacias Sedimentares Cenozoicas. O segundo táxon, corresponde à divisão morfoescultural dos planaltos, depressões, montanhas e planícies que pertencem a cada uma dessas megaestruturas.

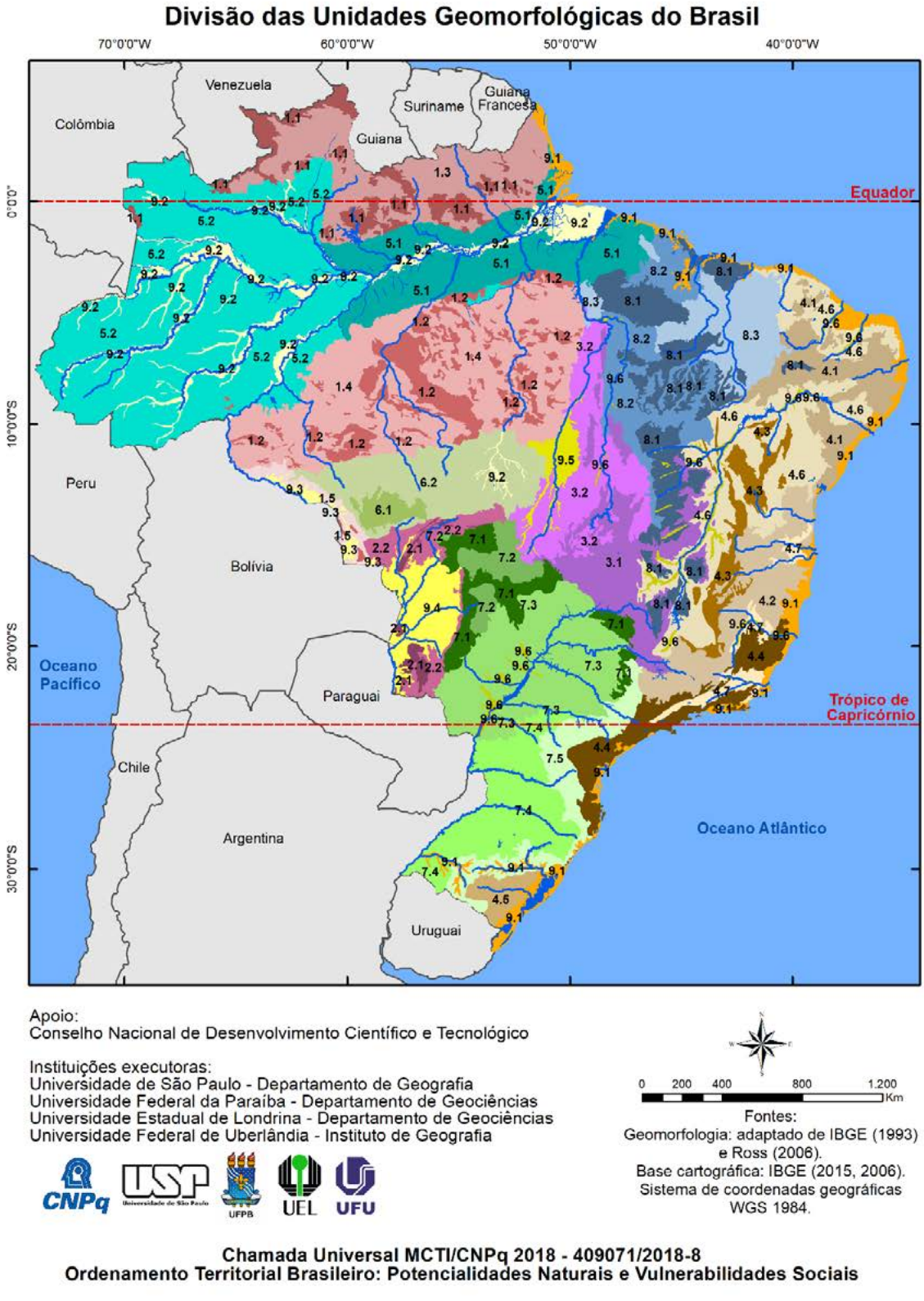


FIGURA 1: Mapa de Divisão das Unidades Geomorfológicas do Brasil.
Org.: Os autores, 2020.



FIGURA 2: Legenda do Mapa de Divisão das Unidades Geomorfológicas do Brasil. Org.: Os autores, 2020.

5. Considerações Finais

Pode-se, estabelecer algumas generalizações de âmbito regional, admitindo-se que os níveis aplanados, ou pelo menos retilinizados, dos topos das faixas de dobramentos (Cinturões), sejam testemunhos de fases erosivas do Cretáceo ou anteriores, como as extensas superfícies niveladas e baixas que estão esculpidas sobre os Crátons Amazônico e do São Francisco, e que as depressões interplanálticas e superfícies embutidas nas bordas das grandes bacias sedimentares, sejam de idade mais recentes (Terciário e Quaternário).

A partir das contribuições aqui registradas e indicadas nas referências, nos atrevemos a afirmar que os níveis morfológicos ou topográficos, locais e regionais, associam-se às diversas origens e gêneses, mas sempre contemplando a tectônica cenozoica, que promove soerguimentos/arqueamentos/basculamentos, e os processos erosivos concomitantes, que atuam nos rebaixamentos e deposições, quer sejam por processos desencadeados por condições climáticas mais secas, quer em condições quentes e úmidas, onde os rebaixamentos geoquímicos são determinantes para diferenciar a velocidade de desgaste em função das diferenças de resistência mineralógica das rochas.

A partir desta análise morfogenética, mais detalhadamente apresentada por Ross (2016), seguida do trabalho técnico para fusão dos dois produtos cartográficos geomorfológicos apresenta-se uma nova divisão das unidades geomorfológicas do relevo considerando o contexto geral da América do Sul. A divisão do relevo foi pensada a partir das macroestruturas geológicas que definem as mega unidades das morfologias do Brasil.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq- pelo financiamento parcial da pesquisa por meio do projeto cadastrado sob o nº 409071/2018-8 e intitulado "Ordenamento Territorial Brasileiro: Potencialidades Naturais e Vulnerabilidades Sociais".

Referências

AB`SABER, A.N.- Regiões de Circundesnudação Pós-Cretáceos no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia 1**. São Paulo, 1-21, 1949.

AB'SABER, A.N. - Posição das Superfícies Aplainadas no Planalto Brasileiro. **Geomorfologia 20**. Campinas, 10-22, 1960.

AB'SABER, A.N. Participação das Depressão e Superfícies Aplainadas na Compartimentação do Planalto Brasileiro**. Geomorfologia 28**. IGEOG – USP. São Paulo. 20p., 1972

AB´ SÁBER, A.N., Megageomorfologia do Território Brasileiro. In **Geomorfologia do Brasil** (og) Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. Editora Bertrand-Brasil p.71-106, Rio de Janeiro,1998.

ALMEIDA, F.F.M. de Origem e evolução da Plataforma Brasileira. DNPM/DGM. **Boletim**. Rio de Janeiro, 22-45, 1967

ASSUMPÇÃO, M; BARBOSA, J. R.; BIANCHI, M; ROUET,S; ROCHA, M.P., FERREIRA, J.M., **Sismos Regionais Detectados pela Rede Sismográfica Brasileira-RSBR em 2013-2014**. In XV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos—Vitória ES- 2015.

COX, R.T-The Role of Mantle Plumes in the Development of Continental Drainage Patterns. **Nature**, v.342 p.21-28, 1989.

GONTIJO, A.H.F.- **Morfotectônica do Médio Vale do Rio Paraiba do Sul:Região da Serra da Bocaina Estados de SP-RJ**. Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas-UNESP-Rio Claro - SP, 1999.

KING, L.C.- A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia.** 18. Rio de Janeiro, 1-120, 1956.

MESCERJAKOV, J.P. - Les Concepts de Morphostruture et de Morphosculture: un nouvel instrument de l'analyse géomorphologique. **Annales de Geographie** 423. 539-552, 1968.

RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências- USP, Universidade de São Paulo, São Paulo 1989.

RIBEIRO, M.C.S; HACKSPACHER, P.C.; RIBEIRO, L.F.B; STOCKLID.; HADLER NETO, C. Evolução Tectônica e Denudacional da Serra do Mar-Sudeste do Brasil no Limite entre o Cretáceo Superior e Paleoceno, Utilizando Análise de Traços de Fissão E U-TH/HE em Apatitas; **Revista Brasileiras de Geomorfologia**. v.12 nº especial p.03-14, 2011.

ROSS, J.L.S. Estudo e cartografia geomorfológica da Província Serrana. MT, Tese de Doutorado apresentada à FFLCH/USP. São Paulo, 1987.

ROSS, J.L.S. Relevo Brasileiro: Uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, 4. FFLCH/USP. 25-39, 1990.

ROSS, J.L.S. O Relevo Brasileiro, as Superfícies de aplainamento e os Níveis Morfológicos. **Revista do Departamento de Geografia**, 5. FFLCH/USP. São Paulo. 7-24, 1991.

ROSS, J.L.S. O Contexto Geotectônico e a Morfogênese da Província Serrana de Mato Grosso. **Revista I.G**. São Paulo, 12(1/2):21-37, 1991.

ROSS, J.L.S. O Relevo Brasileiro nas Macroestruturas Antigas. **Revista Continentes**-(UFRRJ) Ano 1, v.2 p.8-27, Rio de Janeiro, 2013

ROSS, J.L.S-Chapada dos Guimaraes: Borda da Bacia do Paraná. **RDG-Revista Depto. Geografia**-FFLCH-USP, v.28, p.180-197-São Paulo, 2014.

ROSS, J.L.S- O Relevo Brasileiro no Contexto da América do Sul. **RBG-Revista Brasileira de Geografia**, IBGE-v.61 nº 1-p.21-58-Rio de Janeiro, 2016.

SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretações preliminares. **Revista GEonomos**, v.1 p.1-15, 1993.

EFEITOS DO DESMATAMENTO NA DINÂMICA SEDIMENTAR DO RIO TAQUARI (MS): A PARTIR DA QUANTIFICAÇÃO DE BARRAS FLUVIAIS USANDO SÉRIE TEMPORAL DE IMAGENS DE SATÉLITE

Beatriz Silva Fernandes
Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Paulo
Rua São Nicolau, nº 210 - Centro - CEP: 09913-030 - Diadema - SP
E-mail: beatriz.fernandes28@unifesp.br
Stefania Cristino de Oliveira
Universidade de São Paulo – USP, Instituto de Geociências
Rua do Lago, nº562, Cidade Universitária, CEP: 05508-080, São Paulo – SP
E-mail: stef.oliveira@yahoo.com.br
Ana Luiza Faria de Souza
Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Paulo
Rua São Nicolau, nº 210 - Centro - CEP: 09913-030 - Diadema - SP
E-mail: ana.faria@unifesp.br
Fabiano do Nascimento Pupim
Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP, Departamento de Ciências Ambientais
Rua São Nicolau, nº 210 - Centro - CEP: 09913-030 - Diadema - SP
E-mail: f.pupim@unifesp.br

1. Apresentação/Problemática

A retirada da vegetação nativa para instalação de atividades agropecuárias tem gerado alterações significativas no Bioma Cerrado, impactando os sistemas fluviais (LATRUBESSE et al, 2019). Na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, mudanças na cobertura e uso da terra são ainda mais críticas do que em outras áreas do Cerrado (ROQUE et al, 2016). O manejo inadequado dos agrossistemas nos planaltos está reduzindo a capacidade de armazenamento da bacia hidrográfica, resultando na erosão do solo, aumento da descarga d'água e aporte de sedimentos, alterando a dinâmica das inundações, funções e serviços do ecossistema (BERGIER, 2013). O crescimento de atividades antrópicas nessa região causa o aumento da erosão dos solos e com isso o assoreamento do Rio Taquari (GALDINO et al, 2006). Assim, o assoreamento do leito do Rio Taquari tem sido reportado como o principal problema ambiental do Pantanal, prejudicando fauna, flora, comunidades humanas e suas atividades econômicas (GALDINO et al, 2006).

2. Objetivos

O objetivo desta pesquisa é investigar a resposta geomorfológica e sedimentar do Rio Taquari, frente ao desmatamento e a mudança no uso e ocupação da terra de sua bacia nos últimos 50 anos, a partir da quantificação de barras fluviais usando série temporal de produtos de sensoriamento remoto.

3. Referencial teórico

Mesmo sendo um problema que vem se agravando nos últimos anos, ainda são raros os estudos que avaliam como as mudanças na cobertura e uso da terra afetam os sistemas fluviais. Estudos pioneiros feitos por Latrubesse et al. (2009) identificaram forte correlação entre o avanço do desmatamento e o aumento do fluxo de sedimentos no Rio Araguaia, um dos principais sistemas de drenagem do Bioma Cerrado. Apesar dos problemas causados pelo aumento do aporte de sedimentos e assoreamento do Rio Taquari, não há estudo que quantifique tais impactos ao longo de séries temporais longas, dezenas de anos. Tal lacuna pode estar relacionada à falta de dados hidrossedimentológicos, já que o monitoramento feito pela Agência Nacional de Águas (ANA) não inclui levantamentos sistemáticos de alta resolução temporal desse tipo de dado. Usualmente, medidas hidrológicas e sedimentológicas são realizadas *in loco*, a partir da estimativa da carga sólida total transportada pelo canal em determinado período (CARVALHO, 1994), e esse tipo de monitoramento demanda altos investimentos e raramente são mantidos por longos períodos. Mas, partindo da premissa que a morfologia do canal e formas de leito dependem do aporte de água e sedimentos (SCHUMM, 1977), indicadores geomorfológicos obtidos a partir de séries temporais de produtos de sensoriamento remoto configuram ferramenta importante para o monitoramento de sistemas fluviais a longo prazo (BIZZI et al, 2016). Dados de estudos anteriores indicam o aumento da descarga sólida total no Rio Taquari, com aumento de sedimentos mensurado na estação de Coxim (MS) (RISSO et al, 1997; PADOVANI et al, 1998). Estudos anteriores demonstram ainda que mudanças nos fatores externos podem causar respostas diversas e complexas nos sistemas fluviais (GREGORY, 2006). Tais respostas dependem da sensibilidade à mudança de cada sistema, que é a probabilidade ou potencial de um rio mudar para um novo regime comportamental após distúrbios nos fatores externos (FRYIRS, 2017).

4. Proposta de metodologia

Nesse projeto, serão utilizadas imagens e fotografias aéreas, para análise e quantificação das barras fluviais. Os dados utilizados serão organizados em um banco de dados georreferenciados em Sistema de Informações Geográficas (SIG), software QGis. Referentes ao ano de 1966 serão utilizadas fotografias aéreas disponíveis no site da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), e para o período de 1985 a 2015 serão obtidas imagens orbitais adquiridas pelo satélite Landsat. Para analisar a

evolução do desmatamento e atividade antropogênica entre os anos de 1985 a 2015 será utilizado o conjunto de dados do Projeto Mapbiomas, para gerar uma série histórica. O mapeamento das barras fluviais será realizado ao longo do Rio Taquari, desde a cidade de Coxim até 100 km à jusante (Figura 1), sendo feita interpretação das imagens após o mapeamento, a partir da quantidade de barras, tamanho relativo e o tipo de barra em relação ao canal (longitudinais e laterais), ao longo do trecho estudado. Os indicadores morfológicos mapeados serão confrontados com dados de desmatamento e mudança de uso da terra, sendo aplicadas análises estatísticas paramétricas e elaboração de gráficos, possibilitando a verificação se há ou não correlação entre os processos.

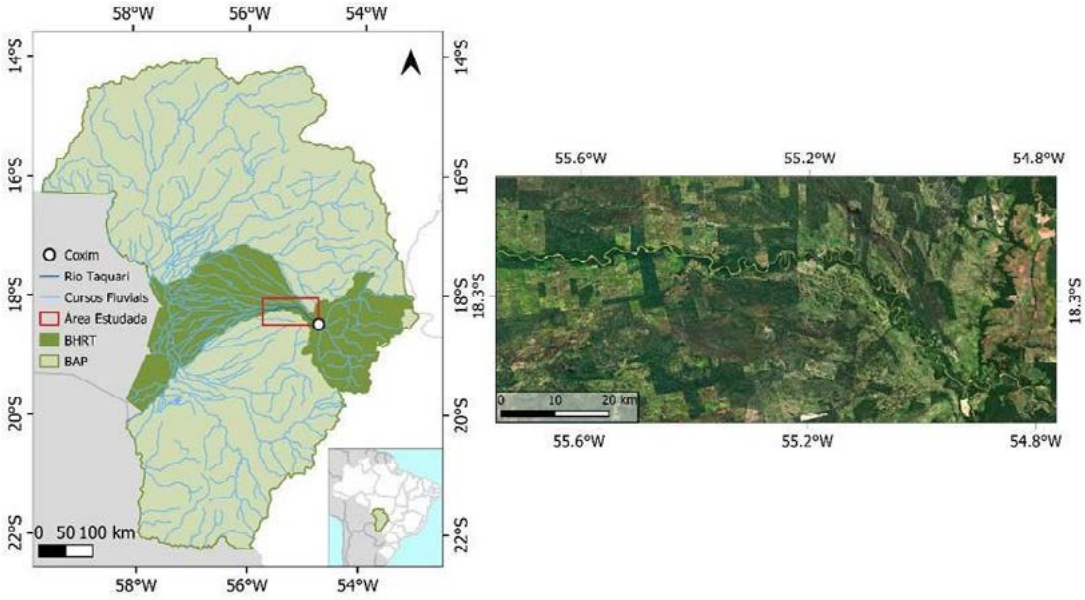


FIGURA 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari (BHRT) no contexto da Bacia do Alto Paraguai (BAP). Destaque para a trecho do cinturão de meandros localizado entre a cidade de Coxim até 100 km a jusante no Rio Taquari, que representa o objeto de estudo desse projeto (Imagem Landsat 8 OLI/TIRS - R4G3B2).
Fonte próprio autor, 2021.

5. Desafios/dificuldades

Como desafios para a realização deste projeto, pode-se citar a dificuldade na aquisição das imagens de satélite com a mesma cota hidrológica, medida fundamental para que as barras fluviais sejam comparadas ao longo da série temporal. Outro empecilho que pode ser encontrado é a dificuldade na obtenção de fotografias aéreas, para que seja feito o mapeamento da década de 1960/1970, isso se deve ao fato da escassez de um repositório nacional com dados públicos. No entanto, são poucas as dificuldades a serem enfrentadas, pois os produtos de sensoriamento e softwares utilizados são de livre acesso, e a série Landsat é bastante abrangente no tempo, possibilitando a execução do estudo.

6. Resultados esperados

A partir do mapeamento de barras fluviais ao longo da série temporal de 50 anos espera-se testar duas hipóteses: (1) a ampliação das áreas desmatadas na Bacia do Alto Taquari (BAT) aumenta o aporte de sedimentos das vertentes para o canal, aumentando continuamente a quantidade de barras fluviais; (2) o aumento das áreas desmatadas na BAT promove o aumento inicial da quantidade de barras fluviais, seguido pela estabilização e ou decréscimo do número e área de barras fluviais ao longo dos anos.

Agradecimentos

Beatriz Fernandes é bolsista de Iniciação Científica processo nº 2020/07432-7, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Fabiano Pupim agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (# 302411/2018-6).

Referências

BERGIER, I. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of the Total Environment**, 463, 1060-1066. 2013.

BIZZI, S., DEMARCHI, L., GRABOWSKI, R. C., WEISSTEINER, C. J., VAN de BUND, W. The use of remote sensing to characterise hydromorphological properties of European rivers. **Aquatic Sciences**, 78(1), 57-70. 2016.

CARVALHO, N.D.O. **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: CPRM, 372. 1994.

FRYIRS, K. A. River sensitivity: a lost foundation concept in fluvial geomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**, 42(1), 55-70. 2017.

GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari – Pantanal**. Corumbá. Embrapa Pantanal. 2006.

GREGORY, K. J. The human role in changing river channels. **Geomorphology**, 79(3-4), 172-191. 2006.

LATRUBESSE, E. M., AMSLER, M. L., DE MORAIS, R. P., & AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, 113(3-4), 239-252. 2009.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E.; FERREIRA, M. E.; NOGUEIRA, S. H.; WITTMANN, F.; DIAS, M. S.; ... & BAYER, M. **Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome**. Conservation Science and Practice, 1(9), e77. 2019.

PADOVANI, C. R.; CARVALHO, N. de O.; GALDINO, S.; VIEIRA, L. M. **Produção de sedimentos da alta bacia do Rio Taquari para o Pantanal.** Encontro De Engenharia de Sedimentos, 3., 1998, Belo Horizonte. Assoreamento de reservatório e erosão a jusante. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de RecursosHídricos.v.1. p.16-24. 1998.

RISSO, A.; BORDAS, M. P.; BORGES, A. L. Produção de sedimentos. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP**: hidrossedimentologia do Alto Paraguai. Brasília: MMA/PNMA,1997. v.2, t.2a, p271-307. 1997.

ROQUE, F. O., OCHOA-QUINTERO, J., RIBEIRO, D. B., SUGAI, L. S., COSTA-PEREIRA, R., LOURIVAL, R., & BINO, G. Upland habitat loss as a threat to Pantanal wetlands. **Conservation Biology**, 30(5), 1131-1134. 2016.

SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. New York, Wiley, 338 pg. 1977.

ESPACIALIZAÇÃO DAS ÁREAS CAFEEIRAS EM RELAÇÃO À ALTIMETRIA E DECLIVIDADE NOS MUNICÍPIOS DE GUAXUPÉ, JURUAIA E MUZAMBINHO NO SUL DE MINAS GERAIS

Renê Lepiani Dias
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – Campus Muzambinho Estrada de Muzambinho, km 35 - Bairro Morro Preto - Cx. Postal 02 – Muzambinho-MG - CEP: 37890-000
E-mail: rene.dias@muz.ifsuldeminas.edu.br

Resumo

Minas Gerais concentra, aproximadamente, 50% da produção cafeeira do Brasil, tendo o sul do estado como uma das áreas de maior produção. A área de estudo, representada pelos municípios de Guaxupé, Juruaia e Muzambinho, localizada no sul mineiro apresenta altos valores de cultivo. A produção cafeeira é um dos principais responsáveis pelo abastecimento econômico da população local, tendo importância histórica no desenvolvimento destes municípios. Objetivou-se neste trabalho examinar em termos quantitativos a espacialização das áreas cafeeiras em relação aos atributos físicos altimetria e declividade. O mapeamento foi realizado a partir de fotointerpretação de imagens de satélite Google Earth Pro e por meio de sobreposições cartográficas, subsidiados pela revisão bibliográfica. A partir dos resultados, verificou-se que o café predomina nas classes de 8 a 20% de declividade e de 1.000 a 1.100 metros de altitude. Este trabalho se faz importante devido ao potencial cafeeiro da área de estudo.

Palavras-chave: café; físico-natural; geoprocessamento.

1. Introdução

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2018), a produção da cultura cafeeira no Brasil é espacializada por diversas regiões no país, devido às diferentes características dos atributos físico-naturais, como clima, relevo, altitude, solo, entre outros. Segundo o autor citado, o Brasil é o país com a maior produção deste grão, além de ser o maior exportador de café do mundo, sendo, também, o segundo maior consumidor da bebida mundialmente.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2017), durante o período de 2008 e 2017, o Brasil foi responsável, por aproximadamente 32,38% da produção mundial de café, ocupando a primeira posição de países produtores desta cultura. Nesse mesmo período, o Brasil respondeu por 30,45% do total de café exportado no mundo, ocupando também a primeira posição mundial.

Do ponto de vista econômico, o café ocupa a quinta posição nas exportações brasileiras, sendo responsável por, aproximadamente, US$ 5,2 bilhões em 2017. A área de cultivo desta commodity é estimada em mais de dois milhões de hectares, tendo a participação de cerca de 300 mil produtores, com o predomínio de mini e pequenas produções, sendo cultivado em aproximadamente 1.900 municípios brasileiros, distribuídos de norte a sul do país, principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Bahia, Rondônia, Paraná, Rio de Janeiro, Goiás, Mato Grosso, Amazonas e Pará (MAPA, 2018).

Neste contexto, a cultura cafeeira caracteriza-se como uma das principais do agronegócio brasileiro, sendo responsável pela oferta e geração de empregos, diretos e indiretos, e é a principal fonte de receita de vários municípios, principalmente nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Bahia, que representam 92% da área total de plantio (CONAB, 2017).

A safra de produção cafeeira, em 2019, foi de aproximadamente 49,31 milhões de sacas beneficiadas, com um rendimento médio de, aproximadamente, 27,20 sacas/hectare. 34,30 milhões de sacas foram de produção de café do tipo arábica e 15,01 milhões de sacas do tipo conilon. O sul de Minas Gerais foi a região de maior produção cafeeira em 2019, com 13,98 milhões de sacas, representando 28,35% da produção nacional (CONAB, 2019).

Minas Gerais se destaca como o maior produtor de café arábica no Brasil durante os anos-safra 2008 e 2017, sendo responsável, em média, por 69% do total produzido (CONAB, 2017).

Para CONAB (2019), apesar da área de cultivo do café, na safra de 2019, ter apresentado uma redução de 26,7 mil hectares, em relação ao ano anterior, esta diferença tem sido compensada com os ganhos de produtividade a partir do uso de novas tecnologias desde o preparo da terra até a colheita, como o uso de novas variedades, adubação adequada, irrigação, entre outros.

De acordo com Burak *et al.* (2016), a interação dos atributos físico-naturais, como clima, solo, relevo, altitude, entre outros, é fundamental para que a produção e colheita sejam favoráveis, e que por consequência o fruto do café dê uma boa bebida. Assim, a produtividade está associada tanto aos aspectos tecnológicos, como por exemplo, melhoramento genético de plantas, biotecnologia, técnicas de plantio, cultivo e colheita, entre outras, assim como às condições edafoclimáticas locais e à forma de manejo utilizada.

Nesta perspectiva, os aspectos históricos, econômicos e físicos podem

sofrer alterações ao longo do tempo, e serem influenciadas por diferentes políticas de uso e ocupação da terra, requerendo assim dados e informações precisas e quantitativas atualizadas com frequência.

A produção de café no sul de Minas Gerais, localizada no Circuito Turístico das Montanhas Cafeeiras de Minas, é reconhecida internacionalmente como região cafeicultora de montanha, já que toda atividade cafeeira é realizada em áreas de alta declividade e altitude, sendo bastante diversificada, variando no tamanho da propriedade rural e na forma de produção (KAWAKUBO e MORATO, 2012).

Para Azevedo e Mangabeira (2001), o processo de levantamento e caracterização do uso da terra, torna-se mais acessível a partir da utilização de imagens de satélites, gerando dados e informações passíveis de serem geocodificados nos sistemas de informações geográficas.

Florenzano (2002) corrobora com estas afirmações, uma vez que o modo de realizar o levantamento de dados do uso da terra com confiabilidade é por meio do uso de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto, uma vez que os imageamentos são atualizados com regularidade e frequência. Consoante a isto, Rosa (2003) destaca que o uso do sensoriamento remoto é importante para o mapeamento dos diversos usos da terra, já que a obtenção de dados pode ser realizada de forma global, confiável, rápida e repetitiva.

Deste modo, o uso de imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth Pro para identificação das áreas cafeeiras é fundamental, uma vez é possível adquirir imagens coloridas, atualizadas e com alta resolução espacial de maneira simples e gratuita.

Considerando o exposto acima, este trabalho justifica-se para compreender a contribuição dos atributos físico-naturais para a espacialização da cultura cafeeira dos municípios de Guaxupé, Juruaia e Muzambinho, localizados no sul de Minas Gerais.

Assim, este trabalho tem como objetivo identificar as áreas homogêneas a partir da associação e cruzamento do mapeamento das áreas cafeeiras com as classes de altimetria e declividade, para quantificação do parque cafeeiro da área de estudo, visto que o conhecimento da espacialização das lavouras de café é importante para auxiliar a administração local, além de direcionar políticas públicas voltadas para este setor, em prol dos produtores.

2. Área de Estudo

Os municípios de Guaxupé, Juruaia e Muzambinho estão localizados no sul de Minas Gerais entre as coordenadas geográficas 21º09’ e 21º30’ de latitude sul, 46º24’ e 46º45’ de longitude oeste. (Figura 1).

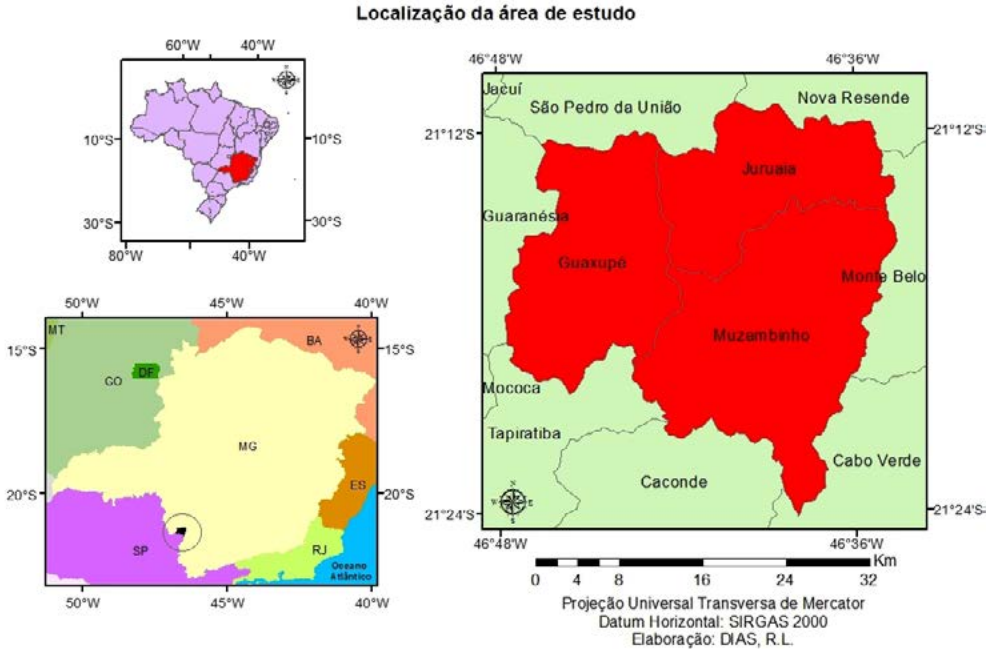


FIGURA 1: Localização da área de estudo.
Fonte: Arquivo do autor.

A atividade cafeeira é a principal produção agrícola da região, sendo de suma importância em termos histórico e socioeconômico para o desenvolvimento local, além de ter direcionado as alterações da paisagem, principalmente no campo.

A estrutura fundiária da área de estudo é representada, em sua grande maioria, por minifúndios e pequenas propriedades, correspondendo aos produtores que são em sua grande maioria pequenos produtores familiares, com nível tecnológico de médio a alto em suas lavouras.

Os munícipios da área de estudo estão entre os 50 maiores produtores de café de Minas Gerais, de acordo com IBGE (2020), sendo que o mesmo é o principal responsável pela maior parte do PIB agropecuário.

De acordo com a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural-MG (EMATER) (2020), no ano de 2018, Guaxupé apresentou uma produção de 90 mil sacas de café; enquanto que Juruaia com 138 mil sacas de café; e Muzambinho com 174 mil sacas desta commodity.

O PIB agropecuário de Muzambinho, em 2017, correspondeu a 46 milhões de reais, enquanto que Guaxupé e Juruaia apresentaram valores de 29 milhões de reais (IBGE, 2020).

Guaxupé se destaca na comercialização do café em grão ao sediar a Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda (Cooxupé), considerada uma das maiores do mundo, e a Exportadora de Café Guaxupé, que apresenta expressão na comercialização em nível nacional e internacional.

Em relação aos atributos físico-naturais, a área de estudo é localizada no Planalto Dissecado do Sul de Minas, caracterizada, segundo ALAGO (2013), por sucessão de morros, colinas e serras mais elevadas, serras baixas e morros baixos com vertentes convexas, com cotas altimétricas entre 800 a 1.230 metros.

Geologicamente, a área de estudo encontra-se na Província Mantiqueira Central, representada pelo Domínio Socorro-Guaxupé e Complexo Varginha--Guaxupé, caracterizada pela associação de rochas cristalinas com diferentes idades, resultadas de uma combinação de rochas do tipo gnaisses e granitos, limitados nos setores sul e norte por falhas de empurrão, sendo sobrepostas por coberturas detríticas e depósitos colúvio-aluvionares (ALAGO, 2013).

No levante de dados correspondentes à pedologia, segundo a UFV (2010), ocorre o predomínio de solos profundos e bem drenados. Verifica-se a maior presença de solos do tipo Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Háplico.

A vegetação da área de estudo é caracterizada pelo domínio de Floresta Estacional Semidecidual, em que se verifica uma transição dos biomas Mata Atlântica e Cerrado.

Segundo ALAGO (2013), em relação aos aspectos climáticos, a área de estudo apresenta o clima tropical de altitude, principalmente nos municípios de Muzambinho e Juruaia, caracterizado por ser mesotérmico, úmido com chuvas torrenciais e orográficas. Em Guaxupé, verifica-se o predomínio do clima tropical úmido com temperaturas amenas com pouca variação, chuvas concentradas no verão e período seco no inverno.

3. Metodologia

A análise desta pesquisa foi conduzida com intuito de verificar as influências das formas de relevo e tipos de solos na espacialização das lavouras cafeeiras da área de estudo, a partir da relação altimetria-declividade com o uso da terra, com o subsídio de discussões teóricas, que auxiliaram a compreensão das relações entre a geomorfologia/pedologia e as áreas de café.

O recurso metodológico adotado como condutor deste trabalho está pautado no método sistêmico, fundamental para Geografia Física. Na perspectiva geossistêmica, conforme apontam Vicente e Perez Filho (2003), dentro dos estudos geográficos é necessário compreender a relação e interação dos componentes naturais e antrópicos, ao longo do tempo, estudo que não deve ser realizado de modo isolado, mas por meio da conexão entre eles.

Neste contexto, para atingir o objetivo deste trabalho, foi utilizada a proposta de Libault (1971) que define os quatro níveis da pesquisa geográfica, sendo eles: compilatório, correlatório, semântico e normativo, com intuito de melhor compreensão, sistematização e realização das atividades realizadas.

O nível compilatório, segundo Libault (1971), é o nível inicial, onde o primeiro passo reside na coleta dos dados da pesquisa, para posterior compilação dos mesmos. Tal etapa foi realizada a partir de pesquisas bibliográficas e cartográficas. Neste nível, realizou-se a revisão da literatura para levantamento das principais temáticas desta pesquisa e aquisição de informações em geral, o levantamento e interpretação de documentos cartográficos bases, como solo, geologia, altimetria, declividade, e consulta a imagens de satélite.

A seleção dos materiais cartográficos como cartas topográficas, mapas geológico, geomorfológico e pedológico, para interpretação das características físico-naturais da área de estudo, foi realizada a partir dos mapeamentos do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago de Furnas (ALAGO, 2013), Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (UFV, 2010), Programa mapeamento geológico do Estado de Minas Gerais - Projeto fronteiras de Minas Gerais (ZOGHEIB *et al.*, 2015) e interpretação das imagens satélites SRTM.

O segundo nível, correlatório, de acordo com Libault (1971), envolveu as atividades de correlação dos dados levantados no momento anterior. As atividades desenvolvidas foram a fotointerpretação das imagens de satélite Google Earth Pro, do ano de 2019, para identificação das áreas cafeeiras dos municípios de Guaxupé, Juruaia e Muzambinho, assim como a construção da base cartográfica, como a elaboração dos mapas temáticos (altimetria e declividade), a partir das imagens de satélite SRTM.

A partir de tais documentos, realizaram-se as primeiras correlações entre os atributos físico-naturais com as áreas cafeeiras. Os mapas altimétrico e de declividade foram elaborados no software ArcGIS 10.5, e tiveram como base o Modelo Digital de Elevação da área de estudo, e as classes de declividade foram determinadas a partir da proposta da Embrapa (1979).

O mapeamento, por meio da fotointerpretação visual das imagens de satélite Google Earth Pro (2019) das áreas cafeeiras, foi realizado a partir do método proposto por Panizza e Fonseca (2011), em três etapas, a saber: identificação, que estabelece uma simples leitura da imagem para estabelecer uma correlação entre os diferentes objetos a serem observados; determinação que tem por finalidade o desenvolvimento dos processos mentais - dedutivos e indutivos - para diferenciação entre os objetos; e por fim a interpretação que cria as correlações entre os elementos determinados na imagem. Segundo os autores citados, para alcançar tais etapas, utilizam-se os seguintes critérios: forma, tamanho, tonalidade, localização, textura e estrutura. O mapa das áreas cafeeiras foi elaborado no software ArcGIS 10.5.

Para Libault (1971), a terceira etapa, o nível semântico, refere-se à passagem da análise para a síntese das informações e mapeamentos elaborados nas etapas anteriores de forma objetiva, por meio da articulação dos fatores para cada caso particular. Nesta etapa, realizou-se a sobreposição dos mapeamentos elaborados para quantificar as áreas cafeeiras em diferentes classes de altitude e declividade.

Nesta etapa, as áreas cafeeiras foram sobrepostas aos mapeamentos das classes altimétricas e de declividade, para analisar e identificar as áreas homogêneas que representam a espacialização das lavouras em relação a estas duas variáveis.

De acordo com Rubira *et al.* (2019), estudos que buscam a relação entre as formas do relevo, como a declividade, com o uso da terra são fundamentais, uma vez que auxiliam o planejamento e aplicação de formas de manejos sustentáveis e produtivos, o que pode ser aplicado para a área de estudo.

No último nível, normativo, para Libault (1971) refere-se à síntese, ou seja, é o resultado final, o qual demonstrou os resultados, análises quantitativas e interpretações realizadas, além da documentação cartográfica síntese, sendo elaborado os mapas da relação café x altimetria e café x declividade.

4. Resultados e Discussões

A partir do mapeamento das áreas cafeeiras, identificou-se o plantio de 27.277,79 hectares da cultura de café nos municípios de Guaxupé, Juruaia e Muzambinho, representando 27,45% da área de estudo como um todo, mostrando a importância e influência do café sobre os aspectos histórico e socioeconômico local.

O café está distribuído em 8.238,25 ha em Guaxupé (30,20% da área cafeeira), 6.773,71 ha em Juruaia (24,83% da área cafeeira) e 12.265,83 ha em Muzambinho (44,97% da área cafeeira).

A interação dos atributos físico-naturais, como clima, solo, relevo, hidrografia, entre outros, é fundamental para uma boa safra produtiva, deste modo, a lavoura deve ser implantada nos setores de melhor aptidão agrícola, o que irá favorecer o desenvolvimento da planta.

A partir da sobreposição dos mapas (áreas cafeeiras, altimétrico e declividade) foram obtidos dados quantitativos quanto à espacialização das lavouras em relação às classes de altimetria e declividade (Figuras 2 e 3; e Quadro 1).

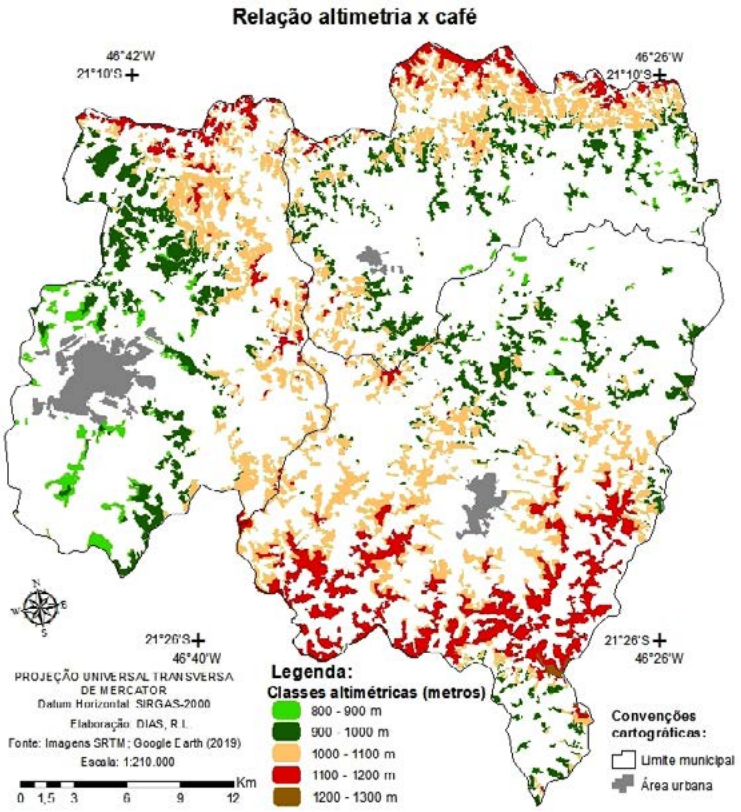


FIGURA 2: Relação altimetria x café
Fonte: Arquivo do autor.

Em relação aos aspectos altimétricos, é recomendável que o plantio seja realizado em cotas altimétricas superiores a 900 metros, de acordo com Matiello *et al.* (2005). Tal fator é justificado pela presença de geadas na região sul de Minas Gerais, principalmente durante o inverno, que atingem em sua grande maioria as áreas inferiores a 900 metros de altitude. A geada pode provocar a morte das plantas ou suas partes, como por exemplo, folhas, ramos e frutos, causando prejuízos ao agricultor.

Na área de estudo, apenas 4,69% das áreas cafeeiras estão localizadas em altitude inferior a 900 metros. Ocorre o predomínio da lavoura cafeeira na classe de 1.000 a 1.100 metros de altitude com 42,75%. Considerando o intervalo de 900 a 1.200 metros de altitude, verifica-se a espacialização de 94,97% desta cultura agrícola.

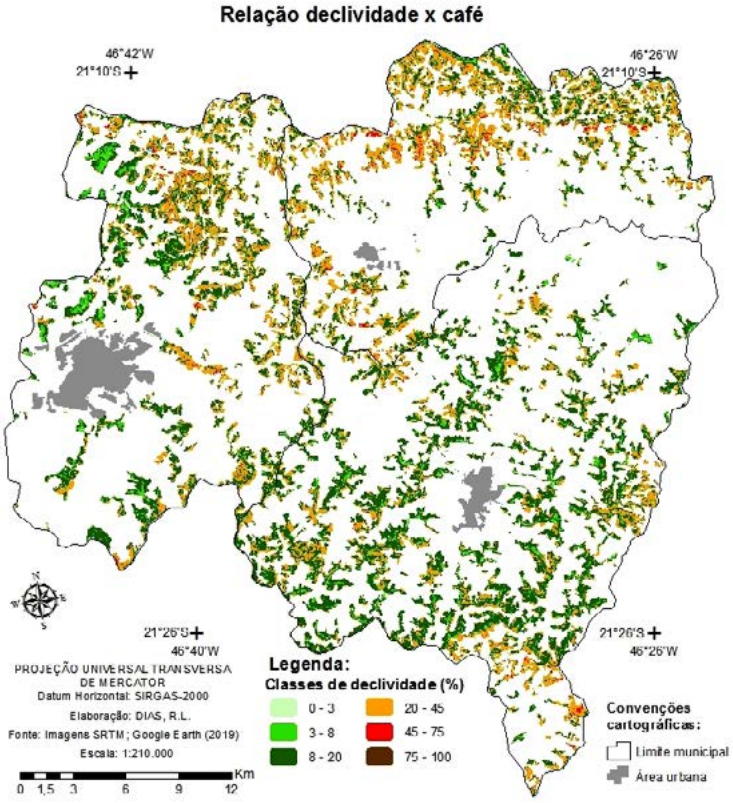
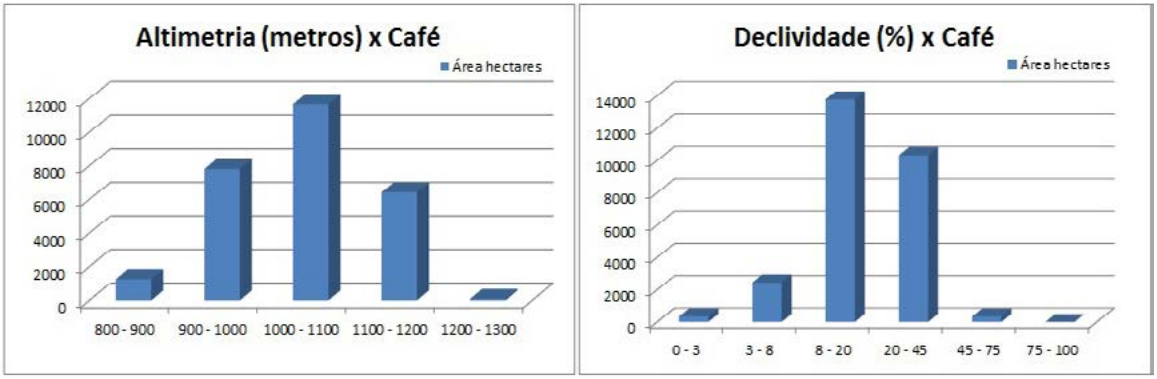


FIGURA 3: Relação declividade x café
Fonte: Arquivo do autor.

QUADRO *1*
Relação altimetria-declividade x café da área de estudo



Fonte: Arquivo do autor.

Em relação à declividade, de acordo com Silva *et al.* (2010), é recomendável que a produção cafeeira esteja localizada em declividades inferiores a 20%, uma vez que são áreas passíveis de serem mecanizáveis, aumentando o rendimento da colheita do café. Verifica-se que na área de estudo, 60,82% estão localizadas em áreas com declividades inferiores a 20%, das quais 50,48% estão no intervalo de 8 a 20%.

Devido às características geológicas e geomorfológicas locais, associadas ao contexto histórico de uso e ocupação das terras, as lavouras cafeeiras sempre estiveram presentes em declividades superiores a 20%, o que corrobora com a inserção da área de estudo no Circuito Turístico das Montanhas Cafeeiras de

Minas. Verifica-se que 37,89% da lavoura estão localizadas em declividade de 20 a 45%, caracterizado, segundo a Embrapa (1979) por ser um relevo forte ondulado. Acima de 45% de declive há o registro de apenas 1,29%, uma vez que o plantio não é recomendado por questões legais e técnicas.

Neste contexto, os produtores locais têm a preferência para áreas em que a mecanização seja possível, uma vez que as mesmas estão associadas a melhores rendimentos e consequentemente maiores lucros, além disto, percebe-se, também, a colheita semiautomática, com auxílio de maquinários e equipamentos, porém com a necessidade de muita mão de obra.

Logo, a partir do mapeamento e da espacialização das lavouras cafeeiras em relação aos atributos físico-naturais, altitude e declividade, verificou-se que há o predomínio da classe altimétrica de 1.000 a 1.100 m (42,75%) e da classe de declividade de 8 a 20% (50,48%) e 20 a 45% (37,89%).

5. Considerações Finais

A pesquisa apresentou dados quantitativos relevantes, os quais permitiram especializar a produção cafeeira a partir de dois aspectos físico-naturais (altitude e declividade) dos municípios de Guaxupé, Juruaia e Muzambinho no sul de Minas Gerais.

O estudo dos atributos físico-naturais possibilitou compreender a contribuição da altitude e declividade na espacialização das áreas cafeeiras, uma vez que ao longo do contexto histórico, as mesmas foram um dos fatores que direcionaram o uso e ocupação da terra na região.

A mesma mostrou como a lavoura é predominante em altitudes que variam de 1.000 a 1.100 metros e em declividades que variam de 8 a 20% na área de estudo, uma vez que a cultura cafeeira se adapta melhor a tais condições.

O uso de técnicas de geoprocessamento mostrou-se eficaz enquanto ferramentas de planejamento, sendo uma alternativa aos órgãos públicos para mapear seus territórios. Assim, este trabalho poderá dar maior conhecimento da espacialização das lavouras de café e ser importante no auxílio da atuação do governo local, além de direcionar políticas públicas voltadas para este importante setor.

Considera-se este estudo uma proposição para novas investigações que venham corroborar o aprimoramento de discussões futuras sobre a espacialização da cultura cafeeira no sul de Minas Gerais.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho – IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho pelos recursos disponibilizados para execução da pesquisa.

Referências

ALAGO. Associação dos Municípios do Lago de Furnas; FUPAI. Fundação de Pesquisa e Assessoramento a Indústria; IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas: **Relatório Parcial 1: Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago de Furnas**. Alfenas, n. 1, v.1, abril/2013.

AZEVEDO, E.C.; MANGABEIRA, J.A.C. Mapeamento de uso das terras utilizando processamento digital de imagem de sensoriamento remoto. **Circular Técnica Embrapa**, EMBRAPA CNPM - Campinas, v. 7, 2001.

BURAK, D.L.; SANTOS, D.A.; PASSOS, R.R. Variabilidade espacial de atributos físicos: relação com matéria orgânica e produtividade em café conilon. **Coffee Science**, v. 11, n. 4, 2016, p. 455-466.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Compêndio de estudos. A Cultura do Café: análise dos custos de produção e da rentabilidade nos anos-safra 2008 a 2017 CONAB**, v. 12, Brasília, 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. v. 5, n. 4 - Quarto levantamento, dezembro 2019 – Brasília: Conab, 2019.

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural-MG. Portal do Café de Minas. **Perfil Produtivo Municipal**. EMATER, 2020. Disponível em: <http://portaldocafedeminas.emater.mg.gov.br/#perfil-produtivo>. Acesso em 30 de janeiro de 2020.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002, 97p.

IBGE. **IBGE CIDADES**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: < https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/muzambinho/panorama>. Acesso em 30 de janeiro de 2020.

KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G. La floraison de plantation de café dans le sud de Minas Gerais. **Confins** (Paris), v. 1, p. 1-7, 2012.

LIBAULT, C.O.A. Os quatro níveis da pesquisa geográfica. **Métodos em questão**. Geografia – USP, São Paulo, n. 1, 1971, 14p.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil**. 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em 29 de janeiro de 2020.

MATIELLO, J.B., SANTINATO, R., GARCIA, A.W.R., ALMEIDA S.R., FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Ministério da Agricultura, da Pecuária e do Abastecimento, Brasília, DF (Brasil), 2005.

PANIZZA, A.C.; FONSECA, F.P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP**: espaço e tempo, n. 30, p. 30-43, 2011.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 5 ed., Uberlândia: EDUFU, 2003, 228p.

RUBIRA, F. G. *et al.* PEDOGEOMORPHOLOGICAL SYSTEMS IN THE INTERPRETATION OF THE EVOLUTION OF QUATERNARY LANDSCAPES IN HUMID TROPICAL CLIMATES. **Mercator**, Fortaleza, v. 18, oct. 2019. ISSN 1984-2201. Available at: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e18020>. Date accessed: 26 may 2021. doi: https://doi.org/10.4215/rm2019.e18020.

SILVA, F.M., REZENDE, F.A.; ALVES, H.M.R., ALVES, M.C., MOREIRA, M.A., SILVA, A.C. Potencialidade de mecanização da região Sul e Sudoeste de Minas Gerais, visando a lavoura cafeeira. In: Simpósio Mecanização da Lavoura Cafeeira, 10., 2010, Três Pontas. **Anais**... Lavras: UFLA/DEG, 2010, p. 73-80.

UFV, Universidade Federal de Viçosa – Departamento de solos – DPS/LABGEO. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**, Escala 1: 600.000, UFV, Viçosa, 2010.

VICENTE, L.E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **Revista Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 03. p. 323-344, set/dez, 2003.

ZOGHEIB, F.F.; NOVO, T.A.; DEGLER, R.; MARTINS, L.C.D. **Folhas Guaxupé e Nova Resende**. Escala 1:100.000. Programa Mapeamento Geológico do Estado de Minas Gerais - Projeto Fronteiras de Minas – CODEMIG/UFMG. Belo Horizonte, UFMG, 2015.

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARAGUAI E PANTANAL

Stefania Cristino de Oliveira
Universidade de São Paulo – USP, Instituto de Geociências
Rua do Lago, nº562, Cidade Universitária, CEP: 05508-080, São Paulo - SP
E-mail: stef.oliveira@yahoo.com.br
Renan Cassimiro Brito
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, Departamento de Ciências Ambientais
Rua São Nicolau, nº210, Centro, CEP: 09913-030, Diadema - SP
E-mail: renan.cassimiro@unifesp.br
Fabiano do Nascimento Pupim
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, Departamento de Ciências Ambientais
Rua São Nicolau, nº210, Centro, CEP: 09913-030, Diadema - SP
E-mail: f.pupim@unifesp.br

1. Introdução

Este trabalho parte da hipótese de que a partir da década de 1960 a intensificação das atividades antropogênicas nas terras altas da Bacia do Rio Paraguai (BAP) desencadeou uma série de processos capazes de alterar significativamente a dinâmica dos sistemas fluviais e o funcionamento da planície do Pantanal (ZEILHOFER; MOURA, 2009; ROQUE et al., 2016; SCHULZ et al. 2019). A perturbação humana na região dos planaltos da BAP introduz uma fonte de mudança que é estranha às condições geomórficas e bióticas dos rios, visto que, altera a transferência de sedimentos de montante a jusante nos sistemas fluviais (BRIERLEY; FRYIRS, 2005). Desta forma, sendo o Pantanal uma bacia sedimentar ativa, preenchida por um amplo trato deposicional dominado por sedimentação aluvial (ASSINE et al., 2015), é imprescindível o monitoramento do transporte de sedimentos em suspensão para identificação correta das fontes de produção e alterações da carga sedimentar ao longo do tempo.

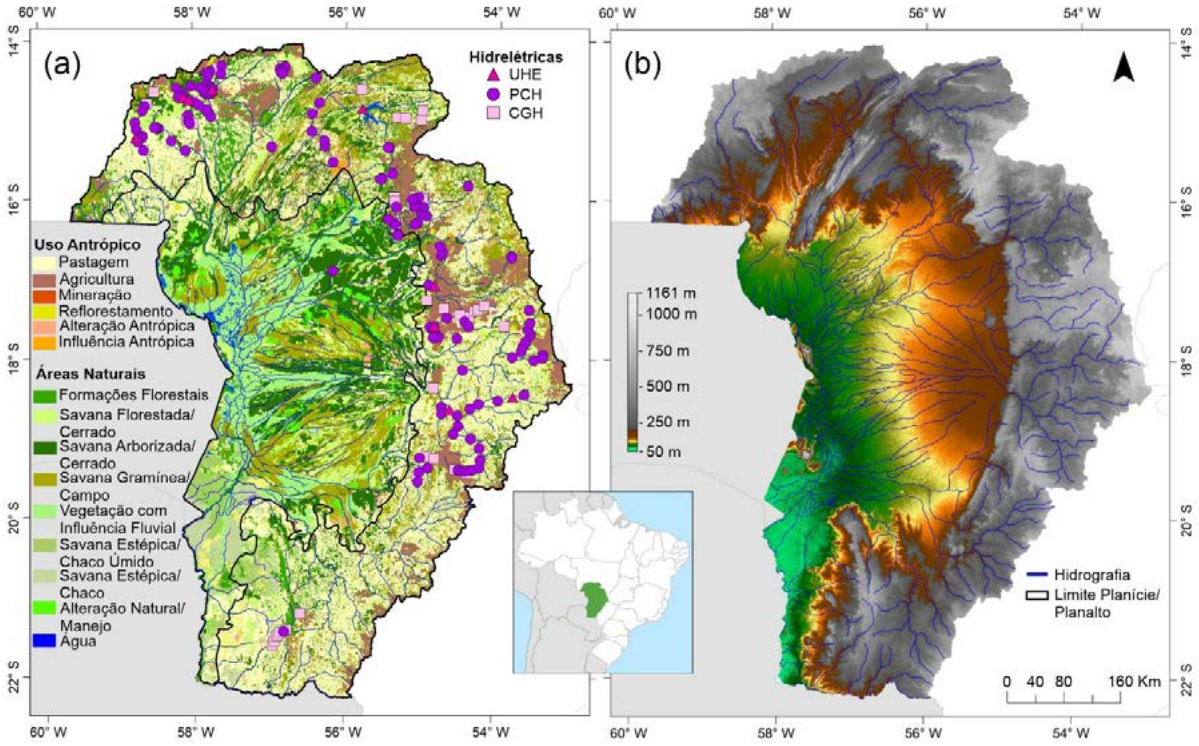


FIGURA 1 – Localização da área estudada. A) Mapa de uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraguai (SOS PANTANAL; WWF-BRASIL, 2015) com as localizações das hidrelétricas (ANA, 2019); B) Modelo Digital de Elevação (SRTM, 90m) diferenciando a área do planalto da planície pantaneira.

2. Objetivos

O objetivo desta pesquisa é estimar a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) nos principais rios que drenam a Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai a partir da integração de dados coletados *in situ* de estações hidrológicas e dados de sensoriamento remoto em uma séria histórica. Esses dados possibilitarão avaliar se há correlação entre mudanças no uso da terra e CSS desde pelo menos o ano de 1985 até o presente.

3. Referencial Teórico

Dentre as muitas atividades humanas desenvolvidas na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, como o aumento de áreas agrícolas e mineração (GALDINO et al, 2006; ZANI et al., 2012; BERGIER, 2013; ANA, 2020), há grande potencial de alteração da produção de sedimentos, morfologia dos rios e regime de inundação das planícies, proporcionando desequilíbrios ao longo dos sistemas (GOUDIE, 2006). Atualmente, as maiores modificações da paisagem são as construções de barragens hidrelétricas que podem gerar consequências indesejáveis para a integridade hidrológica e para o ecossistema pantaneiro, incluindo efeitos sobre o regime de fluxo natural, conectividade hidrológica e sedimentar (SILVA et al., 2019; JARDIM et al., 2020, ELY et al., 2020; FANTIN-CRUZ et al., 2020; CAMPOS et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2020).

Neste contexto, a estimativa da CSS por sensoriamento remoto é interessante pois, facilita o monitoramento sistemático em grandes bacias hidrográficas e pode fornecer informações sobre as variações de CSS e seus propulsores, como por exemplo, atividades de mineração e barragens hidrelétricas (MONTANHER et al, 2014; LOBO et al., 2015; DETHIER et al., 2019). O método tem como a premissa de que a reflectância espectral varia em função da CSS, ou seja, à medida que aumenta a CSS na água há um aumento de retroespalhamento da radiação eletromagnética (REM), e consequentemente um aumento da reflectância no corpo d'água (MONTANHER et al. 2014).

Atualmente, o desenvolvimento da plataforma Google Earth Engine (2019) trouxe como vantagem a utilização de processamentos geoespaciais baseados em nuvem com rápido acesso e dados orbitais de diferentes missões, incluindo o Sistema Landsat (BOOTHROYD et al., 2021). O acervo de imagens Landsat é a maior ferramenta de monitoramento da superfície terrestre da história do sensoriamento remoto (WULDER et al., 2019), e tem sido utilizado para a estimar CSS em diversos rios do mundo (OVEREEM et al., 2017; DENG et al., 2020; FLORES et al., 2020).

4. Proposta metodológica

Os dados de CSS *in situ* serão obtidos nas bases de dados da Agência Nacional das Águas ANA (http://hidroweb.ana.gov.br/), coletados periodicamente em estações hidrológicas. Após seleção das estações é realizada a busca por imagens orbitais que abrangem as estações hidrológicas e que apresentem datas próximas à coleta de campo. Serão utilizadas imagens de satélite e conjunto de dados geoespaciais disponíveis na plataforma Google Earth Engine (2019). Neste caso, o Sistema Landsat é uma ótima opção, pois apresenta ampla escala espacial e longa série histórica (será utilizado imagens a partir de 1985 com o lançamento do Landsat 5 MSS/TM até os dias atuais com o Landsat 8 OLI/TIRS). Para cada imagem com respectiva coleta em campo é definida uma área de amostragem entre 11x11 e 21x21 *pixels* da superfície do rio próximo à estação hidrossedimentométrica, evitando-se a amostragem em locais de águas rasas com efeitos de fundo, mistura espectral com margens e bancos de areia, presença de nuvens e ruídos proveniente de problemas de imageamento (MONTANHER et al., 2014).

A análise de regressão é o método usualmente utilizado para expressar a relação entre a REM refletida e a CSS, na qual a variável dependente (CSS) possa ser estimada em função de uma ou mais variáveis independentes (DETHIER et al., 2020). Neste trabalho, serão utilizadas como variáveis independentes contínuas as bandas e razões entre bandas, e como variáveis independentes categóricas as estações hidrossedimentológicas (MONTANHER et al., 2014; CREMON et al., 2019).

5. Desafios/Dificuldades

Para atingir o objetivo proposto desafios devem ser alcançados: 1) Coletar dados suficientes quase simultâneos de sensoriamento remoto e *in situ*; 2) Avaliar se um único modelo é adequado para toda a bacia ou se serão necessários modelos regionais; 3) Obter um algoritmo versátil para modelagem empírica, ou seja, adaptável a outras bacias hidrográficas.

6. Resultados esperados

A integração dos dados *in situ* e imagens de satélites possibilitarão estudar a distribuição da carga sedimentar em suspensão com rapidez, baixo custo e logística simples, o que resultará em uma maior distribuição de amostragem temporal e espacial.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa número 88887.475867/2020-00 concedida à Stefania C. de Oliveira.

Referências

ANA. Agência Nacional de Água. **Hidroeletricidade**. 2019. Disponível em: https://www.ana.gov.br/usos-da-agua/hidroeletricidade.

ANA. Agência Nacional de Água. **Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai – PRH Paraguai**. C.5 Elaboração de Estudos de Avaliação dos Efeitos da Implantação de Empreendimentos Hidrelétricos na Região Hidrográfica do Rio Paraguai. Brasília: Agência Nacional de Águas-SPR. 2020.

ASSINE, M. L., MERINO, E. R., PUPIM, F.N., MACEDO, H. A., SANTOS, M. G. M. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, p. 475-489, 2015.

BERGIER, I. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. ***The Science of the total environment**, v. 463-464,* p. 1060-1066, 2013.

BOOTHROYD, R. J., WILLIAMS, R. D., HOEY, T. B., BARRETT, B., PRASOJO, O. A. Applications of Google Earth Engine in fluvial geomorphology for detecting river channel change. **WIREs Water**. V. 8, n. 21496, p. 1-27. 2021.

BRIERLEY, G. J., FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management**: Applications of the River Styles Framework. Oxford, Blackwell, 2005.

CAMPOS, M. M., TRITICO, H. M., GIRARD, P., ZEILHOFER, P., HAMILTON, S. K., AND FANTIN-CRUZ, I. Predicted impacts of proposed hydroelectric facilities on fish migration routes upstream from the Pantanal Wetland (Brazil). **River Res. Appl**., v. 36, p. 452–464. 2020.

CREMON, E. H., SILVA, A. M. S., MONTANHER, O. C. Estimating the suspended sediment concentration from TM/Landsat-5 images for the Araguaia River – Brazil. **Remote Sensing Letters**, v. 11, n. 1, p. 47-56, 2020.

DENG, X., SONG, C., LIU, K., KE, L., ZHANG, W., MA, R., ZHU, J., WU, Q. Remote sensing estimation of catchment-scale reservoir water impoundment in the upper Yellow River and implications for river discharge alteration. **Journal of Hydrology**, v. 585, p. 1-15, 2020.

DETHIER, E. N., SARTAIN, S. L. LUTZ, D. A. Heightened levels and seasonal inversion of riverine suspended sediment in a tropical biodiversity hot spot due to artisanal gold mining, **P Natl Acad Sci USA**, v. 116, n. 48, p. 23936-23941, 2019.

DETHIER, E. N., RENSHAW, C. E., MAGILLIGAN, F. J. Toward improved accuracy of remote sensing approaches for quantifying suspended sediment: Implications for suspended-sediment monitoring. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 125, p. 1-54. 2020.

ELY, P., FANTIN-CRUZ, I., TRITICO, H. M., GIRARD, P., KAPLAN, D. Dam-Induced Hydrologic Alterations in the Rivers Feeding the Pantanal. **Front. Environ. Sci.**, v. 8, p. 1-17, 2020.

FANTIN-CRUZ, I., OLIVEIRA, M. D., CAMPOS, J. A., CAMPOS, M. M., SOUZA, R. L., MINGOTI, R., SOUZA, M. L., PEDROLLO, O., HAMILTON, S. K. Further Development of Small Hydropower Facilities Will Significantly Reduce Sediment Transport to the Pantanal Wetland of Brazil. **Front. Environ. Sci**., v. 8, n. 577748, p. 1-17, 2020.

FLORES, J. A., WU, J. Q., STÖCKLE, C. O., EWING, R. P., YANG, X. Estimating River Sediment Discharge in the Upper Mississippi River Using Landsat Imagery. ***Remote Sensing***., v. 12, n. 15, p. 1-24, 2020.

GALDINO, S., VIEIRA, L. M., PELLEGRIN, L. A. **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari-Pantanal**. Corumbá. Embrapa Pantanal. 2006.

GOOGLE EARTH ENGINE. **A planetary-scale platform for Earth Science Data & Analysis**. 2019. Disponível em: https://earthengine.google.com/.

GOUDIE, A. **The human impact on the natural environment**: past, present, and future. Oxford: Blackwell, 2006.

JARDIM, P. F., MELO, M. M. M., RIBEIRO, L. C., COLLINSCHONN, W., PAZ, A. R. A Modeling Assessment of Large-Scale

Hydrologic Alteration in South American Pantanal Due to Upstream Dam Operation. **Front. Environ. Sci**. v. 8, n. 567450, 2020.

LOBO, F. L., COSTA, M. P., NOVO, E. M. Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian waters impacted by gold mining activities. **Remote Sensing of Environment**, v. 157, p. 170-184, 2015.

MONTANHER, O. C., NOVO, E. M. L. M., BARBOSA, C. C. F., RENNÓ, C. D., SILVA, T. S. F. Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. **ITC Journal**, v. 29, p. 67–77, 2014.

MONTANHER, O. C., SOUZA FILHO, E. E., NOVO, E. M. L. M. Padrões espaciais do transporte, produção e variabilidade de sedimentos suspensos dos Rios Amazônicos de Águas Brancas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, p. 347-368, 2017.

OLIVEIRA, M. D., FANTIN-CRUZ, I., CAMPOS, J. A., CAMPOS, M. M., MINGOTI, R., SOUZA, M. L., FIGUEIREDO, D.M., DORES, E. F. G. C., PEDROLLO, O., HAMILTON, S. K. Further development of small hydropower facilities can alter nutrient transport to the Pantanal Wetland of Brazil. **Front. Environ. Sci**., v. 8, p. 1-17, 2020.

OVEREEM, I., HUDSON, B. D., SYVITSKI, J. P. M., MIKKELSEN, A. B., HASHOLT, B., BROEKE, M. R. VAN DEN., NOEL, B. P. Y., MORLIGHEM, M. Substantial export of suspended sediment to the global oceans from glacial erosion in Greenland. **Nat. Geosci.**, v. 10, n. 11, p. 859-863, 2017.

ROQUE, F. O., OCHOA-QUINTERO, J., RIBEIRO, D. B., SUGAI, L. S., COSTA-PEREIRA, R., LOURIVAL, R., BINO, G. 2016. Upland habitat loss as a threat to Pantanal wetlands. **Conservation Biology**, **30**(5), 1131-1134.

SCHULZ, C., WHITNEY, B. S., ROSSETTO, O. C., NEVES, D. M., CRABB, L., OLIVEIRA, E. C., SAITO, C. H. Physical, ecological and human dimensions of environmental change in Brazil's Pantanal wetland: Synthesis and research agenda. **Science of the Total Environment**, v. 687, p. 1011-1027, 2019.

SILVA, A. C. C., FANTIN-CRUZ, I., LIMA, Z. M., FIGUEIREDO, D. M. Cumulative changes in water quality caused by six cascading hydroelectric dams on the Jauru River, tributary of the Pantanal floodplain. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, n. 18, p. 1-12, 2019.

SOS PANTANAL., WWF-BRASIl. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai Porção Brasileira**. Período de Análise: 2012 a 2014. Brasília. 2015.

WULDER, M. A., LOVELAND, T. R., ROY, D. P., CRAWFORD, C. J., MASEK, J. G., WOODCOCK, C. E., ALLEN, R. G., ANDERSON, M. C., BELWARD, A. S., COHEN, W. B., DWYER, J., ERB, A., GAO, F., GRIFFITHS, P., HELDER, D., HERMOSILLA, T., HIPPLE, J. D., HOSTERT, P., HUGHES, M. J., HUNTINGTON, J., JOHNSON, D. M., KENNEDY, R., KILIC, A., LI, Z., LYMBURNER, L., MCCORKEL, J., PAHLEVAN, N., SCAMBOS, T. A., SCHAAF, C., SCHOTT, J. R., SHENG, Y., STOREY, J., VERMOTE, E., VOGELMANN, J., WHITE, J. C., WYNNE, R. H., ZHU, Z. Current status of Landsat program, science, and applications. **Remote Sensing of Environment**, v. 225, p. 127-147, 2019.

ZANI, H., ASSINE, M.L., MCGLUE, M.M. Remote sensing analysis of depositional landforms in alluvial settings: Method development and application to the Taquari megafan, Pantanal (Brazil). **Geomorphology**, v. 161-162, p. 82-92, 2012.

ZEILHOFER, P., MOURA, R. M. P. Hydrological changes in the northern Pantanal caused by the Manso dam: impact analysis and suggestions for mitigation. **Ecological Engineering**, v. 35, p. 105–117. 2009.

ESTRATÉGIAS PARA O PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE IPIAÚ-BA: CONSIDERAÇÕES SOBRE A DECLIVIDADE E A OCORRÊNCIA DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Sarah Andrade Sampaio
Universidade Estadual da Bahia - UNEB
Rua Silveira Martins, nº 2555. Cabula, Salvador – BA. CEP: 41150-000.
E-mail: sarahandradegeo@gmail.com
Sirius Oliveira Souza
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
Rua Tomas Guimarães, S/N, Bairro Santos Dummont. Senhor do Bonfim – BA. CEP: 48970-000.
E-mail: sirius.souza@univasf.edu.br
Felipe de Souza Reis
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
Rua Mario Gonçalves, nº 29. Senhor do Bonfim – BA. CEP: 48970-000.
E-mail: felipesouzareis01@gmail.com
Gabriel Carneiro Silva Cunha
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
Praça do Comércio, nº 884, Tijuaçu. Senhor do Bonfim – BA. CEP: 48970-000.
E-mail: gabriel.carneiro@discente.univasf.edu.br

Resumo

Ipiaú se desenvolveu às margens do rio de Contas e tem ocupado, paulatinamente, as faixas marginais de outros canais fluviais, áreas no entorno de nascentes, os topos de morros e encostas com declividade acentuada, as quais são classificadas como APPs. Este trabalho aponta como o mapeamento da declividade auxilia no desenvolvimento de estratégias para o planejamento do uso e ocupação da cidade de Ipiaú. Foi utilizada a base de dados da CONDER em escala 1:2000, referentes às curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados, convertidos em um MDE, seguido pela extração da declividade. Os resultados comprovam que 29,4% da zona urbana apresenta declividade de 0 a 3%, correspondentes aos fundos de vale às margens dos rios de Contas e Água Branca, classificando-se nas áreas sujeitas a risco de enchentes e inundações, e as áreas onde não é permitido o parcelamento do solo devido aos riscos de movimentos de massa, cuja declividade ultrapassa 30 %, concentram 10,1% da área total.

Palavras-chave: Planejamento Urbano; Áreas de Preservação Permanente; Declividade.

1. Introdução

No que concerne às transformações da superfície do terreno em função da demanda das ocupações humanas sobre o relevo terrestre, utilizando obras de engenharias urbanas ou rurais, Cunha (2003) afirma que dependendo do tamanho dessa intervenção, das práticas conservacionistas utilizadas e dos riscos geomorfológicos envolvidos, os impactos ambientais associados poderão causar grandes prejuízos ao meio físico e aos seres humanos.

O reconhecimento das características de maneira holística permite uma gestão mais eficiente, envolvendo planos de manejo das terras urbanas e rurais podendo retardar ou até mesmo impedir que processos nocivos ocorram sem previsões dos impactos. Sob a visão sistêmica, essencial ao planejamento integrado dos ambientes, os fatores naturais, como topografia, geologia, solos, clima e vegetação, podem iniciar os desequilíbrios que serão agravados pelos fatores antrópicos (CHRISTOFOLETTI, 2015).

Nesse contexto, sabe-se que a funcionalidade dos ambientes naturais é alterada pelas ações humanas em um ritmo mais intenso que aquele normalmente produzido pela própria natureza (ROSS, 2006). Em conformidade com essa linha de pensamento, Souza (2018) acrescenta que quando não planejadas, tais alterações proporcionam uma série de desequilíbrios funcionais, os quais, por exemplo, podem ser visualizados na maioria dos municípios situados ao longo de canais fluviais brasileiros. Estes, nas últimas décadas sofreram com a implantação imprópria de novas formas de uso e ocupação da terra.

Tais formas de uso, sobre as unidades topográficas, demandam de análises a respeito dos processos geomorfológicos e do delineamento avaliativo das áreas de riscos (CHRISTOFOLETTI, 2015). Com foco nesta pesquisa, as planícies fluviais, áreas colinosas e amorreadas caracterizam-se por serem consideradas impróprias ao assentamento humano por estarem sujeitas a riscos naturais ou decorrentes da ação antrópica.

Vale advertir que as áreas colinosas e amorreadas detêm encostas, e funcionam como sistemas abertos, cujas forças conflitantes de equilíbrio produzem superfícies curvas e inclinados que formam os contornos do relevo (FIERZ, 2016). Para Christopherson (2012), quando qualquer condição nesse equilíbrio é alterada, todas as forças sobre a encosta compensam por meio de um ajuste a um novo equilíbrio dinâmico. Tais ajustes são chamados movimentos de massa e ocorrem de maneira natural nos ambientes.

Devido ao fato de grande parte da superfície terrestre ser formado por encostas, sua ocupação, quando não planejada desconsidera a declividade dos ambientes, descumprindo a legislação ambiental e ocasionando em uma série de impactos negativos.

Diante do postulado, a declividade é definida por Burrough (1986) como um plano tangente à superfície, correspondendo à inclinação do terreno em relação ao plano horizontal, modificando-se conforme a elevação sobre a distância, cujos valores podem ser apresentados em graus ou porcentagens. Aspectos geológicos e pedológicos influenciam diretamente os valores de declividade no terreno, assim como ações antrópicas, a exemplo dos cortes em vertentes ou aterros (GUERRA, 2003).

Tendo em vista o fato de que, quanto maior a declividade, maior é a capacidade de transporte da água, responsável pelos processos erosivos que modelam as formas do relevo em ambientes tropicais úmidos (SILVEIRA et al, 2004), é válido destacar que esses ambientes também apresentam maiores riscos frente aos processos de movimentos de massa. Necessitando, portanto de planejamento do uso e ocupação do território, amparados pela legislação ambiental, consideradas como Áreas de Preservação Permanente.

No que se refere as Áreas de Preservação Permanente (APPs), estas são protegidas por lei, e incluem as faixas marginais de cursos d'água natural, as áreas no entorno de nascentes, em encostas, topo de morros e serras com declividades previstas no art. 4º do Código Florestal (BRASIL, 2012). A principal função ambiental das APP, segundo o Código Florestal é, entre outros, preservar os recursos hídricos, a estabilidade geológica e a biodiversidade e proteger o solo.

No entanto, a ocupação nessas áreas protegidas – sujeitas a enchentes, inundações e deslizamentos – gera diversos impactos, afetando não só aos habitantes dessas áreas, mas à dinâmica natural dos ambientes, ocasionando a perda da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, reduzindo a infiltração da água no solo e elevando a sua quantidade e a velocidade de escoamento, entre outras problemáticas (SANTOS; RUFINO; BARROS FILHO, 2017).

Configurando uma abordagem mais profunda, a consolidação de moradias e os processos de expansão urbana em APPs, somada à retirada completa ou de grande parte da cobertura vegetal arbórea, acarretam a erosão dos solos. A erosão é um processo de desagregação, decomposição, transporte e deposição de materiais de rochas e solos, que traz consequências como a perda de solos férteis, o assoreamento dos cursos d'água e a redução da produtividade das terras (GUERRA; CUNHA, 2003).

Nesse contexto, tendo como área de estudo a zona urbana do município de Ipiaú, na região Sul da Bahia, cuja população residente em área urbana é de 41.544 habitantes, no ano de 2019 (IBGE, 2019). Grande parte dessa população situa-se nas margens dos rios de Contas e do seu afluente, o rio Água Branca, assim como nas áreas de maior declive, em encostas e topos de morro, nas proximidades dos vales fluviais, sendo esse tipo de ocupação, comum em regiões com o domínio morfoclimático de mares de morros.

Diante das tais colocações, é importante considerar que as mudanças de uso e ocupação das terras executadas nos interflúvios e no alto das encostas, assim como nas áreas dos vales promovem um rápido desgaste e erosão nos solos. Quanto ao produto da erosão, Christofoletti (2015) aponta que os sedimentos afetam direta e indiretamente os ambientes de sopé das vertentes. Portanto, a implantação e o desenvolvimento das áreas urbanas devem acontecer de forma planejada, utilizando-se de informações acerca da declividade, cuja inserção altera as características e a dinâmica dos processos (CHRISTOFOLETTI, 2015).

Nesse sentido, este trabalho se legitima frente aos instrumentos da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelecida pela Lei Federal 12.608/2012 (BRASIL, 2012), que considera, entre seus princípios fundamentais, as ações de mapeamento e prevenção de áreas de ocorrência de escorregamentos, bem como sua integração às demais políticas setoriais, como as de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano e meio ambiente. Assim, o objetivo desta pesquisa foi realizar o mapeamento da declividade e a ocorrência das Áreas de Preservação Permanente, como um instrumento útil para subsidiar ações de planejamento na zona urbana do município de Ipiaú.

2. Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho compreende a zona urbana de Ipiaú, município da região Sul da Bahia (Figura 1), no limite com a mesorregião Centro-Sul baiana, entre os municípios de Jequié, Aiquara, Jitaúna, Itagibá, Barra do Rocha, Ibirataia e Apuarema. Ipiaú dista cerca de 355 km da capital do Estado e localiza-se entre os paralelos 14°7'2" S e 14º08'49"S e os meridianos 34°43' 10" W e 34º 45'23" W de Greenwich. Possui uma população estimada para o ano de 2019 de 45.873 habitantes, com mais de 90 % desta habitando áreas urbanas (IBGE, 2018).

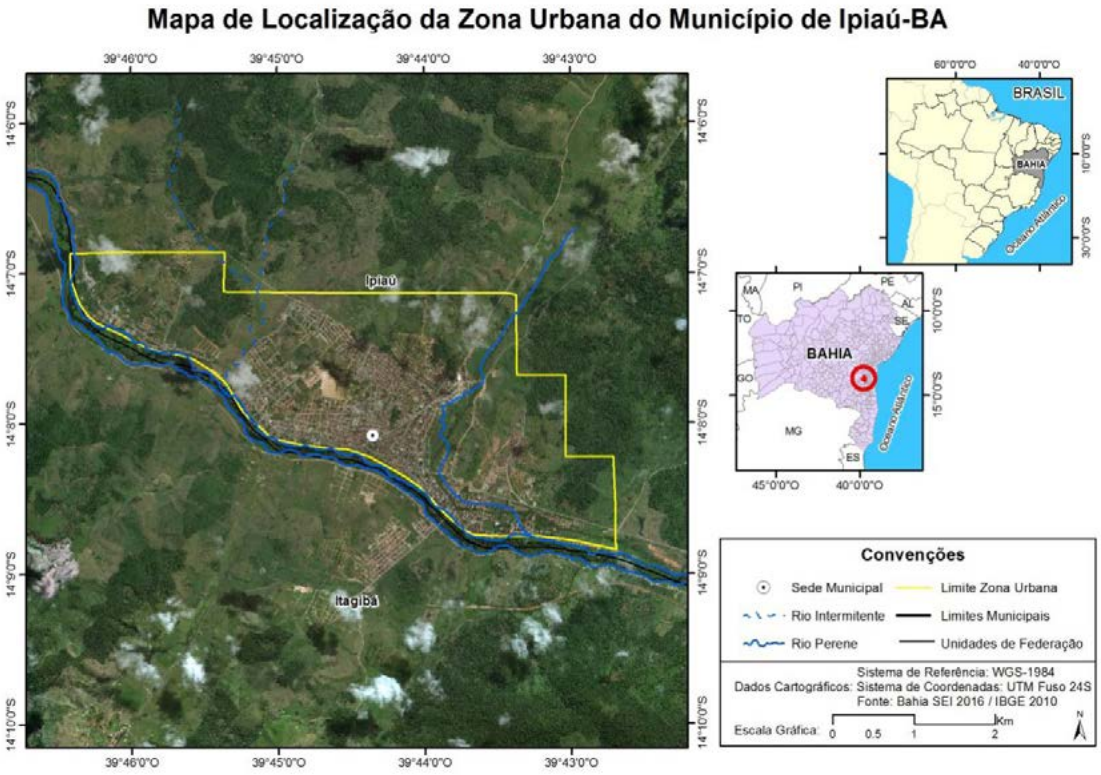


FIGURA 1: Mapa de Localização da Zona Urbana do Município de Ipiaú-BA
Fonte: Autores da pesquisa.

A Região Sul da Bahia, com foco no município de Ipiaú, possui valores consideráveis de pluviosidade, cujas médias anuais podem alcançar 1300 mm, e a temperatura pode variar de 20 a 29º C. E em muitos casos, a distribuição das espécies vegetais relaciona-se com as variáveis climáticas, particularmente no que se refere à sazonalidade das chuvas e temperatura nas regiões em determinados períodos (SANTOS; FRANÇA, 2009).

Os aspectos geológicos são apontados como condicionantes no arranjo do sistema natural, delineando o relevo, como as formas e ângulos de declividade das vertentes, concebem a geomorfologia fluvial, contribuem nas características pedológicas, e consequentemente, tais aspectos norteiam a ocupação demográfica e o desenvolvimento econômico. Assim, com foco na área de estudo, de acordo com levantamentos do IBGE (2010), o município possui uma litologia rica em Migmatito; Dacito, Riolito, Tonalito; Migmatito, Ortognaisse; Rochas metabásicas e Metaultrabásicas; Charnicktito, Enderbito, principalmente. Este tipo de composição geológica atribui alta fertilidade aos solos na maioria dos casos, assim como possuem estrutura de suporte para desenvolvimento de atividades antrópicas (CPRM, 2014).

No que concerne aos aspectos pedológicos, com levantamento realizado para a Região Sul da Bahia em 1975, pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), e adaptado em mapeamentos com foco no município de Ipiaú por Sampaio (2019), identifica-se duas principais classes na zona urbana: os Argissolos Vermelho-Amarelos e Chernossolos Argilúvicos. Os Argissolos apresentam horizonte B textural, horizonte A argílico, e estão presentes em áreas de relevo ondulado, com profundidade mínima 80 cm e máxima de 150 cm. Enquanto os Chernossolos Argilúvicos caracterizam-se por serem pouco profundos, com horizonte superficial A chernozêmico sobre horizonte B textural avermelhado, com

argila de atividade e saturação por bases alta, estando disponíveis nas proximidades do rio de Contas, onde se iniciou a ocupação antrópica, com agricultura e sistemas agroflorestais e posteriormente consolidação e urbanização da cidade. Quanto às limitações de uso desse tipo de solo, relacionam-se ao risco de erosão, pois apesar de terem textura argilosa a muito argilosa, geralmente ocorrem em relevo ondulado ou fortemente ondulado (EMBRAPA, 2019).

Ipiaú tem como principal fonte de abastecimento o rio de Contas e seu maior afluente dentro dos limites municipais, o rio Água Branca. O primeiro tem as cabeceiras na parte sul da Chapada de Diamantina, atravessa o estado da Bahia de oeste para leste, passando por áreas de vegetação natural de Caatinga, com intensa exploração agropecuária, atingindo seu trecho inferior, à jusante de Jequié, onde ocorrem remanescentes das matas de cacau (Cabruca) e de Mata Atlântica. (INEMA, 2016)

Segundo Santana (2003), a região Sul da Bahia está inserida no domínio da Mata Atlântica, composta em sua maior extensão pela Floresta Ombrófila Densa, favorecida pelo clima Tropical Úmido. Localizado no limite da Região Sul da Bahia, Ipiaú possui também, algumas características fitofisionômicas típicas de ambiente semiárido, como manchas de vegetação xeromorfa e presença de gramíneas entremeadas por plantas lenhosas (MMA, 2002).

Haja vista que os aspectos naturais impactam diretamente no contexto socioeconômico e no desenvolvimento dos diferentes tipos de uso das terras, considerando-se a relação homem-meio, durante muitos anos, a economia de Ipiaú permaneceu como essencialmente agrária, com cultivo de Cabruca, auxiliando na conservação florestal, porém, com as sucessivas crises da produção de cacau, o cenário econômico modifica-se. Conforme os indicadores de atividades econômicas do IBGE (2016), atualmente o setor de serviços possui a maior representatividade, com 73 % do total, seguido pelo setor industrial (12 %) e agropecuário (com aproximadamente 8%), afirmando então o seu caráter de centro de zona, prestando serviços para municípios circunvizinhos.

3. Metodologia

Baseada nos objetivos desta pesquisa, a metodologia foi dividida em três etapas principais: a primeira corresponde à revisão de literatura acerca dos temas de declividade, movimentos de massa, Áreas de Preservação Permanente, entre outros; a segunda, composta pelo levantamento de dados e elaboração do mapa de declividade e de APPs da zona urbana de Ipiaú, em ambiente SIG; a terceira etapa diz respeito à análise dos produtos e discussão dos resultados. Apresenta-se a seguir, o detalhamento dos principais procedimentos realizados.

Segundo Silva (2015), uso de modelos tridimensionais para visualização do terreno e estimativas de impactos ambientais são alguns exemplos de uso integrado de conhecimento geomorfológico em Sistemas Geográficos de Informações. Destarte, realizou-se o Mapa de Declividade da área urbana do município de Ipiaú-BA, utilizando dados de um levantamento altimétrico com escala 1:2.000 e intervalos de curvas de nível de 1m, realizado no ano de 2001, disponibilizados mediante solicitação oficial pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER, 2001).

Cabe acrescentar que este trabalho faz uso da delimitação de zona urbana proposta pelo IBGE (2010), a qual considera como área urbanizada toda área de vila ou de cidade, legalmente definida como urbana e caracterizada por construções, arruamentos e intensa ocupação humana; as áreas afetadas por transformações decorrentes do desenvolvimento urbano, e aquelas reservadas à expansão urbana.

Conforme a concepção de zona urbana, e tendo em vista o processo de ocupação e desenvolvimento populacional, o Mapa de Declividade da Zona Urbana de Ipiaú foi classificado seguindo legislação específica, prevista no artigo 3º da Lei nº 6.766/1979 (BRASIL, 1979), e baseou-se em Valente (1996) para a definição das classes.

Valente (1996) afirma que para a identificação das áreas com restrições ao uso urbano são inicialmente estabelecidas classes referentes ao maior ou menor grau de limitações físicas e legais oferecido pelo meio físico à ocupação urbana. Dessa forma, a Tabela 1 apresenta as classes de declividade adotadas, a descrição das classes com base na legislação e as cores correspondentes.

TABELA 1
Critérios para classificação da declividade

Classe	Porcentagem (%)	Descrição	Cor
Classe I	0 ⊢ 3	Áreas impróprias ao uso urbano tendo em vista a baixa capacidade de carga admissível dos solos existentes, com possibilidade de inundações indicados, no entanto para atividades agrícolas e de lazer.	Verde escuro
Classe II	3 ⊢ 15	Área favorável à ocupação urbana e edificações de habitação convencionais.	Verde Claro
Classe III	15 ⊢ 30	Área de urbanização sem restrições, podendo-se, no entanto, exigir a adoção de soluções técnicas para edificação de habitações.	Laranja
Classe IV	≥ 30	Aptidão insatisfatória ao uso residencial, sendo proibido o parcelamento do solo de acordo com Lei Federal 6766/79, salvo se atendidas exigências especiais quanto à preservação do meio físico.	Vermelho

Fonte: adaptado de Valente (1996) e BRASIL (1979).

Definidos os critérios de declividade seguindo a perspectiva das características locais, foram traçados os procedimentos metodológicos, adaptados de trabalhos de Souza, Oliveira e Lupinacci (2018), nos quais, a partir da cartografia base, elaborou-se um Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizando o software ArcGis™ 10.3. Os dados referentes às curvas de nível, a rede de drenagem e aos pontos altimétricos cotados foram congregados em um MDE utilizando a ferramenta 3D Analyst/Create/Modify TIN /Create TIN from Features.

Feita a criação do arquivo TIN (Triangulated Irregular Network, ou Rede Triangular Irregular), que consiste em um modelo digital criado a partir de curvas de nível, gerando modelo matemático com valores de altitude, o qual representa o espaço a partir de um conjunto de triângulos com tamanhos variados (VIVIANI; MANZATO, 2005). Foi feito um recorte para remoção das áreas sem curvas de nível, onde houve uma deformação no processo de triangulação, a partir da ferramenta Edit TIN.

Os valores dos níveis de altitude foram reclassificadas com o intervalo de 30 m, através da opção Properties/Symbology/Elevation. Cada um dos intervalos foi digitado no quadro Symbology, gerando um modelo hipsométrico do terreno, com 10 classes altimétricas. Cabe ressaltar que a área em estudo apresenta uma variação de altitude que abrange desde o valor de 120 até 241 metros.

Posteriormente, foi feita a conversão do formato TIN para Raster, a fim de calcular a declividade em percentagem. A ferramenta utilizada segue os comandos 3D Analyst/conversion/TIN to Raster no ArcToolbox, e se baseia no modelo tridimensional criado anteriormente para a criação do novo arquivo. Em seguida, foi gerada a declividade, a partir da ferramenta Declividade (Slope), ainda no 3D Analyst, selecionando o modelo de saída em Percent Rise. Ao final, o arquivo raster foi convertido para formato vetorial, na caixa de ferramentas Conversion Tools / To Shapefile, em entidade polígono, para que fossem feitos alguns ajustes e se extraíssem os valores das tabelas de atributos.

Sobre a classificação da declividade para elaboração de mapeamentos, De Biasi (1992) afirma que o autor do trabalho pode determinar os intervalos de maneira particular, mas, recomenda-se a utilização dos parâmetros já estabelecidos por lei para os diferentes usos e ocupação territorial. Dessa forma, foram então definidos os intervalos das classes para a área urbana de Ipiaú, na janela Layer Properties e as cores com base na literatura e legislações específicas supracitadas.

Para a elaboração do Mapa de APP da zona urbana de Ipiaú, foram atendidas as restrições de ocupação previstas no Capítulo II, Seção I, Art. 4º, Código Florestal (BRASIL, 2012). Para efeito dessa lei, considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura.

Foi utilizado o serviço World Imagery Basemap do ArcGIS, com imagens de alta resolução do ano de 2020 para a análise visual da imagem, foram definidas as classificações e então, traçadas as margens dos canais fluviais, gerando no menu Geoprocessing, um buffer de 100 m a partir do leito do rio Contas, e um de 50 m para o rio Água Branca. Essa classe foi identificada no mapa como linhas hachuradas.

Em sequência, foram identificadas as APPs de Topo de Morro, indicados na mesma legislação: "IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25º [...]" (BRASIL, 2012). Dessa forma, no mapa, os valores de declividade foram apresentados de zero a 25º; e valores maiores que 25º, identificadas com a cor vermelha correspondentes às APPs, utilizando a ferramenta Declividade (Slope), no 3D Analyst, selecionando o modelo de saída em Degree (graus).

4. Resultados e Discussões

A partir dos critérios e procedimentos descritos conforme a legislação abordada na metodologia da pesquisa, apresentam-se na Figura 2 e na Tabela 2 os resultados obtidos a partir da classificação da declividade:

TABELA 2
Declividade da zona urbana do município de Ipiaú-BA

Classe de Declividade	Área (km²)	Percentual da zona urbana (%)
Classe I (0 ⊢ 3)	3,46	29,4
Classe II (3 ⊢ 15)	4,93	41,9
Classe III (15 ⊢ 30)	2,19	18,6
Classe IV (≥ 30)	1,18	10,1
Total	11,76	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

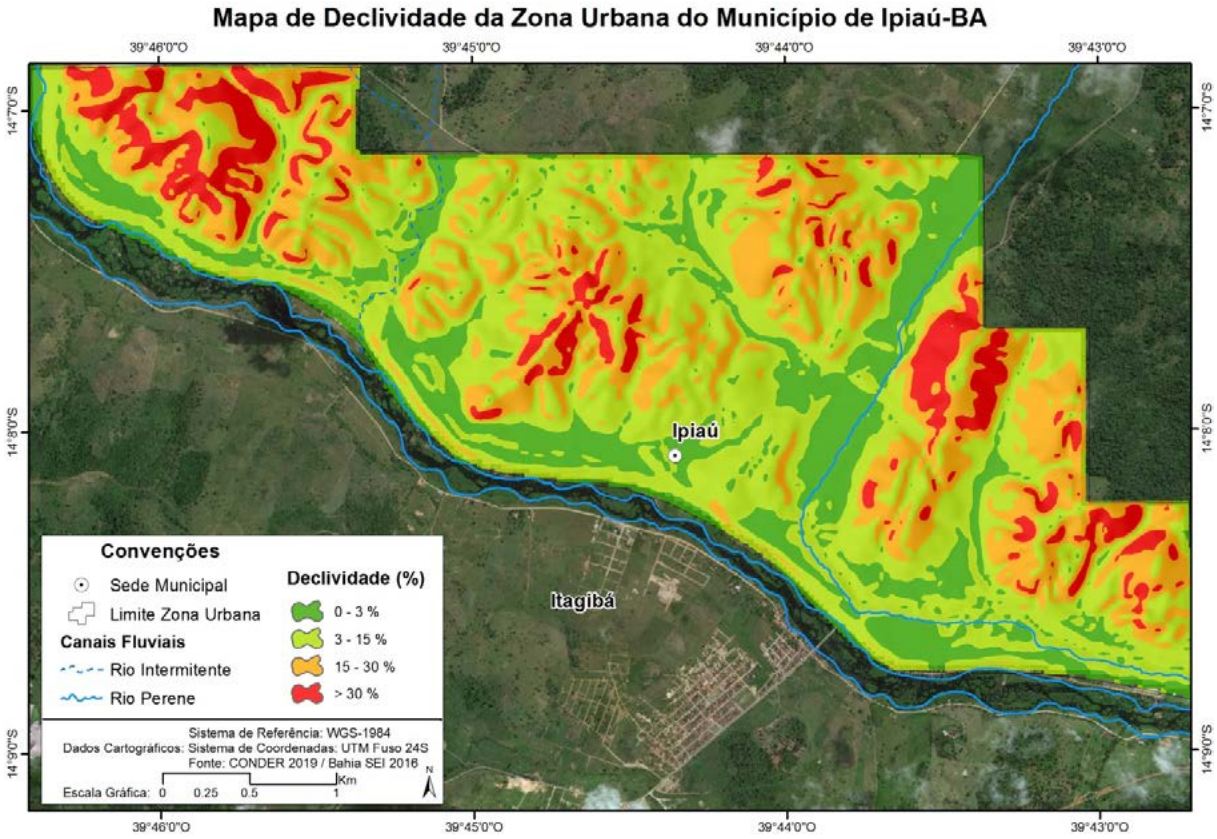


FIGURA 2: Mapa de Declividade da Zona Urbana do Município de Ipiaú-BA
Fonte: Autores da pesquisa.

Seguindo os critérios estabelecidos no artigo 3º da Lei nº 6.766/1979 (BRASIL, 1979), após determinar a declividade da área, pode-se observar que 29,4% da zona urbana apresenta declividade de 0% a 3%. Tais áreas correspondem aos fundos de vale, ambientes nos quais ocorreram as primeiras ocupações e consolidação do urbano, às margens dos rios de Contas e Água Branca, entre outros córregos intermitentes. Tal ocupação se dá nas áreas de planícies fluviais dos canais maiores, as quais estão sujeitas a risco de enchentes e inundações. Sobre esse aspecto, Christopherson (2012)

afirma que uma enchente é um nível de água incomum que ultrapassa os bancos naturais do rio ao longo do curso d'água, os quais são classificados estatisticamente de acordo com os intervalos de tempo de ocorrência, com base em dados históricos.

Grande parte da zona urbana (41,9% do total) possui declividade classificada entre 3 e 15 %, classe que segundo BRASIL (1979), é propícia para ocupação urbana e edificações de habitação convencionais. Tais áreas em Ipiaú foram ocupadas desde a fundação da cidade, principalmente nas áreas mais próximas aos canais fluviais, possibilitando o abastecimento direto, e como estratégia de ocupação, visto não são áreas com declive acentuado, assim como não são atingidas por cheias periódicas dos rios.

A terceira classe corresponde de 15 a 30% de declividade, ocupa 18,6 % da zona urbana de Ipiaú, e está concentrada nas vertentes dos morros. Está distribuída por toda zona urbana, e possuem diferentes processos de ocupação por diferentes classes sociais. Nas áreas mais próximas ao centro, as ocupações consolidadas são mais antigas, enquanto nas áreas dos morros adjacentes ao centro da cidade, a ocupação é mais recente. Segundo Christofoletti (2015), a ampliação das áreas urbanizadas diminui a infiltração das águas no solo, favorecendo o escoamento superficial, a concentração das enxurradas e a ocorrência de ondas de cheia, devido à construção de áreas impermeabilizadas. Como a terceira classe de declividade encontra-se nas vertentes, área de escoamento, a impermeabilização dos solos necessita de infraestruturas de escoamento de canais, tendo em vista os valores pluviométricos da região, podendo ocasionar efeitos adversos e imprevistos, no tocante ao uso das terras.

As áreas classificadas com a declividade maior que 30 %, nas quais não é permitido o parcelamento do solo (BRASIL, 1979), concentram 10,1% da área total. Nesses ambientes, as vertentes de maior declive demarcam áreas impróprias para o uso e ocupação humana, visto que o limite máximo para estes fica restrito aos 30% de inclinação por se tratarem de locais com certo risco natural de movimentação gravitacional de massa (VARGAS, 2015). Assim, caso haja o agravante da ação antrópica, sem um planejamento adequado, os processos de movimentos de massa podem tornar-se efetivos, variando entre movimentos lentos e/ou rápidos. No que concerne a esse tipo de processo, Guerra (2003) afirma que a força impulsora no movimento de massa é a gravidade, e quando associadas em conjunto com o peso, o tamanho e a forma do material de superfície; o grau em que a encosta excede seu ângulo de repouso; e a quantidade de umidade disponível, é suscetível que o material de superfície ceda aos processos de perda de massa.

No que concerne ao mapeamento das Áreas de Preservação Permanente, conforme os critérios e procedimentos descritos na Lei 12.652 de 2012, supracitada, os resultados obtidos apresentam-se na Figura 3.

Quanto às APPs, o Capítulo II, da Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012, determina que elas são consideradas como áreas protegidas, coberta ou não por vegetação nativa, pois possuem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Baseando-se no mapeamento de APP, toda a APP de cursos d'água do rio de Contas está urbanizada com construções consolidadas, enquanto nas outras faixas marginais dos cursos fluviais, os usos referem-se a pastagens, majoritariamente, ocorrendo poucos ambientes de área urbana consolidada. A área de estudo delimitada possui 134 hectares em faixas marginais curso d'água natural entre rios perenes e intermitentes, sendo ocupados irregularmente, esse valor representa pouco mais de 0,1 % da zona urbana.

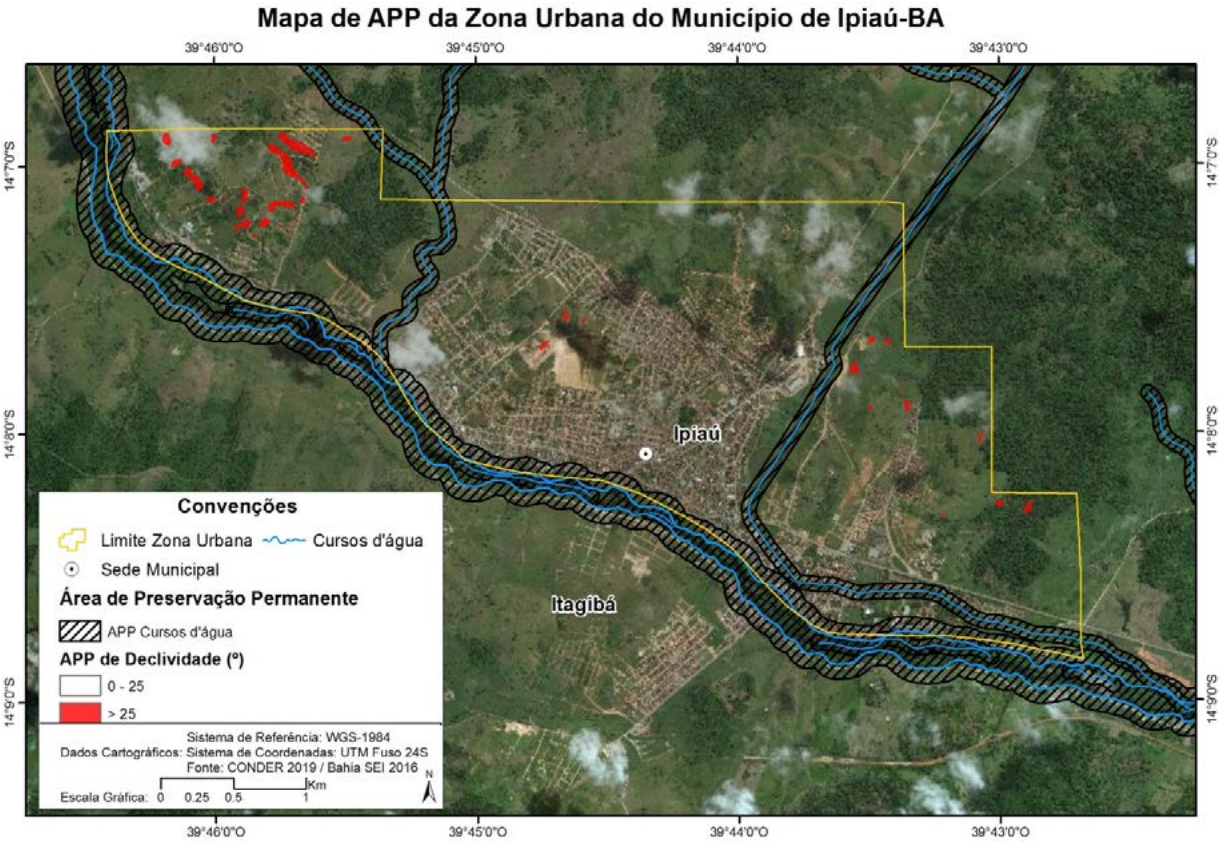


FIGURA 3: Mapa de APP da Zona Urbana do Município de Ipiaú-BA
Fonte: Autores da pesquisa.

Já nas APPs de declividade, que se referem aos topos de morros e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25º, a ocupação é recente, e caracterizam-se como áreas com tendência a expansão, visto que há a abertura de novos loteamentos e processos de terraplanagem. Essa classe de declividade ocupa uma área de aproximadamente, 12,3 hectares, com tendências a expansão.

Tais áreas, devido ao grau elevado de declividade, devem ser cobertas com florestas ou outras formas de vegetação, assim como as APPs dos cursos d'água, destinadas às finalidades de conter a erosão do solo e mitigar riscos de enchentes e deslizamentos de terra e de rocha, proteger várzeas e assegurar condições de bem-estar público, preservando os recursos hídricos e evitando problemáticas ambientais, como o assoreamento dos canais fluviais, entre outras consequências de alterações hídricas.

5. Considerações Finais

Este trabalho apontou a existência de dinâmicas de ocupação em áreas legalmente protegidas na zona urbana do município de Ipiaú. Tal ocupação possui característica histórica às margens dos rios, mas atualmente avança também sobre as áreas de maiores declividades, cujas principais consequências envolvem, além de alagamentos e enchentes, uma maior probabilidade de movimentos de massa e intensificação dos processos erosivos.

A partir das ações de mapeamento e prevenção de áreas de ocorrência de escorregamentos, bem como sua integração às demais políticas setoriais, como as de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano e meio ambiente, essa

pesquisa realizou o mapeamento da declividade e as Áreas de Preservação Permanente, apontando núcleos de ocupação irregular, contribuindo para a orientação da alocação e o assentamento das atividades humanas na cidade de Ipiaú, como um instrumento útil para subsidiar ações de planejamento.

O planejamento e a gestão urbana municipal devem considerar que a complexidade da ação dos agentes sociais resulta em um processo de reorganização espacial da cidade de Ipiaú, ao longo dos anos, intensificado após o êxodo rural da crise cacaueira, no final do século XX, e envolvem: a incorporação de novas áreas, a densificação do solo, a renovação urbana, a relocação diferenciada da infraestrutura e as dinâmicas sociais e econômicas de determinadas áreas da cidade.

Tal reorganização espacial deve respeitar os aspectos físicos ambientais, como a geologia, os tipos de solos sobre os quais se dão os assentamentos humanos, o tipo de clima local, as características hipsométricas e de declividade das áreas, de modo a evitar desastres ambientais e ocorrendo em perdas de vidas humanas, assim como, devem ser mantidas naturais as áreas protegidas pela legislação vigente. Desta forma, quanto maior o ângulo da encosta, maior atenção deve ser dada para os processos de ocupação sem planejamento e dinâmicas de expansão urbana.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Programa de Pós Graduação em Estudos Territoriais (PROET) e ao Núcleo de Estudos das Paisagens Semiáridas Tropicais (NEPST).

Referências

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011- 2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso: 4 jan. 2019.

_____. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Disponível em : <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm> Acesso em: 9 jan. 2020.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas**: Uma Introdução à Geografia Física. 7 ed. Bookman Editora, 2012.

CORRÊA, R. L. *et al.* **O espaço urbano**. São Paulo: Editora Ática, 1989.

CRISTOFFOLETTI. A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos. 13º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 474 p.

CUNHA, S. B. da. Canais fluviais e a questão ambiental. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, J. T.. **A questão ambiental**: diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2003. 250p.

FIERZ, M. M. A teoria do equilíbrio dinâmico em geomorfologia. **Geousp – Espaço e Tempo (Online),** v. 19, n. 3, p. 605-629, mês. 2016.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, J. T. **A questão ambiental**: diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2003. p. 248-248.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em:<https://censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 set. 2018.

INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hidricos. **CBH Contas**. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-contas/>. Acesso em: 10 out. 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SOUZA, C. M. M.; MONTERO, L. S.; LIESENBERG, V. Análise de urbani-

zação em áreas declivosas, como uma das etapas da Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), visando o desenvolvimento local. Anais. **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, p. 21-26, 2007.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 13º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 474 p.

ROLNIK, R. **O que é cidade**. Editora Brasiliense, 1988. 89 p.

ROSS, J.L, S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. 2006.

SAMPAIO, S. A. Caracterização física do município de Ipiaú-BA: Representação cartográfica como subsídio a análise ambiental. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 5, n. 1, p. 34-53, 2019.

SANTANA, S. O. de *et al.* **Zoneamento Agroecológico do Município de Ilhéus**, Bahia, Brasil. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico n. 186. 44p. 2003.

SANTOS, A.A.P. dos; FRANÇA, S. Caracterização espaço-temporal do regime pluviométrico da região sul da Bahia. p.14-33. 2009. **IX Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP Rio Claro**. Anais. Disponível em: <http://sites.google.com/site/seminarioposgeo/anais>. Acesso em: 23 mar. 2019.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande-PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro**, v. 22, n. 5, 2017. Disponível em: <http://submission.scielo.br/index.php/esa/article/view/146661>. Acesso em: 5 set. 2019.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SOUZA, S. O. **Proposta de zoneamento geoambiental como subsídio ao planejamento do uso e da ocupação na Região Costa das Baleias (Bahia)**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, SP, 2017.

SOUZA, S.O. ; OLIVEIRA, R.C.; LUPINACCI, C.M. Mapeamento da Declividade Enquanto Instrumento de Planejamento do Litoral Norte Paulista. **XII SINAGEO 2018 - Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Anais. Crato-CE, 2018.

VALENTE, A. L. S. Uso de SIG na determinação de áreas com restrições à ocupação urbana na sub-bacia do Arroio Feijó, RS. In: **Congresso e Feira para usuários de geoprocessamento**, 2. 1996, Curitiba. Anais. Curitiba: SAGRES, p.849-856, 1996.

VIVIANI, E.; MANZATO, G. G. Geração de modelos digitais de superfície por meio de plataformas computacionais com estrutura vetorial e raster. **Ciencia y Engenharia/Science and Engineering Journal**, p. 27-33, 2005.

ESTUDO COMPARATIVO DE DADOS CARTOGRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DO SALSO EM ROSÁRIO DO SUL/ RS

Gabriel Soares Cardoso
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM
Santa Maria-RS; Avenida Roraima; CEP: 97105-900
E-mail: gabri.soaresgeobg@gmail.com
Giorge Gabriel Schnorr
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM
Santa Maria-RS; Avenida Roraima; CEP: 97105-900
E-mail: giorgeschnorr@gmail.com
Franciele Delevati Ben
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM
Santa Maria-RS; Avenida Roraima; CEP: 97105-900
E-mail: francielidelevattiben@gmail.com
Anderson Augusto Volpato Sccoti
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM
Santa Maria-RS; Avenida Roraima; CEP: 97105-900
E-mail:asccoti2@gmail.com
Jhennifer Tais Vieira Habowski
Universidade Federal de Santa Maria-UFSM
Santa Maria-RS; Avenida Roraima; CEP: 97105-900
E-mail: jhennifer.vieirah@gmail.com

Resumo

Com o avanço tecnológico surgem diversas ferramentas na área do geoprocessamento para mapeamento e interpretação do espaço, os quais vem acrescentando no desenvolvimento de trabalhos, como imagens de satélite, softwares e SIG's. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é a análise de dados hidrográficos obtidos em duas fontes cartográficas distintas, na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso (BHAS), oeste do Rio Grande do Sul. Dessa forma, pode-se ter uma análise das bases cartográficas, foi utilizado o programa Qgis 3.16 com a Base Vetorial Contínua do RS na escala de 1:50.000 (Hasenack e Weber), e os dados extraídos através de um MDE do sistema sensor da missão SRTM com resolução de 30 metros. Assim pode-se destacar que as diversas ferramentas de SIG são bons parâmetros para análise hidrográfica e espacial trazendo um bom detalhamento. Os resultados foram positivos e acrescentam na interpretação do espaço da área de estudo.

Palavras-chave: Hidrografia, MDE, SIG.

1. Introdução

Com os avanços tecnológicos surgiram novos recursos e metodologias que nos auxiliam para a elaboração de projetos de ordenamento e planejamento espacial, além de trazer maior compreensão do ambiente e das relações ali estabelecidas, principalmente com o uso de SIG (Sistema de Informações Geográficas). Em uma bacia hidrográfica a dinâmica dos fluxos de matéria e energia fluem de forma sistêmica, fazendo com que uma análise quantitativa e qualitativa seja de total importância para esse entendimento. Nesse contexto surgem as diferentes tecnologias voltadas a tal análise, as quais vem se desenvolvendo de forma ascendente ao longo dos anos, fazendo com que os resultados melhorem de forma significativa. Em virtude do uso das tecnologias, os ambientes SIG proporcionam aos pesquisadores diferentes e diversas análises de determinadas áreas de estudo, viabilizando a apuração dos resultados.

A análise da hidrografia pode se dar por meio de diferentes ferramentas e bancos de dados, como a geração da malha hidrográfica através de um MDE (Modelo Digital de Elevação), geralmente obtido através de produtos de sensoriamento remoto, ou então, por meio de bases vetoriais, digitalizadas a partir de produtos da cartografia sistemática, como por exemplo de cartas topográficas.

Melo *et al.* (2020) geraram uma análise morfométrica através da delimitação de uma bacia com dados SRTM e retrabalhamento dos dados em SIG, assim como Sabino *et al*. (2017) que buscaram delimitar doze bacias hidrográficas a partir de um ponto de exutório específico.

Com base em dados vetoriais, Silveira, Trentin e Robaina (2017) desenvolveram uma análise de unidades de relevo com o uso da hidrografia da Base Vetorial. Em termos de estudos comparativos de bases cartográficas, têm-se trabalhos de Löbler *et al.* (2013), em que é realizada uma análise comparativa entre a carta topográfica produzida pelo exército e as imagens de satélite SRTM.

A Base Vetorial Contínua do RS, na escala de 1:50.000, foi organizada por Hasenack e Weber (2010) e se apresenta em arquivo *shapefille* (*shp*) em formato de linha simples.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma comparação entre duas fontes de dados cartográficos, para analisar parâmetros da hidrografia na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Oeste do Rio Grande do Sul.

1.2 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso (BHAS) se localiza na porção oeste do estado do Rio Grande do Sul, inteiramente dentro dos limites municipais de Rosário do Sul/RS (Figura 1), a qual possui uma população de 39.707 pessoas (IBGE, 2010).

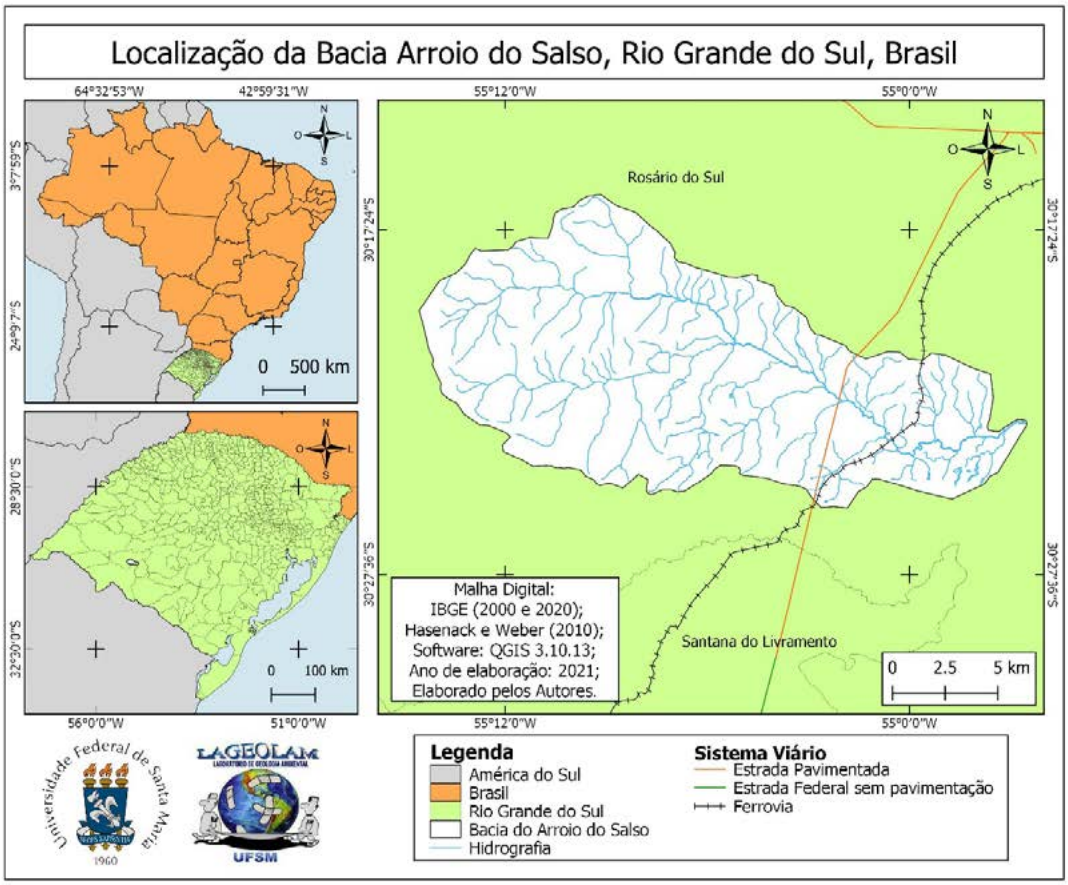


FIGURA 1: Mapa de Localização da bacia do Arroio do Salso, Rio Grande do Sul, BR.
Fonte: AUTORES, 2021.

A área da BHAS se localiza em uma porção que não abrange área urbana, havendo cultivo agrícola e pecuária nas imediações do canal principal e em toda área da bacia. Além disso, a maior parte da área da bacia se localiza em uma porção do relevo que não ultrapassa os 120 metros de altitude Dias (2017).

2. Metodologia

A extração dos dados hidrográficos a serem trabalhados se deu por meio da Base Vetorial Contínua do RS na escala de 1:50.000 (Hasenack e Weber, 2010), e dados extraídos através de um MDE provindo da missão SRTM e obtido no site da USGS na resolução de 30 metros (*1 arc ssecond*) (https://earthexplorer.usgs.gov/). Os dados foram trabalhados no *software* QGis versão 3.16.

Para extração da drenagem na base vetorial continua, foi necessário o *download* dos dados em *shapefille* no formato linha e referenciadas em UTM no fuso 21 Sul, onde a bacia se localiza completamente. Em seguida ocorreu o recorte dos dados para o município de Rosário do Sul (onde a bacia se encontra) utilizando a ferramenta recortar no menu vetor no Qgis versão 3.16. Na sequência, com base nas curvas de nível e pontos cotados obtidos também na base vetorial contínua do RS, se deu a delimitação da bacia e o recorte dos dados para a área selecionada. Dessa forma, na sequência se deu os procedimentos de análise dos tributários, os quais foram analisados para ambas hidrografias.

Já o MDE, foi trabalhado em ambiente SIG para extração automática das linhas de drenagem por meio das ferramentas *r.fill.dir*, com o objetivo de corrigir pixels espúrios. A ferramenta *water.shed* foi utilizada para gerar a drenagem, o qual utilizou o valor de 1.320 (metros) como tamanho mínimo exterior da bacia hidrográfica, esse valor foi calculado com base na média do comprimento total dos canais de 1ª ordem (total de canais de 1ª ordem/comprimento total) da hidrografia da base vetorial contínua do RS. A ferramenta *water.outlet* buscou encontrar o ponto de exutório da área desejada e delimitar de maneira automática a bacia.

Os atributos de drenagem analisados foram área e perímetro da bacia; comprimento dos canais (obtidos através da calculadora de campo do software QGis); densidade de drenagem (com base em Horton, 1945) Dd= Lt/A onde Dd é densidade de drenagem; Lt comprimento total dos canais; e A significa área; e hierarquia fluvial (Christofoletti, 1980).

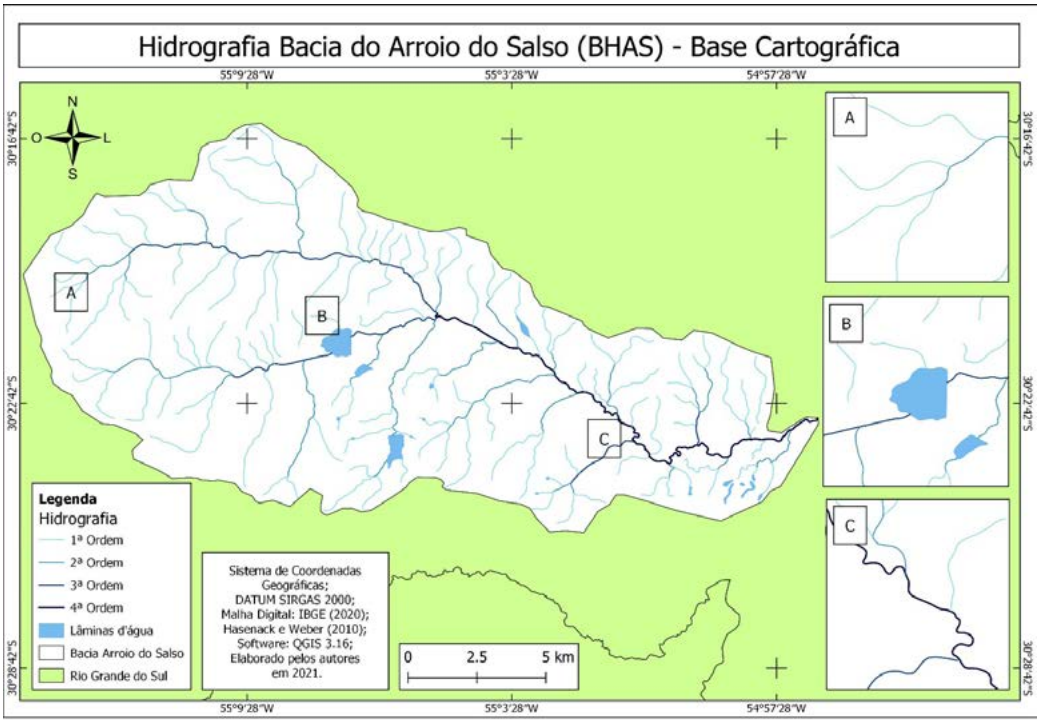
Dessa forma, a Bacia Hidrográfica com os dados extraídos da base cartográfica se apresenta no texto como BH1 e a Bacia Hidrográfica elaborada a partir da imagem SRTM se apresenta no texto como BH2.

3. Resultados e Discussões

Em relação a bacia delimitada de forma manual (BH 1), esta possui uma área de 278,950 km^2, e perímetro de 82,25 km. Já a bacia delimitada de forma automática (BH 2), possui uma área de 267,7 km^2 e um perímetro de 127,7 km.

A densidade de drenagem calculada através da fórmula Dd=Lt/A resultou em 1,14 e 1,3 km/km^2, respectivamente (BH 1 e BH 2). Tal característica é definida pela formação estrutural da área e suas relações com o clima. A predominância de rochas porosas na área de estudo e consequentemente a maior permeabilidade faz com que a densidade de drenagem e escoamento superficial sejam menores.

Ambas as bacias apresentam hierarquia fluvial de 4ª ordem. Sendo assim, vale destacar que os canais classificados como de 1ª ordem se destacam em ambas as bacias como possuindo maior comprimento total, contudo, na BH 1, a porcentagem de canais de 1ª ordem é maior em relação aos canais de 1ª ordem da BH 2, sendo 68,05% e 47,7% respectivamente. Estes canais de 1ª ordem se localizam principalmente em porções de cabeceiras de drenagem, ao Nordeste, Noroeste e Sudoeste da BH 1 e Nordeste, Noroeste e Sul da BH 2.



As figuras 2 e 3 representam os mapas de hidrografia de ambas as bacias. Pode-se visualizar que os pontos A, B e C em ambos os mapas trazem áreas de cabeceira de drenagem (A), porção central da bacia (B) e porção final próxima a foz (C).

FIGURA 2: Hidrografia da Bacia do Arroio do Salso-BH1.
Fonte: AUTORES, 2021.

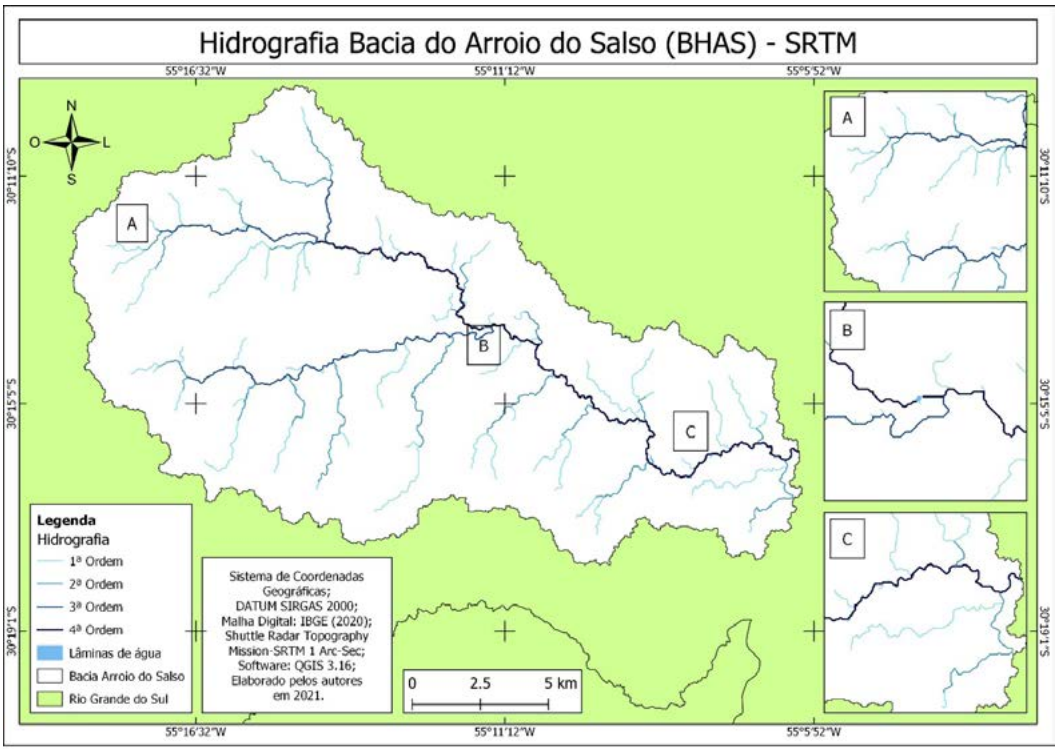


FIGURA 3: Hidrografia da Bacia do Arroio do Salso-BH2
Fonte: AUTORES, 2021.

Nas tabelas 1 e 2 está disposta a relação comprimento dos canais (km) e porcentagem ocupada em relação ao comprimento total dos cursos, com base na sua hierarquia.

TABELA 1
Relação: Informações dos canais BH 1

Ordem dos Canais	Comprimento (km)	Porcentagem (%)
1ª	218,25	68,05
2ª	56,384	17,58
3ª	25,606	7,98
4ª	20,451	6,37
Total	320,691	100

Fonte: AUTORES, 2021.

TABELA 2
Relação: Informações dos Canais BH 2

Ordem dos Canais	Comprimento (km)	Porcentagem (%)
1ª	88,94	45,70
2ª	48,96	25,15
3ª	26,38	13,55
4ª	30,35	15,60
Total	194,646	100

Fonte: AUTORES, 2021.

Portanto, quando comparadas as duas bases, obtém-se o resultado que possuem dados semelhantes. A BH 1 possui menor área, porém maior perímetro. A BH 2 possui menor comprimento total de canais e maior densidade de drenagem (porém neste último quesito os resultados foram semelhantes). Assim sendo, em relação a densidade de drenagem, os resultados foram semelhantes, já que as variáveis área e comprimento dos canais, mesmo tendo resultados distintos, não apresentam grandes discrepâncias.

Conclusão

O uso das geotecnologias é de grande relevância para a obtenção de dados, já que este recurso está em constante evolução, e vem se apresentando cada vez mais em trabalhos e projetos dedicados ao planejamento e análise espacial.

Observando os dois métodos de análise espacial, podemos interpretar uma semelhança de resultados, porém cada método possui suas particularidades. Em relação a base vetorial contínua e seus dados, esses apresentaram uma área superior se comparado aos dados extraídas da imagem SRTM.

Já o perímetro da bacia gerada automaticamente foi maior. O comprimento dos canais da base vetorial contínua possui uma discrepância em relação ao das imagens SRTM, principalmente pela maior presença de canais de primeira ordem.

Agradecimentos

A Universidade Federal de Santa Maria.

Referências

CHRISTOFOLETTI, A**. Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

DIAS, D. F. *et al.* Zoneamento geoambiental aplicado ao estudo das potencialidades e suscetibilidades ambientais e de uso e ocupação de Rosário do Sul/RS. 2017.

HASENACK, H.; WEBER, E. J. (org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). **ISBN 978-85-63483-00-5** (livreto) e **ISBN 978-85-63843-01-2** (DVD).

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological society of America Bulletin. v 56, 3. p. 275-370, 1945.

SANTOS, V. S.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Definição das Unidades de Relevo na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari–Oeste do RS. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 21, n. 2, p. 197-204, 2017.

LÖBLER, C. A. *et al.* Comparative study between SRTM images and army letters to the study of altimetric plan in watershed. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 15, n. 15, p. 3005-3011, 2013.

MELO, D. O. S. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Real pelo uso de dados SRTM e tecnologias SIG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3553-3570, 2020.

POPULAÇÃO NO ÚLTIMO CENSO 2010: características da população**. In: IBGE: Panorama**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/rosario-do-sul/panorama. Acesso em: 21 jul. 2021.

SABINO, H. *et al.* Delimitação de microbacias hidrográficas a partir de um ponto de exutório específico (pour point) utilizando dados SRTM. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 941-946, 2017.

TEODORO, V. L. L. *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO SÃO FRANCISCO A PARTIR DE UM ZONEAMENTO AMBIENTAL

Dhulia Alves de Souza Barbosa
Universidade Federal de Uberlândia
Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Mônica
Campus Santa Mônica - Uberlândia-MG - CEP 38400-902
E-mail: dhuliageografa@gmail.com
Roberto Rosa
Instituição de referência ou de trabalho
Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Mônica
Campus Santa Mônica - Uberlândia-MG - CEP 38400-902
E-mail: rrosa@ufu.br

Resumo

O trabalho em questão tem por objetivo apresentar o zoneamento ambiental de bacia hidrográfica, adotando como área de estudo o perímetro denominado como Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco, a qual se encontra na região sudoeste do estado de Minas Gerais, abrangendo áreas territoriais dos municípios de São Roque de Minas, Vargem Bonita e Piumhi. A metodologia adotada segue a diretriz proposta por Crepani et al. (2001), que determina para a área de estudo unidades que são classificadas conforme sua estabilidade/ vulnerabilidade ambiental. A partir dessas unidades em conjunto com o software ArcGis 10.2, o qual possibilitou a manipulação, cruzamento e edição de dados georreferenciados foi possível realizar o zoneamento ambiental da área. No zoneamento da bacia hidrográfica do Alto São Francisco foram definidas duas unidades sendo estas: área de impedimento legal (seguindo as normas exigidas pelo Código Florestal), as quais são representadas por áreas que preservam ou devem ser preservadas ou que restringe a ocupação antrópica, como as áreas de preservação permanente – APP e Parques Nacionais (Unidades de Conservação), e a segunda unidade denominada como área produtiva consolidada. Ao analisar o resultado do zoneamento pode-se destacar que aproximadamente 44% da bacia estudada apresentam alguma restrição legal para uso antrópico. Com relação às áreas produtivas consolidadas são classificadas cinco unidades.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, diagnóstico, zoneamento ambiental.

1. Introdução

Por décadas o homem altera o meio ambiente natural em função de sua forma de ocupação do espaço geográfico e utilização dos recursos naturais. A partir do século XX, essas alterações ganharam maior intensidade, devido ao grande crescimento demográfico, a evolução e expansão urbana, agrícola e industrial, sem o planejamento necessário acarretando o desequilíbrio dos sistemas ambientais.

Sporl e Ross (2004) salientam que as intervenções humanas no meio natural fazem com que os sistemas ambientais apresentem maior ou menor fragilidade em função de suas características "genéticas" e que qualquer modificação nos diferentes componentes da natureza como relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos provoca o comprometimento da funcionalidade do sistema, rompendo o seu estado de equilíbrio dinâmico.

Drew (2005) destaca que

Embora as atividades destinadas a alterar o ambiente, na sua maioria, tenham a intenção de ser benéficas do ponto de vista humano, o grau de inter-relação dos fenômenos naturais a que nos referimos explica que mudanças inesperadas, ou alterações em cadeia, venham a resultar daquilo que pretendia ser uma 'benfeitoria' isolada. A intensidade dessas ações inadvertidas depende em primeiro lugar do esforço (ou tensão) aplicado ao sistema pelo homem e, em segundo lugar, do grau de suscetibilidade à mudança (sensibilidade) do próprio sistema.

Neste contexto, surge a necessidade de se realizar estudos integrados da paisagem a fim de direcionar decisões, diretrizes e ações que proporcionem menores impactos e/ou alterações no meio natural, de forma a salvaguardar o equilíbrio ambiental. Dessa forma o zoneamento ambiental se apresenta como um mecanismo da gestão ambiental, por consistir em realizar uma análise integrada do meio, destacando os impactos ocasionados pelas ações humanas e a capacidade de suporte do meio ambiente, possibilitando assim, a elaboração de diretrizes específicas para cada unidade territorial ou zonas (DICIONÁRIO AMBIENTAL, 2013).

Segundo Carvalho (2014), as bacias hidrográficas vêm sendo adotadas como áreas preferenciais para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, que conceitualmente se altera, pois, em um primeiro momento o enfoque do planejamento das bacias era o manejo da águas. Posteriormente passa para uma concepção da bacia como um conjunto de fatores ambientais e, atualmente, como uma visão de planejamento integrado. Pires e Santos (1995) citados por Cunha e Guerra (2010), destacam que o caráter integrador das dinâmicas ocorridas nas unidades ambientais, e entre elas, as bacias de drenagem, mostram-se excelentes áreas de estudos para o planejamento.

Partindo da concepção que as bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas este trabalho propõe apresentar o zoneamento ambiental da área intitulada de Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco a fim de disponibilizar um material que venha a expor potencialidades e restrições da mesma.

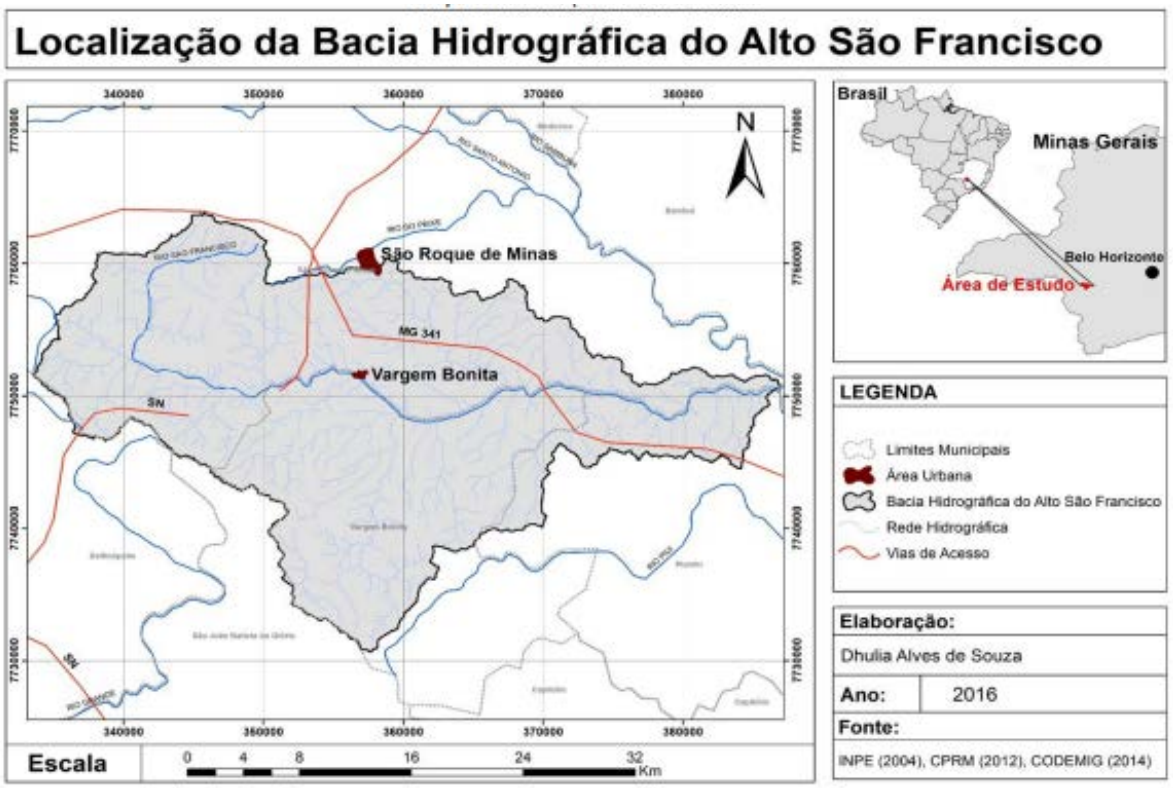


FIGURA 1: Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco

2. Procedimentos Metodológicos

Para a elaboração do trabalho em questão, foram necessários: a utilização da plataforma ArcGis 10.2 (a qual possibilitou o armazenamento, a edição e a confecção de dados espaciais georreferenciados), das imagens Landsat 8 e SRTM, além de arquivos vetoriais contendo informações frente a hidrografia, e geologia. E por fim trabalhos de campo para conferencia dos resultados.

Como método de análise da área foi utilizado à proposta de Crepani et. al. (2001), a qual foi elaborada a partir do conceito de Ecodinâmica de Jean Tricart (1997), que estabelece uma relação entre os processos de morfogênese/ pedogênese (sendo que quando predomina a morfogênese prevalecem os processos erosivos transformadores das formas de relevo) e "da potencialidade para estudos integrados das imagens de satélite que permitem uma visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem" (CREPANI et al. 2001, p. 11).

De acordo com a referida metodologia, são definidos os Planos de informações temáticos georreferenciados, sendo: PI Geologia, PI Geomorfologia, PI Pedologia, PI Vegetação e Uso e PI Intensidade Pluviométrica. A intervenção vetorial destes Planos de Informações define o mapa de Unidades Homogêneas de Paisagem ou Unidades Territoriais básicas (PI UTB) que reuni unidades de paisagem natural e polígonos de intervenção antrópica. Crepani et al. (1996) cita Becker e Egler (1996), pois os mesmos descrevem que as unidades territoriais básicas são células elementares de informação e análise para o zoneamento, onde uma unidade territorial básica é uma entidade geográfica que contém particularidades ambientais que possibilita diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo que, também, possui vínculo dinâmico com as mesmas articulando uma complexa rede integrada.

Posteriormente é feita uma classificação do grau de vulnerabilidade de cada unidade territorial baseada nos processos de morfogênese e pedogênese, sendo a vulnerabilidade expressa por concessão de valores de estabilidade que variam de 1 a 3 podendo alcançar um total de 21 para cada unidade de paisagem. Vale expor que dentro desta escala de vulnerabilidade as unidades que apresentarem valores mais próximos de 1,0 demonstram maior estabilidade, as unidades com valores próximos a 2,0 apresentam estabilidade intermediária e as unidades que estiverem próximas a 3,0 são consideradas mais vulneráveis (CREPANI et al.1996, 2001).

Dessa forma a elaboração do resultado final pode ser dividida em dois momentos:

1º Momento – Elaboração dos mapas temáticos.

> **Unidades Geológicas**

O mapa geológico da área de estudo foi elaborado a partir de um arquivo *shape*com dados geológicos do estado de Minas Gerais disponibilizado pela CODEMIG (2014), na escala. Tais dados possibilitaram a identificação de oito unidades geológicas presente na bacia, variando entre rochas do tipo metamórficas e sedimentares.

> **Dados Morfométricos**

Foram elaborados mapas de hipsometria e declividade, os quais fornecem dados numéricos para análise do relevo. Os mesmos foram obtidos a partir da geração do TIN – Triangular Irregular Network, o qual possibilita a representação de uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas, onde cada um dos três vértices armazenam informações sobre a localização (x, y) e sobre os valores de altitude/elevação (z) (SILVA, RODRIGUES, 2009), vale destacar que as classes utilizadas para análise da declividade foram determinadas a partir das classes propostas pela EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006), que possibilitaram identificar relevos planos, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado (Figura 02).

Declividade	Discriminação
0 - 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

FIGURA 2: Classes de declividade

> **Unidades Geomorfológicas**

As unidades geomorfológicas foram obtidas do mapa geomorfológico da Serra da Canastra e entorno elaborado por Souza (2015), em formato *shape.* O mesmo foi editado a fim de se adequar área de estudo em questão. Dessa forma foram identificadas cinco unidades geomorfológicas denominadas: Planalto Dissecado da Faixa Canastra, Superfície de Cimeira, Planalto Dissecado do Sistema de Intrusão Piumhi, Serras e Cristas Isoladas e Planalto São Francisco.

> **Unidades de coberturas superficiais (solos)**

As referidas unidades foram fornecidas pelo Departamento de Solos e Cetro de Ciências Agrárias na escala 1: 650.000. Tal arquivo foi editado a fim de apresentar um mapa de classes de solos da bacia hidrográfica em estudo. Dessa forma foram identificadas sete classes de solo ou cobertura superficial: Cambissolos háplico Tb ditrófico e háplico Tb eutrófico, Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Neossolo Litólico distrófico, Plintossolo Argilúvico distrófico e por fim são classificadas área com ocorrência de afloramento rochoso.

> **Unidades de Uso da terra**

As unidades de uso da terra foram obtidas do projeto TerraClass Cerrado (2013), o qual realizou o mapeamento do uso e cobertura da terra do cerrado, disponibilizando o arquivo *shapefile* o qual foi inserido no *ArcCatalog*e editado no *ArcMap*. Foram identificados seis tipos de usos da terra, classificados como: Agricultura Anual e Perene, Pastagem, Silvicultura, Área Urbana e Vegetação Natural.

> **Áreas de Uso Restrito**

As áreas de uso restrito foram definidas como sendo as APPs – áreas de preservação permanente e o Parque Nacional da Serra da Canastra. Com relação ao limite do parque (em formato shapefile) foi obtido no site do ICMBio. Já as APPs foram geradas de forma semi-automática a partir das ferramentas e extensões do ArcGis e da imagem de radar SRTM. Além disso, é valido destacar que as APPs foram definidas segundo o as normas expostas pelo código florestal, que segundo Tupynambá (2011),

são consideradas APPs as faixas de proteção de recursos hídricos de 30 metros, para rios com até 10 metros de largura; de 50 metros, para rios entre 10 e 50 metros de largura; de 100 metros, para rios entre 50 e 200 metros de largura; de 200 metros, para rios entre 200 a 600 metros de largura; e 500 metros, para rios com largura superior a 600 metros. Já o entorno de nascentes precisa de ter um raio mínimo de 50 metros. São ainda consideradas APPs as encostas com declividade superior a 45 graus; [...]

2º Momento – Mapa de zoneamento ambiental

Para a aquisição do mapa em questão, foram cruzados os dados de geologia, declividade, solo, uso da terra e áreas de uso restrito, seguindo o seguinte procedimento:

Antes da sobreposição controlada, se fez necessário os mapas temáticos e/ou planos de informações (PI) estarem em formato raster, atribuindo pesos de estabilidade para cada classe destacadas, variando de 1 a 3 (Crepani et al. 2001, Leite, 2011), como é apresentado no Quadro 01.

Com a geração dos arquivos raster, os mesmos foram sobrepostos possibilitando a geração de cinco classes de estabilidade/vulnerabilidade e posteriormente a edição das zonas ambientais para a bacia hidrográfica do Alto São Francisco. Isto posto, foram definidas duas zonas ambientais, as quais foram denominadas de Área de Impedimento Legal e Área Produtiva Consolidada.

QUADRO 1
Classificação das classes dos planos de informações

GEOLOGIA	
Unidades Litológicas	**Vuln./Estab.**
Calcixisto	1,0
Quartzito micáceo	1,2
Filito sericítico e muscovita-clorita-quartzo xisto predominantes	1,7
Associação rítmica pelítico-arenosa	2,3
Metarenito predominante. Podem ocorrer associados: rocha metaultramáfica e metamáfica tholeiíticas, quartzito, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto	1,0
Siltito e arenito fino predominantes, folhelho, lentes carbonáticas	2,8
Argilito e siltito ardosianos, marga, lentes de calcário	2,7
Diamictito, argilito	2,9
DECLIVIDADE	
Classes (%)	**Vuln./Estab.**
< 3	1,0
3 – 8	1,2
8 – 20	1,8
20 – 45	2,7
45 – 75	2,9
> 75	3,0

COBERTURA SUPERFICIAL	
Classes de solo	**Vuln./Estab.**
Cambissolo háplico Tb distrófico	2,5
Cambissolo háplico Tb eutrófico	2,5
Latossolo vermelho distrófico	1,0
Latossolo vermelho-amarelo distrófico	1,0
Neossolo litólico distrófico	3,0
Plintossolo argilúvico distrófico	3,0
Afloramento Rochoso	3,0
USO DA TERRA	
Classes de uso	**Vuln./Estab.**
Agricultura Perene	2,5
Agricultura Anual	2,3
Silvicultura	2,1
Vegetação natural ou nativa	1,7
Pastagem	3,0
USO RESTRITO	
Áreas com restrições de uso	
Áreas de Preservação Permanente - APP	1,7
Parque Nacional da Serra da Canastra	1,0

Fonte: SOUZA, 2017

3. Diagnóstico Ambiental

3.1 Aspectos Geológicos

Segundo Crepani et al. (1996) a geologia compreende as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem, além da história da evolução geológica do ambiente. Dessa forma tem-se que, em um contexto regional, o Brasil encontra-se sobre a Plataforma Sul Americana, a qual é relatada por Almeida (1967), como Plataforma Brasileira, que se estende por uma grande porção na América do Sul e possui um grau de consolidação de seu embasamento bastante avançado. Tal estrutura é constituída por três grandes unidades, sendo estas: Escudo das Guianas, Escudo Brasil-Central e Escudo Atlântico. Estas unidades são subdivididas em sete principais domínios denominados: Escudo das Guianas-Meridional; Província Xingu ou Tapajós; Província Tocantins (Paraguai – Araguaia); Província São Francisco; Província Borborema, Província Mantiqueira e Bacias Fanerozóicas (ALMEIDA, 1967; 1969, PIRES, 1998 apud MARTINS, 2013).

No que diz respeito a área de estudo, a mesma se encontra sobre duas grandes estruturas geológicas, sendo estas: o Cráton do São Francisco, datado do Arqueano, e a Faixa de Dobramento Brasília (que se encontra a sul da Província Tocantins) datada do final do Proterozóico Superior.

Tais estruturas apresentam diferenças litológicas e tectônicas, sendo a região do Cráton, segundo Tomazzoli (1990), composto predominantemente por rochas granito-gnáissicas do período arqueano, que se encontra em grande parte capeada por coberturas sedimentares e vulcano-sedimentares do Proterozóico Superior ou do Fanerozóico. Já a segunda estrutura denominada de Faixa de Dobramento Brasília foi constituída à base de sedimentos e rochas vulcânicas entre os crátons Amazônico e São Francisco e posteriormente com a compressão entre os crátons, estas sequências Vulcano-sedimentares foram completamente dobradas e sofreram metamorfismo originando rochas do tipo xisto ou filito, que predominam nas faixas de dobramentos. As unidades geológicas presentes na área de estudo estão representadas no mapa e no quadro que seguem abaixo (Figura 03).



FIGURA 3: Unidades Geológicas

QUADRO 2

Demonstrativo de unidades geológicas, litológicas e tipos de rochas presentes na área de estudo

GRANDES UNIDADES ESTRUTURAIS		UNIDADES	LITOLOGIA	SIGLA	CLASSE	ÁREA %
PROVINCÍA TOCANTINS	FAIXA DE DOBRA-MENTO BRASÍLIA	Grupo Ibiá, Formação Cubatão	Calcixisto	NP3icb	Metamórfica	2,24
		Grupo Canastra, Formação Chapada dos Pilões, Membro Hidroelétrica da Batalha	Quartzito micáceo	NP1cphb	Metamórfica	24
		Grupo Canastra, Formação Paracatú indivisa	Filito sericítico e muscovita-clori-ta-quartzo xisto predominantes	NP1cpa	Metamórfica	16,23
		Supergrupo Pium-hi, Sequência Turbi-dítica	Associação rítmica pelítico-arenosa	A3pht	Metamórfica	3,53
		Supergrupo Pium-hi, litofácies metarenito	Metarenito predo-minante. Podem ocorrer associados: rocha metaultra-máfica e metamáfica tholeiíticas, quartzito, metaba-salto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto	A3pha	Metamórfica	1,17
CRÁTON DO SÃO FRANCISCO	BACIA SEDIMENTAR DO SÃO FRANCISCO	Supergrupo São Francisco, Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopeba, Formação Serra da Saudade	Siltito e arenito fino predominantes, folhelho, lentes carbonáticas	NP3bss	Sedimentar	50,2
		Supergrupo São Francisco, Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopeba, Formação Serra de Santa Helena	Argilito e siltito ardosianos, marga, lentes de calcário	NP3bsh	Sedimentar	0,14
		Supergrupo São Francisco, Grupo Bambuí, Formação Carrancas	Diamictito, argilito	NP3bc	Sedimentar	2,5

Fonte: SOUZA, 2017

3.2 Aspectos Geológicos

Segundo a metodologia de Crepani (1996, 2001), a geomorfologia oferece informações frente a morfometria que influenciam de forma significativa os processos ecodinâmicos. Nesse sentido, são destacadas informações referentes a hipsometria, declividades e compartimentação do relevo.

> Hipsometria

A bacia hidrográfica do Alto São Francisco demonstra uma variação altimétrica dentro das cotas de 650 a 1500 (Figura 04). Ao analisar o mapa hipsométrico, percebe-se que as áreas mais elevadas que varia entre 1250 a 1490 metros, destacando as Serras da Canastra e da Babilônia (abrangendo uma pequena faixa desta última Serra, que se encontra a sudoeste).Há um segundo patamar altimétrico de tons amarelados, que variam entre as cotas de 1010 e 1250metros que se encontra entre e no entorno das serras, já citadas, e por fim um terceiro patamar, com cotas inferiores a 1010 metros, representado pelos tons de verde, abrange uma área aproximada de 70% do total da bacia.

> Declividade

A declividade (Figura 05) é um dado morfométrico que contribui na identificação de relevos com formas planas, com padrões diferentes de ondulações (suave, ondulado e forte ondulado) e vertentes com alto grau de inclinação, caracterizando as formas escarpadas. Dessa forma, o mapa de declividade da bacia em estudo, possui seis intervalos de declividade, onde o intervalo menor que 3% representam áreas planas e tem grande frequência na bacia, representando, principalmente, topos planos; o intervalo de 8 a 20% graus é o mais representativo na área de estudo, correspondendo a relevos ondulados; já o intervalo entre 20 a 45% graus destaca relevos mais dissecados que são mais comuns próximos as drenagens principais ou de maior volume. Com relação ao intervalo de maior declive, este se encontra com maior frequência, nas escarpas das Serras da Canastra e Babilônia.

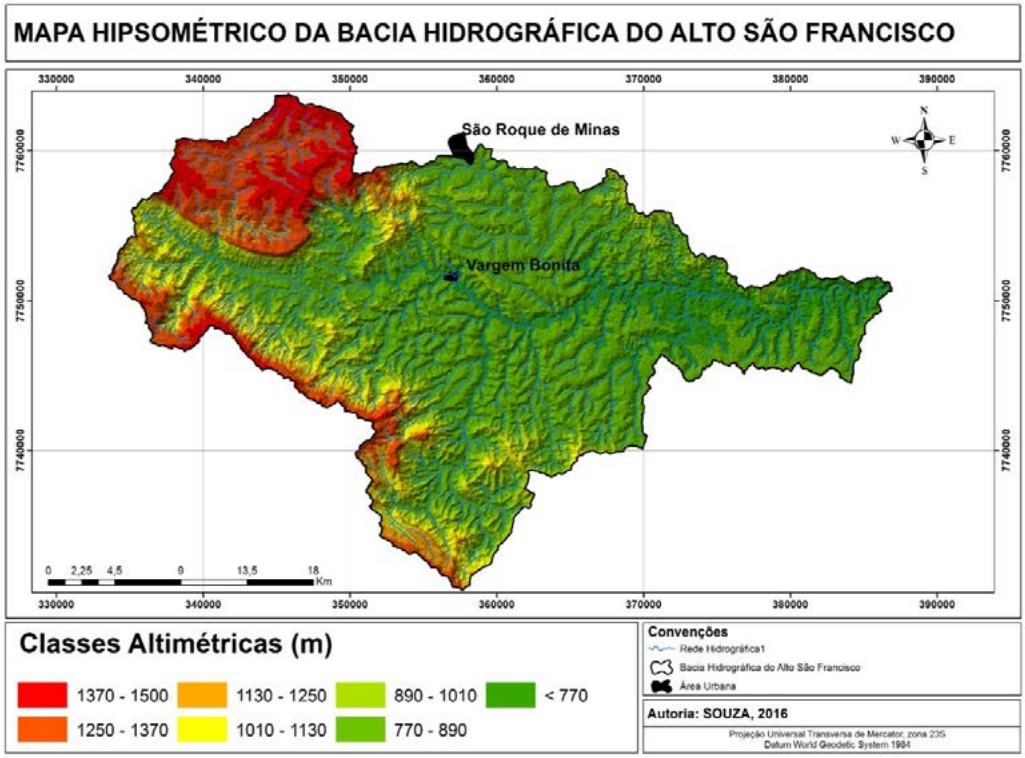


FIGURA 4: Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco
Fonte: SOUZA, 2017

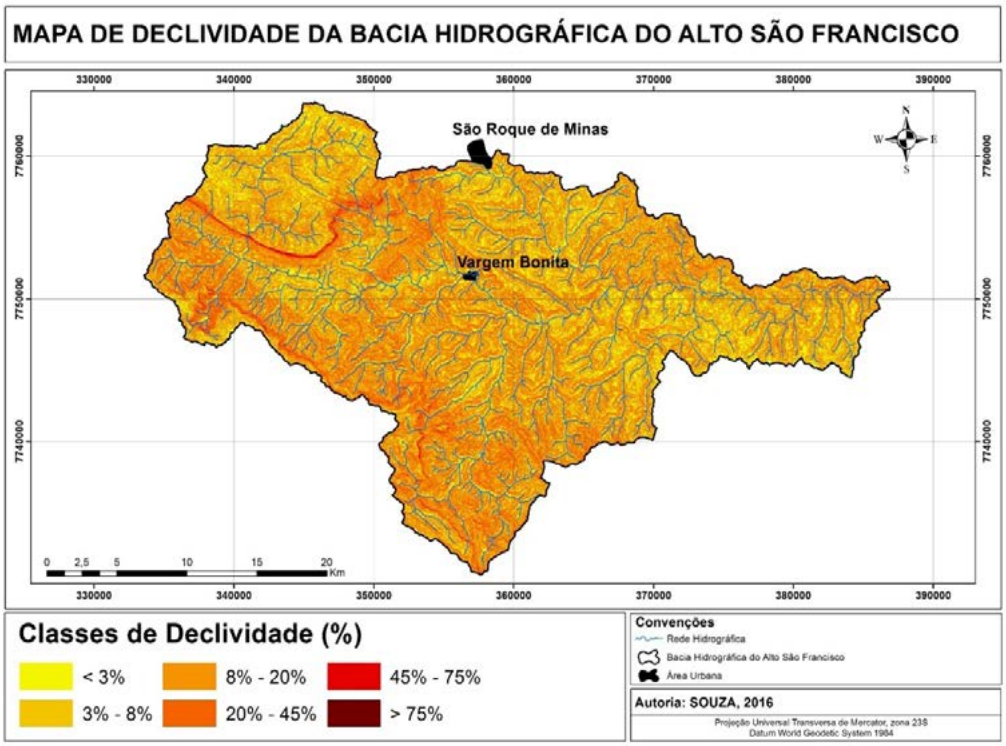


FIGURA 5: Declividade da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco
Fonte: SOUZA, 2017

> Unidades Geomorfológicas

Na bacia hidrográfica do Alto São Francisco foram identificadas seis unidades geomorfológicas (Figura 06), dentro das áreas denominadas como Faixa Canastra, Sistema de Intrusão Piumhi e Bacia Bambuí. Dentre estas unidades, o **Planalto São Francisco** se destaca, pois o mesmo representa 53% da área da bacia em questão. O relevo do planalto, expressa uma altimetria que varia entre 651 a 900 metros, declives que variam ente 0 e 25º, caracterizando um relevo ondulado com topos alternado entre planos e convexos, sendo este último mais frequente. Além disso, é valido destacar que na região nordeste (entre os rios Sambará e São Francisco) da unidade geomorfológica em questão, há a ocorrência de um grande número de processos erosivos, demonstrando um relevo mais dissecado com topos mais angulosos e de menor dimensão, vales mais encaixados e vertentes podendo chegar a 36º de inclinação, caracterizando algumas localidades como um relevo forte ondulado (EMBRAPA, 2006).

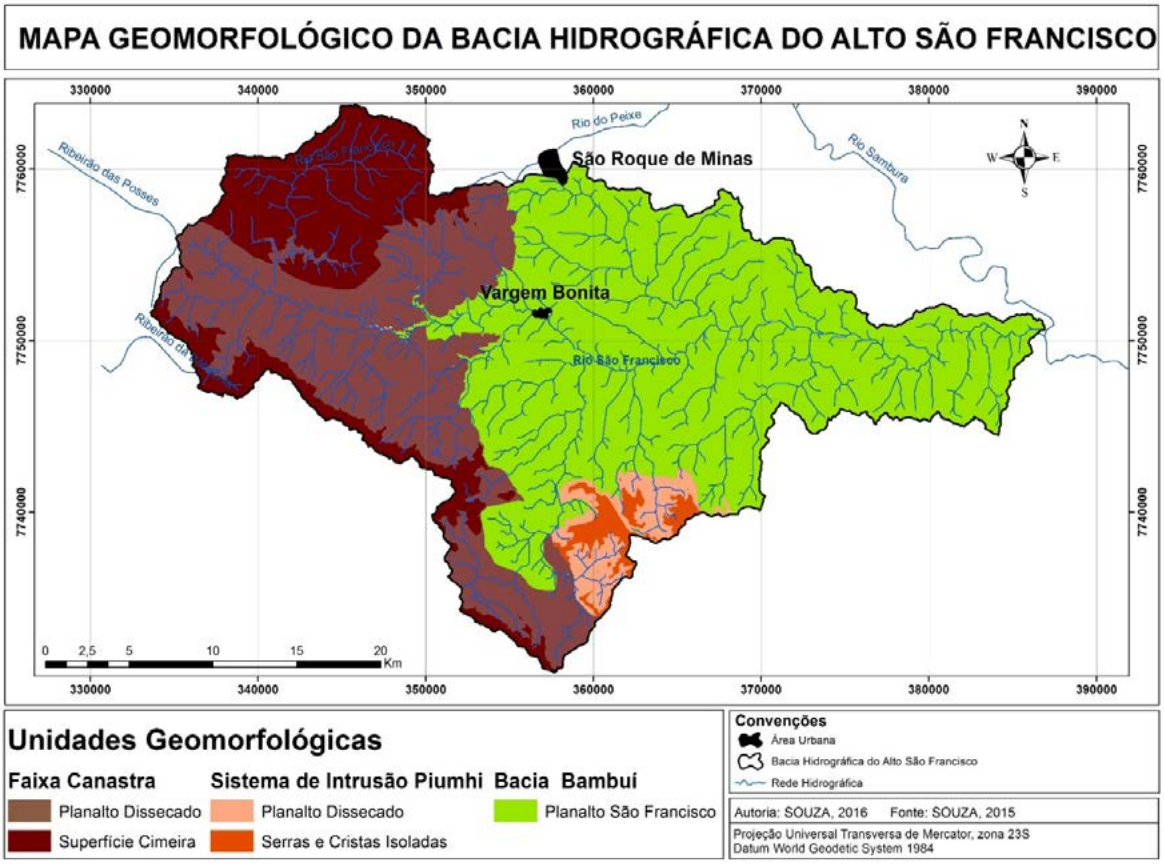


FIGURA 6: Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco
Fonte: SOUZA, 2017

3.3 Aspectos Geológicos

Crepani (2001) destaca que a pedologia participa da caracterização morfodinâmica da paisagem, onde a maturidade dos solos indica se os processos erosivos prevalecem ou na morfogênese que geram solos pouco desenvolvidos, ou se as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos lixiviados e bem desenvolvidos.

Nesse sentido, as classes encontradas na bacia são solos do tipo Cambissolo, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Plintossolo Argilúvico, Neossolo Litólico e Afloramento rochoso. Os mesmos são identificados e especializados na Figura 07.

O **Latossolo Vermelho** representa uma área de 26% da bacia, e de acordo com Sousa e Lobato, tal classe é um solo mineral não-hidromórfico, profundo (normalmente superiores a 2 m), horizontes B muito espesso (> 50 cm) com sequência de horizontes A, B e C pouco diferenciados; as cores variam de vermelhas muito escuras a amareladas, geralmente escuras no A, vivas no B e mais claras no C. A sílica (SiO2) e as bases trocáveis (em particular Ca, Mg e K) são removidas do sistema, levando ao enriquecimento com óxidos de ferro e de alumínio que são agentes agregantes, dando à massa do solo aspecto maciço poroso; apresenta estrutura granular muito pequena; é macio quando seco e altamente friáveis quando úmido.

O **Latossolo Vermelho-Amarelo** se expressa em uma área de 8% da bacia a sudoeste. O mesmo pode-se associar a relevo plano, suave ondulado ou ondulado e ocorrem em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade.

O solo **Plintossolo Argilúvico** representa 2% em área. O mesmo apresenta uma camada de acumulação de argila, abaixo do horizonte A superficial, apresentando uma drenagem variável, podendo ocorrer excesso de água temporário até excesso prolongado de água durante o ano.

Os **Cambissolos** abrangem uma área de 32% da bacia, caracterizando um solo fortemente drenado, raso a profundo, de cor bruna ou bruno-amarelada, e de alta a baixa saturação por bases e atividades químicas da fração coloidal O horizonte B incipiente (Bi) tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, e o solum, geralmente, apresenta teores uniformes de argila. A estrutura do horizonte B pode ser em blocos, granular ou prismática, havendo casos, também, de solo com ausência de agregados, com grãos simples ou maciços (JARBAS, et al.).

E por fim, o **Neossolo Litólico** atinge uma área de 30% da bacia, ocorrem nas áreas de afloramento rochoso nos setores sul e oeste. É um solo pouco desenvolvidos, rasos, geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50cm, estado associado a relevo mais declivosos. As limitações ao uso estão relacionadas a pouca profundidade, presença da rocha e aos declives acentuados associados às áreas de ocorrência destes solos. Estes fatores limitam o crescimento radicular, o uso de máquinas e elevam o risco de erosão (SANTOS; ZARONI; ALMEIDA).

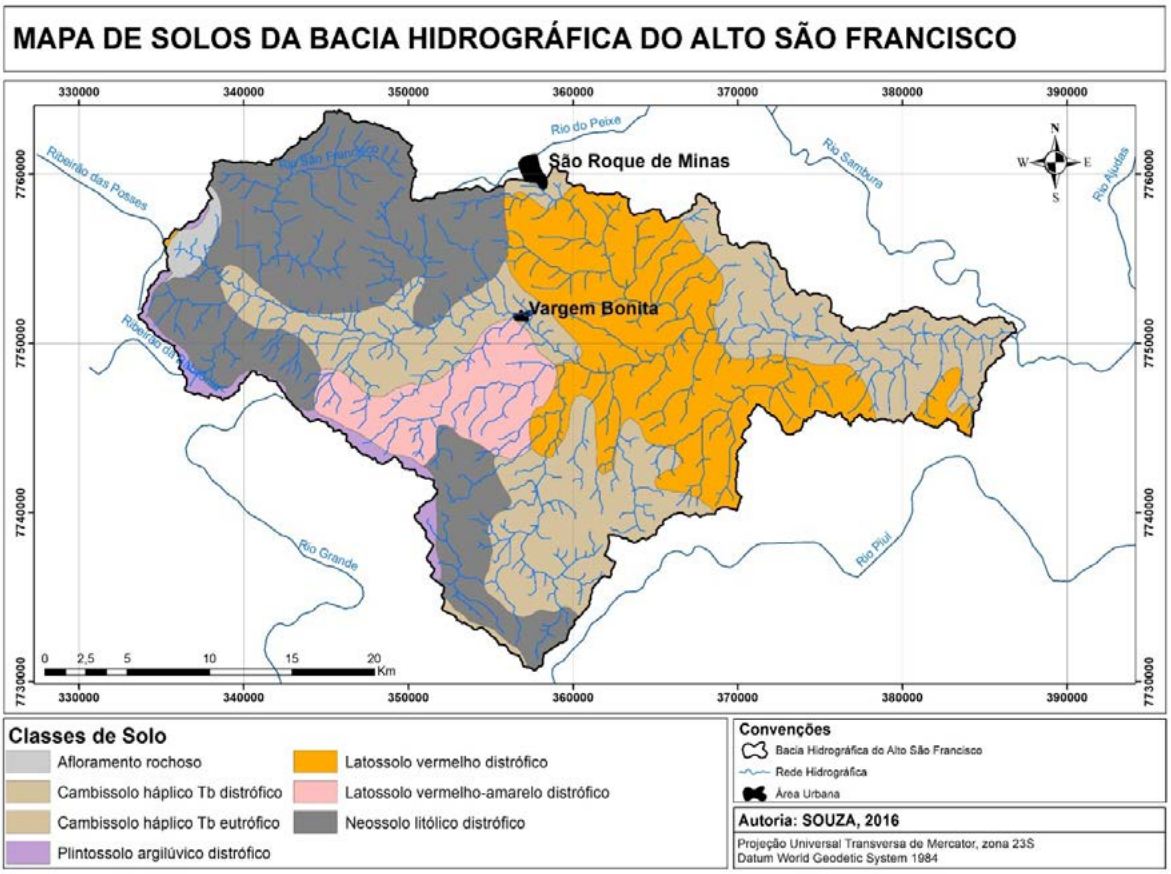


FIGURA 7: Classes de solos da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco
Fonte: SOUZA, 2017

3.4 Uso da Terra

Com relação aos aspectos do uso da terra da bacia hidrográfica em questão, formam identificados seis tipos de uso (Figura 08), variando entre agricultura perene e anual, pastagem, vegetação natural, silvicultura e área urbana.

O tipo de uso denominado como **vegetação natural ou nativa** possui características da vegetação do Bioma Cerrado, variando entre campo limpo, campo sujo, campo cerrado e cerradão. Tal classe se destaca, pois a mesma possui uma área de 390,66 km² (quase 50% do total da bacia) e tem maior concentração na região do Parque Nacional da Serra da Canastra (que se encontra a oeste da bacia).

O segundo tipo de uso mais expressivo na bacia é a **pastagem**, que recobre uma área de 358,25km², totalizado 45,52% da área em estudo. Essa unidade de uso encontra-se principalmente na região central e norte da bacia hidrográfica, onde há o maior índice de processos erosivos. Na é demonstrada uma imagem com dois tipos de uso, sendo a pastagem e a vegetação natural, além de processos erosivos ocorrendo na vertente, de dimensão considerável.

A **Agricultura Perene** recobre uma área de 25,30 km² (3,21%), destacando principalmente a cultura de café, concentrando principalmente em área mais planas ou leve mente onduladas. Já **agricultura anual e a silvicultura** são pouco expressivas na área de estudo, representando 6,92km² e 4,71km² respectivamente. Estas unidades de uso representam pequenas áreas dispersas na bacia.

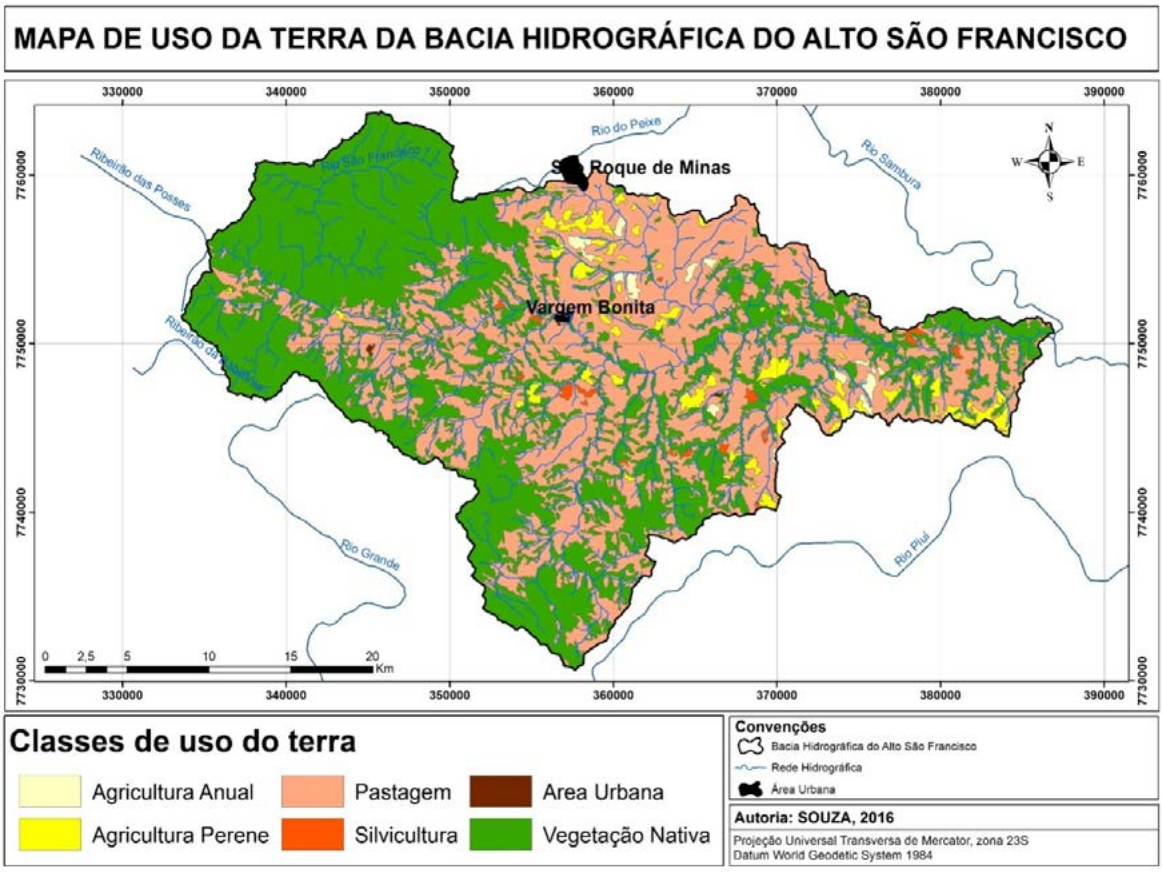


FIGURA 8: Uso da Terra da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco
Fonte: SOUZA, 2017

3.5 Áreas de Uso Restrito

As áreas de uso restrito foram definidas como sendo todas as áreas que possuem algum impedimento legal. Dessa forma, foram mapeadas APP – Áreas de Preservação Permanente, as quais segundo Lei Federal, tem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas e o PARna da Serra da Canastra, que segundo o regulamento nacional, os Parques Nacionais são áreas geográficas extensas e delimitadas, dotadas de atributos naturais excepcionais, objeto de preservação permanente, submetidas à condição de inalienabilidade e indisponibilidade no seu todo, sendo destinado para fins científicos, culturais: educativos e recreativos e, criados e administrados pelo Governo Federal, constituem bens da União destinados ao uso comum do povo, cabendo às autoridades, motivadas pelas razões de sua criação, preservá-los e mantê-los intocáveis.

O Parque Nacional da Serra da Canastra abrange uma área de 274km², ou seja, aproximadamente 35% da bacia (foi considerada dota a extensão do Parque), já as APPs de declividade, curso d'água e nascente representam uma área aproximada de 73km² (Figura 09).



FIGURA 09: Áreas de uso restrito da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco
Fonte: SOUZA, 2017

4. Zoneamento Ambiental

Segundo Sanchez e Silva (1995) o processo de zoneamento ambiental conduz a um produto cartográfico que expressa o nível de conhecimento científico e tecnológico disponível para compreender e integrar as variáveis ambientais e projetar o ambiente segundo suas reais potencialidades. Dessa forma, os produtos cartográficos obtidos na fase de diagnóstico e análise possibilitaram realizar o zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Alto São Francisco. Nesta fase de Zoneamento foram identificadas duas zonas denominadas de área de impedimento legal e área produtiva consolidada (Figura 10).

As áreas identificadas na bacia, denominadas de área produtiva consolidada, apresentam características cujo uso produtivo é consolidado e que são utilizadas para o desenvolvimento humano, estas são classificadas como área produtiva estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável. Nesse sentido pode-se destacar que as áreas:

> *Estáveis* - encontram-se nas proximidades do perímetro do PARna Serra da Canastra. São áreas mais preservadas, no que diz respeito a presença de vegetação nativa. Segundo Tricart (1977) são áreas que, apresentam vegetação suficiente para opor um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese. A utilização antrópica não é muito considerável e quando há uso o mesmo é caracterizado pela exploração pecuária. Vale destacar que as APP nesta unidade são consideravelmente preservadas.

> *Moderadamente estável* - possui grande ocorrência na bacia em questão, correspondendo a áreas de uso agropecuário somados a remanescentes florestais. Os declives são inferiores a 20% apresentando terrenos ondulados com topos planos/convexos.

> *Medianamente Estável/Vulnerável* – expressa uma área, também expressiva, variando entre relevos planos a fortemente ondulados com declives que variam de menores que 3% a 40%. O tipo de uso caracterizado pela agropecuária, sendo destacado o uso agrícola. Com relação aos remanescentes florestais há pouca presença destes.

> *Moderadamente Vulnerável* - apresenta com maior frequência nas proximidades do rio São Francisco e na região sudoeste da bacia hidrográfica. São áreas de maior declive, acima de 20%, utilizadas em grande parte para pastagem. Vale destacar que nessas áreas há uma ocorrência considerável de processos erosivos nas vertentes, que podem ser caracterizadas pela pouca ou falta de vegetação e um material superficial muito friável.

> *Vulnerável* – o mapeamento realizado não destacou nenhuma área com essa classificação na bacia hidrográfica do Alto Rio São Francisco.

A segunda unidade definida na bacia hidrográfica estudada se caracteriza por áreas que apresentam algum impedimento ou restrição legal. Dessa forma, foram delimitadas áreas de APPs de declividade, de curso d'água e nascentes e unidades de conservação (PARna Serra da Canastra). Esta representa uma área total da bacia de aproximadamente 347km^2, ou seja, 44% da bacia, sendo que o Parque Nacional da Serra da Canastra representa 35%. É valido salientar que as áreas de APP não são bem preservadas principalmente nas regiões mais degradadas, onde há maior índice de processos erosivos, onde o uso antrópico (agrossilvipastoril) é mais intenso, classificando tais áreas como moderadamente vulneráveis.

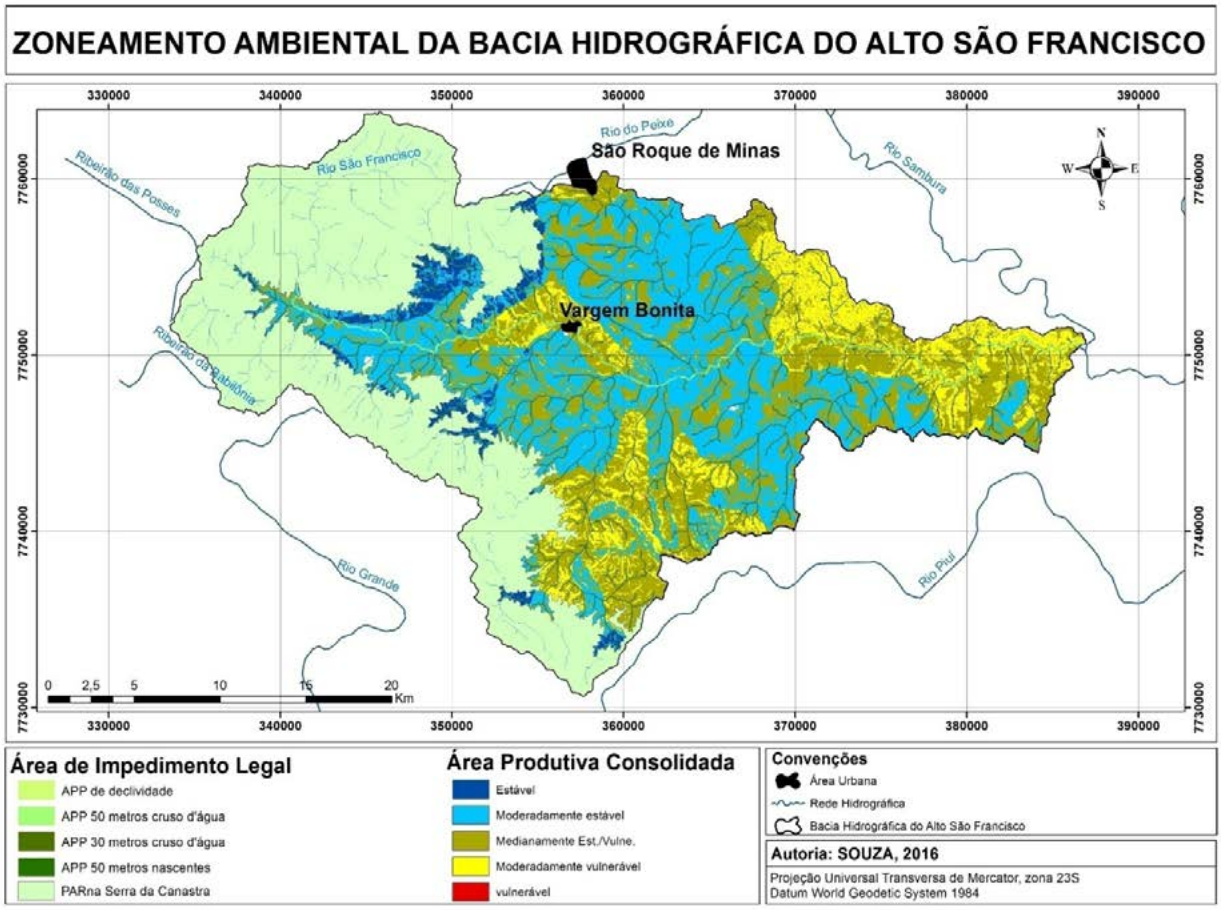


FIGURA 10: Mapa de Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco
Fonte: SOUZA, 2017

5. Considerações Finais

A frequente e crescente preocupação humana frente ao uso sustentável dos recursos naturais e/ou a minimização dos impactos ambientais ocasionados pela ação antrópica, tem incentivado estudos e cobrado por mais políticas públicas para atingir tais objetivos. Nesse contexto, o zoneamento ambiental tem-se destacado e se mostrado eficaz, por proporcionar um material cartográfico que se apresenta como base para um planejamento ambiental, seja em áreas urbanas, ou rurais, ou áreas de uso restrito, dentre outros. Além disso, a fase de diagnóstico, na a elaboração do mapa de zoneamento, disponibiliza diversos dados e informações sobre a área que podem ser utilizados a fim de facilitar o manejo e uso sustentável das áreas mapeadas.

Logo o presente trabalho buscou, através da compreensão de diferentes variáveis realizar o zoneamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco tendo como base metodológica os pressupostos de Crepani et al. Realizando as adequações necessárias para a área de estudo.

Nesse sentido, é valido salientar que a metodologia e as técnicas aplicadas para a realização do zoneamento ambiental se mostraram satisfatórias, pois permitiram gerar um mapa de zonas sendo determinadas áreas de impedimento legais e produtivas consolidadas, além de uma diversidade de informações e material cartográfico obtido na fase de diagnóstico. Mas vale destacar que ainda há grande dificuldade em reunir dados cartográficos com que se adéquem a escala trabalhada.

No que diz respeito às áreas de impedimento legal são apresentadas cinco classes, sendo áreas de preservação permanente de nascentes, declividade acima de 45%, cursos d'água inferior a 10m e entre 10m e 50m, e PARna Serra da Canastra (ressaltando que o perímetro do parque foi considerada toda área prevista). Estas áreas possuem em comum a preservação e a não supressão de vegetação, segundo o código florestal. Mas, ao observar tais áreas delimitadas em conjunto com uma imagem de satélite, foi possível notar que há degradação e a não preservação de remanescentes e/ou vegetação nativa nas margens dos cursos d'água, sendo essa vegetação totalmente retirada ou não obedecendo à metragem exigida. Tal fato ocorre com grande frequência na região oeste da bacia onde o uso agrossilvopastoril é mais intenso. Isto posto nota-se a necessidade de se realizar uma fiscalização a fim de realizar a recuperação das áreas desmatadas e/ou a manutenção das mesmas.

Com relação às áreas produtivas consolidadas que se caracteriza por cinco classes variando entre estável a vulnerável, destacam-se as unidades determinada como moderadamente vulnerável, por se tratar de áreas com relevo mais dissecado com ocorrência de um número considerável de processos erosivos nas vertentes. Isto posto, tias áreas necessitam de uma atenção maior com relação ao uso e manejo das mesmas, a fim de minimizar a ocorrência desses processos erosivos.

Em referência as técnicas de geoprocessamento utilizadas, se mostraram de suma importância para a pesquisa em questão, pois permitiram trabalhar com uma gama de dados georreferenciados, possibilitando a identificação, mensuração e qualificação dos aspectos físicos da bacia. Proporcionando agilidade na análise e facilidade no cruzamento de informações.

No mais, o zoneamento ambiental realizado a partir dos seus mapas e textos sínteses da Bacia Hidrográfica do Alto Rio São Francisco, classificou os diversos cenários em diferentes níveis de estabilidade e vulnerabilidade ambiental. A vista disso, tanto os mapas derivados do zoneamento quanto o próprio zoneamento são mapas e informações essenciais para um ordenamento, planejamento e manejo da área visando uma ocupação racional a fim de preservar e manter o meio ambiente natural, assim como as áreas de uso.

Referências

ALMEIDA, B. S. **Geoquímica dos filtros carbonosos do depósito Morro do Ouro, Paracatu,** Minas Gerais. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 7 p. 349-364, 1977.

ALMEIDA, J. R. de; TERTULIANO, M. F. Diagnose dos sistemas ambientais: métodos e indicadores. In: Cunha, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Avaliação e Perícia Ambiental.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2004. p. 115 – 171.

CARVALHO, R. G. de As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia,** Presidente Prudente, n. 36. p. 26-43, 2014.

CODEMIG, **Mapa geológico do estado de Minas Gerais**. 2014. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>. Acesso em: 10 maio 2016.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

CREPANI, E. *et al.***Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento**

Ecológico- Econômico. São José dos Campos. INPE, maio de 1996, 18p.

DICIONARIO AMBIENTAL. **O que é zoneamento eológico-economico**. 2013. Disponível em: http://www.oeco.org.br>. Acesso em: 15 out. 2016.

DREW, D. Processos Interativos Homem-Meio Ambiente. São Paulo, Difel, 3º Ed, 1986

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informações: Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

ICMBio. Parna da Serra da Canastra. Disponível em:<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/cerrado/unidades-de-conservacao-cerrado/2090>. Acesso em 08 mar. 2013.

JARBAS J. *et al.* **Cambissolos.** EMBRAPA. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3o02wx5ok0wtedt3n5ubswf.html>. Acesso em: 05 out. 2016

SÁNCHEZ, Roberto O.; SILVA, Teresa Cardoso da. Zoneamento ambiental: uma estratégia de ordenamento da paisagem. **Cad. Geociências.** Rio de Janeiro, n. 14:47-53, abr. /jun. 1995.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S. C. Tutorial de Cartografia Geomorfológica. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiás, v. 3, n. 2, 64 p. Dez. 2009.

SOUZA, D. A. de. **Mapa Geomorfológico da Serra da Canastra e Entorno.** 2015. 66 f. Monografia – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

SOUZA, D. A. Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco-MG. Uberlândia. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2017 .

SOUSA, D. M. G de; LOBATO, E. Glei Pouco Húmico / Gleissolo Háplico. EMBRAPA. Acesso em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_95_10112005101956.html>. Acesso em: 05 nov. 2016.

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Revista Espaço e Tempo.** São Paulo, n. 15. p. 39 – 49, 2004.

TOMAZZOLI, E. R. Evolução Geológica do Brasil Central. **Sociedade e Natureza.** v. 2 n. 3, p. 11-29. Jun. 1990.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE. 1977. 96 p.

ESTUDO DE ÁREAS ÚMIDAS (WETLANDS) DO CERRADO COM BASE EM SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS DE SATÉLITES PROCESSADAS EM NUVEM

Eder Renato Merino
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF | CEP 70910-900
E-mail: eder.merino@unb.br
Milena Tayamara Gomes de Sousa
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF | CEP 70910-900
E-mail: tayamara28@gmail.com
Vinicius Yann Gomes Rocha
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF | CEP 70910-900
E-mail: vinicius.gea@outlook.com
Pedro Alves da Silva
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF | CEP 70910-900
E-mail: pedro.allves1998@gmail.com
Wallace Vieira da Silva
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF | CEP 70910-900
E-mail: wallace.silva@ipam.org.br
Amanda Marques Lima
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF | CEP 70910-900
E-mail: amandamgea@gmail.com
Ayronn Medina Zago Assen
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF | CEP 70910-900
E-mail: ayronnmedina@gmail.com

1. Apresentação/Problemática

Wetlands são regiões transitórias entre sistemas aquáticos e terrestres, sujeitos a alagamentos sazonais ou permanentes e estão entre os ambientes mais diversificados do planeta. Tais áreas desempenham papel primordial na deposição e transporte de sedimentos, recarga de aquíferos, armazenamento de carbono dentre outros fatores físicos, ecológicos e econômicos. Embora tenham se tornado ambientes-chave no gerenciamento de água e conservação da vida selvagem, ainda existem lacunas nas informações sobre seu funcionamento e dinâmica ambiental. O sensoriamento remoto (SR) por satélite oferece várias vantagens para o monitoramento de recursos de áreas úmidas, especialmente para grandes áreas e regiões de difícil acesso. Produtos e métodos de análise com base em dados orbitais têm sido amplamente utilizados para reconhecimento do padrão de inundação de áreas alagadas, consequentemente ajudando a ampliar o conhecimento dos processos geomorfológicos hidrológicos e ecológicos dessas regiões.

2. Objetivos

O presente estudo tem como objetivo apresentar um levantamento e caracterização e avaliação de mudanças ambientais de importantes wetlands do Cerrado brasileiro, bem como treinar e capacitar alunos de graduação em novas geotecnologias que estão revolucionando a análise ambiental globalmente, o Google Earth Engine.

3. Referencial Teórico

O Cerrado brasileiro é reconhecido como a mais rica entre as savanas, um *hotspot* da vida selvagem (MENDONÇA et al., 1998). Por outro lado, é também é um dos biomas mais ameaçados do planeta (LATRUBESSE et al., 2019). O Cerrado cobre cerca de 24% do território nacional e contribui com aproximadamente 14% da produção hídrica superficial do país, com diversas nascentes de importantes rios e *wetlands* tais como Xingu, Madeira, São Francisco, Tocantins e Araguaia (SCARIOT et al., 2005).

Wetlands englobam diferentes tipos de ambientes com variações em componentes naturais como hidrologia, dinâmica de inundação, solos e vegetação, e requerem abordagens especiais para avaliar a natureza de mudanças (FINLAYSON et al., 2018). A análise de séries temporais é uma ferramenta poderosa para mapear e analisar variações nas características e dinâmicas da paisagem de áreas úmidas e/ou outros biomas ao redor do mundo (ex. HANSEN et al., 2013). No entanto, esse tipo de estudo exige grande quantidade de dados baixados e demanda alta capacidade de processamento computacional, podendo levar muito tempo para análise ou até inviabilizar o estudo.

Atualmente, um grande número de conjuntos de dados de SR oferecem oportunidades únicas para estudos em várias escalas espaciais e temporais. Dentre muitas inovações recentes, o Google Earth Engine (GEE) se apresenta como uma nova plataforma baseada no processamento em nuvem, altamente adequada para análise de dados ambientais em escalas locais, regionais e planetária (GORELICK et al., 2017). Estudos utilizando o GEE têm proporcionado grande avanços nas pesquisas ambientais. PEKEL et al. (2016) analisaram uma série temporal de 35 anos de imagens Landsat indicando grandes transformações no montante de águas das águas continentais do planeta. PEREIRA et al. (2019) estimaram a área de pastagens degradadas no Cerrado, analisando as tendências de anomalias acumuladas entre 2001 e 2017.

4. Proposta de Metodologia

A viabilidade de processamento de longas séries temporais de imagens na plataforma online GEE é uma ótima ferramenta que pode trazer importantes contribuições para preservação dos biomas brasileiros e um salto técnico para professores, pesquisadores e estudantes que utilizam SR. Exemplos de grande sucesso de utilização do ser consultados gratuitamente na plataformas MapBiomas Brasil (https://mapbiomas.org/) e Global Surface Water Explorer (GSWE, https://global-surface-water.appspot.com/).

Para obtenção dos resultados está sendo realizada uma abordagem multi-disciplinar com base na análise de dados de SR, dados hidrológicos e mapeamento geomorfológico. As imagens de toda coleção dos satélites Landsat 5, 7 e 8 são analisadas com base no fluxograma apresentado na Figura 1. Imagens corrigidas das coleções TOA (*Top of Atmosphere*) Reflectance são processadas após eliminação prévia de pixels com nuvens. Para comparação entre os atributos estamos utilizando o índice de água *"Modification of the "normalized difference water index"* (MNDWI; XU, 2006, Equação 1) e o índice de vegetação *"Two-bands enhanced vegetation index"* (EVI2; JIANG, 2008, Equação 2):

Equação 1: (Green – SWIR*) / (Green + SWIR) * Shortwave Infrared

Equação 2: 2.5 × (NIR** – Red) ÷ (NIR+(2.4 ×Red)+1) ** Near Infrared

Para obtenção do mapa de frequência de inundação (FI) é necessário criar limiares para definição de categorias temáticas: "área inundada" e "não inundada". São atribuídos valor 1 aos *pixels* com água ou áreas úmidas e 0 para áreas secas. A FI é calculada pela soma de todas as imagens classificadas em uma operação de álgebra de mapas cujo produto final é uma imagem com valores de pixel variando de 0 a ∑n, na qual os *"end-members"* representam ausência ou ocorrência total de água durante o período analisado.

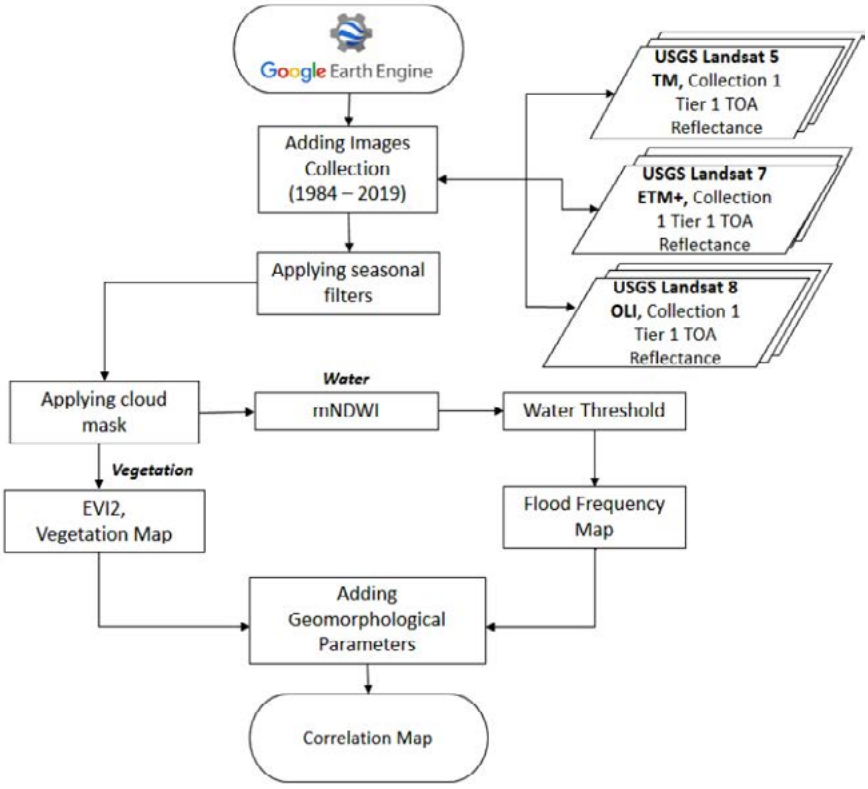


Figura 1: Fluxograma das etapas de processamento das imagens.

4. Resultados Esperados

Considerando a intensiva expansão agrícola, o desmatamento, o uso inapropriado da terra e dos recursos hídricos do Cerrado o presente trabalho espera obter como principais resultados: i) a caracterização geomorfológica de cada área selecionada; ii) identificação das principais mudanças ocorridas entre 1984 e 2020.

A pesquisa também visa: i) o treinamento dos alunos de graduação na prática e escrita de textos científicos; ii) treinamento dos alunos em ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto (ex. QGIS, ArcGIS, Global Mapper); iii) treinamento dos alunos para utilização da plataforma Google Earth Engine.

Agradecimentos

Os autores são gratos ao Programa de Iniciação Científica da UnB e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal pela concessão de bolsa de IC para MTGS (#00193.00002054/2018-91). ERM é grato aos Decanatos de Pesquisa e Inovação e de Pós-Graduação por financiamento concedido Edital N. 03/2020.

Referências

FINLAYSON CM, Milton GR, Prentice RC. 2018. Wetland Types and Distribution. **In** The Wetland Book: II: Distribution, Description and Conservation, Finlayson CM, Milton GR, Prentice RC, Davidson NC (eds). Springer Netherlands: Dordrecht; 1-17.

GAO, B.-c., 1996. NDWI—**A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space**. Remote Sensing of Environment, 58(3), 257-266.

GORELICK, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. Remote Sensing of Environment, 202, 18-27.

HANSEN, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G., 2013. **High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change**. Science, 342(6160), 850.

LATRUBESSE, E.M., Arima, E., Ferreira, M.E., Nogueira, S.H., Wittmann, F., Dias, M.S., Dagosta, F.C., Bayer, M., 2019. **Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome.** Conservation Science and Practice, 1(9), e77.

MENDONÇA, R.C., J.M. Felfili, B. M. T. Walter, M.C. Silva junior, A. V. Resende, T. S. Filgueiras & P. E. Nogueira, 1998. Flora vascular do Cerrado. **In** S.M. Sano e S.P. Almeida (editores) Cerrado: ambiente e flora. Edições Embrapa, Planaltina, DF, 556 p.

PEKEL, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., Belward, A.S., 2016. **High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes.** Nature, 540, 418.

PEREIRA, O.J.R.; Ferreira, L.G.; Pinto, F.; Baumgarten, L. Correction: Pereira, O.; *et al.* **Assessing Pasture Degradation in the Brazilian Cerrado Based on the Analysis of MODIS NDVI Time-Series**. *Remote Sensing* 2018, *10(11)* 1761. *Remote Sens.* 2019, *11*, 2491.

SCARIOT, Aldicir, José Carlos Sousa-Silva, and Jeanine Maria Felfili. 2005. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação.** Ministério do Meio Ambiente, 439p.

XU, H., 2006. **Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery.** International Journal of Remote Sensing, 27(14), 3025-3033.

EVOLUÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTO APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO IPIRANGA

João Pedro de Almeida Castanheira Gama
Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua Adolpho Kirchmaier, 42, 36036-630
E-mail: jpedrodacg@gmail.com
Ricardo Tavares Zaidan
Departamento de Geociências-ICH-UFJF- Sala B-III-03
Campus Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Bairro São Pedro
CEP: 36036-330 – Juiz de Fora – MG
E-mail: ricardo.zaidan@ufjf.edu.br

Apresentação/ Problemática

Para a morfogênese do relevo, os movimentos de massa apresentam grande importância por sua alta capacidade de esculpir suas formas. Para o ser humano, no entanto, movimentos de massa apresentam riscos de perda material e de vida, bem como ocasionando possíveis perdas na qualidade ambiental (PECHINCHA & ZAIDAN, 2016); logo, modelos de predição baseados em parâmetros físicos do solo e na estrutura do terreno são desenvolvidos para calcular a probabilidade ou a susceptibilidade de ocorrência de movimentos de massa em uma determinada região.

A Bacia Hidrográfica do Córrego Ipiranga – localizada à margem oeste do rio Paraibuna, no município de Juiz de Fora, apresenta grande potencial para ocorrência de movimentos de massa, comprovada através dos noticiários de ocorrências em jornais, resultante das suas características geológicas e geomorfológicas (ROCHA, 2005).

Objetivos

O presente estudo busca realizar uma análise e predição de riscos movimentos de massa a esta área, onde, previamente, tais estudos não haviam sido realizados, utilizando a ferramenta TauDEM, para identificar áreas com alta susceptibilidade a ocorrência de movimentos de massa e comparando tais áreas à um mapa de uso e ocupação com intuito de caracterizar a presença de risco, integrando o produto à uma série temporal em esforços futuros para estabelecer uma evolução da susceptibilidade.

Referencial Teórico

Este estudo se baseia nos conceitos de Perigo e Risco como apresentados por Cerri e Amaral (2004) e Marcelino (2008). A definição de Risco é baseada em dois fatores importantes: o perigo e a vulnerabilidade. Nesse contexto, o perigo é definido como a probabilidade de que um determinado evento natural danoso ocorra.

Vulnerabilidade, por sua vez, é caracterizada pela capacidade de um ambiente socialmente construído de suportar a ocorrência de tais eventos danosos onde há a possibilidade de perdas econômicas, ambientais, físicas e sociais.

Apesar de movimentos de massa serem amplamente conhecidos, o conceito em si possui algumas variações de acordo com a área de estudo em que se insere. Neste estudo, baseado na geomorfologia e no geoprocessamento aplicado, o conceito de movimentos de massa utilizado foi caracterizado por Guerra e Marçal (2006) como sendo o transporte coletivo, influenciado principalmente pela gravidade, de material rochoso e/ ou de solo, potencializado ou não pela ação da água.

O SinMAP (*Stability Index Mapping*), desenvolvido pelos professores da Universidade de Utah por Robert T. Pack, David Tar boton e Craig Goodwin (2001), tem sido muito utilizado nos últimos anos pela sua facilidade de interface com o usuário e apresentação de resultados satisfatórios. Este se baseia em modelos digitais de elevação e parâmetros físicos do solo para calcular a probabilidade de movimentos de massa ocorrerem, no entanto, este modelo fora desenvolvido para utilização em softwares já ultrapassados, logo apresentando problemas de operação e incompatibilidades com as versões atuais.

O conjunto de ferramentas TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*), desenvolvido por David Tarboton (2016), é composto por ferramentas para análise da hidrografia e, em suas versões mais recentes, recebeu a integração da ferramenta SinMAP, atualizada para funcionamento em versões de softwares atuais.

Metodologia

A metodologia consiste na aplicação do modelo SinMAP à área da Bacia Hidrográfica do Córrego Ipiranga (BHCI), município de Juiz de Fora, gerando um mapa do Índice de Estabilidade da área da bacia.

Para calibragem do modelo, são utilizados parâmetros geotécnicos levantados a partir de dados de campo contidos no trabalho de Fonseca et. al. (2016), tendo em vista a similaridade das condições climática e morfológica em ambas as áreas, as quais são bacias hidrográficas vizinhas.

O SinMAP utiliza, também, dados topográficos do relevo caracterizados por um modelo digital de elevação gerado a partir de curvas de nível com equidistância de 1m, obtidas no levantamento LiDAR de 2007 contratado pela prefeitura de Juiz de Fora (ESTEIO, 2007).

As informações de uso e ocupação serão obtidas a partir da rotina de classificação supervisionada do ArcMAP sobre imagens geradas através dos satélites da série Landsat, culminando na geração de mapas de Uso e Ocupação da superfície.

Em seguida, será realizada a integração destes planos de informação com objetivo de observar a distribuição das áreas de risco em cada classe de uso identificando a proporção da ocorrência de cada feição do índice de estabilidade em cada classe de uso e ocupação, para assim gerar um gráfico para uma visualização simplificada.

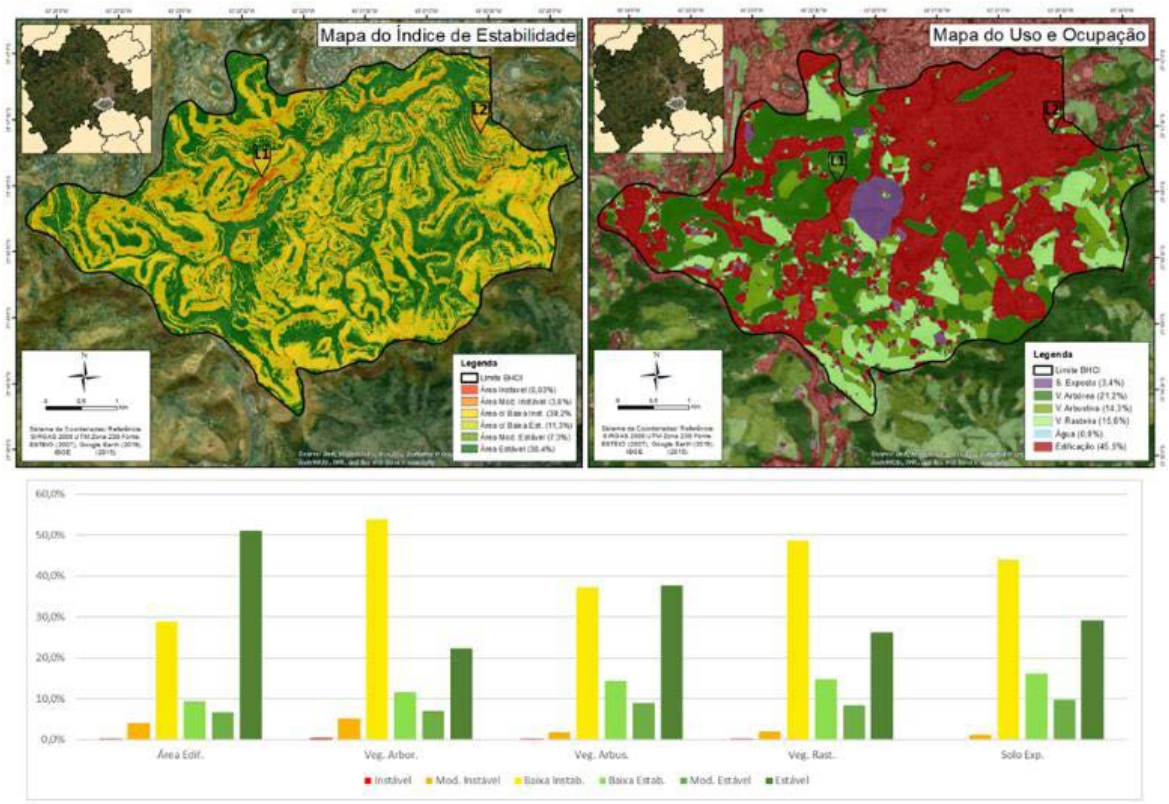


Figura 1: Exemplo dos mapas do índice de estabilidade e mapa do uso e ocupação com a comparação em forma de gráfico, baseados no levantamento de 2007. Fonte próprio autor, 2020.

Os mapas de índice de estabilidade e de uso e ocupação da superfície serão integrados utilizando a ferramenta Sobreposição Ponderada do ArcMAP. Para calibragem desta, foram dadas notas de risco baseadas na possibilidade de perda material e/ou de vida de 1, risco mínimo, a 9, risco máximo, de acordo com a definição de risco de Marcelino (2008).

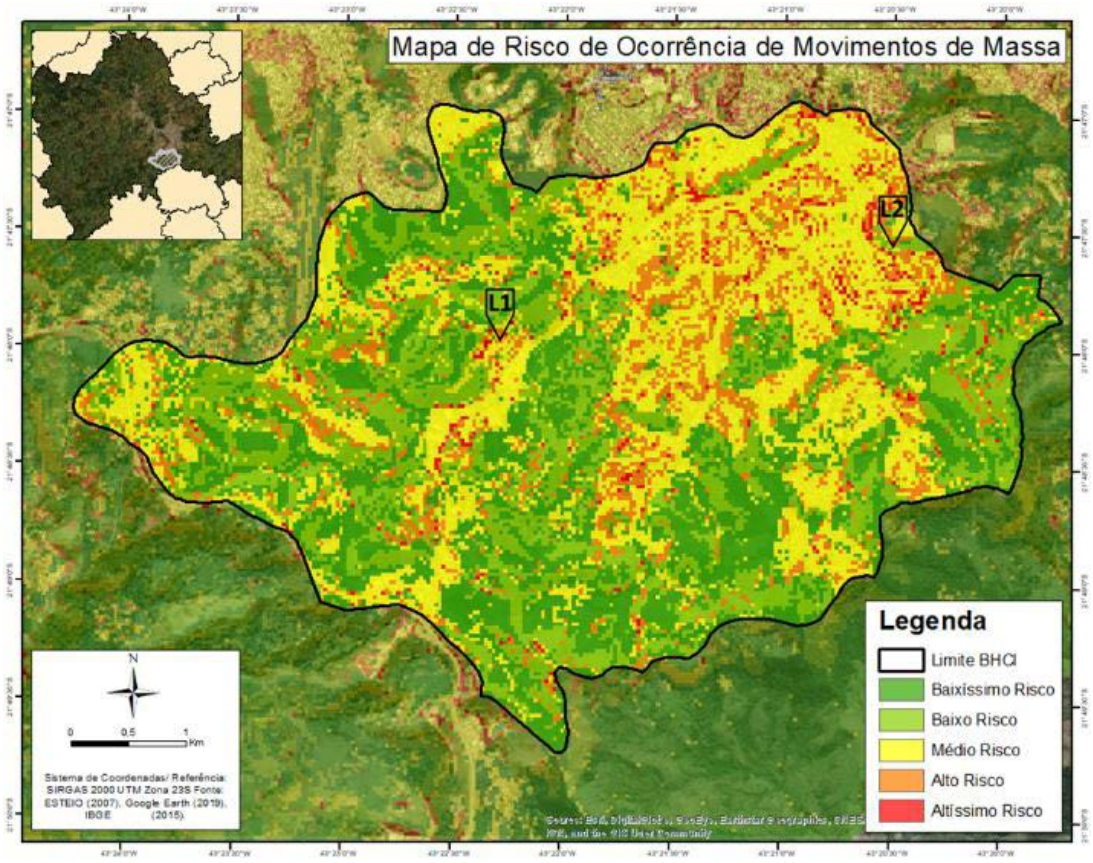


Figura 2: Exemplo do mapa de Risco de Ocorrência de Movimentos de Massa baseado no levantamento de 2007.

Esta classificação de risco será aplicada na série temporal iniciada a partir de imageamentos de 1983 em intervalos de aproximadamente oito anos, com intuito de estabelecer um perfil evolutivo do risco a movimentos de massa relacionado à evolução progressiva do uso e ocupação da superfície levando em conta a expansão urbana visível no local.

Resultados Parciais e Esperados

Com a integração das informações obtidas nos mapas de índice de estabilidade com o conjunto de dados dos mapas de uso e ocupação, espera-se que seja possível observar uma correlação direta entre o avanço da expansão urbana e o aumento do risco causado pela susceptibilidade de ocorrência de movimentos de massa, onde áreas previamente desocupadas que apresentavam níveis de risco baixos passam a receber maiores valores de importância na classificação do risco.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Laboratório de Geoprocessamento Aplicado da UFJF e seus integrantes pela orientação e apoio, e à PROPP UFJF pelo fomento à pesquisa por meio de bolsas de Iniciação Científica.

Referências:

Costa, R. M. **Ação antropogênica sobre o relevo e sua influência na modelagem de predição de escorregamentos e de risco na bacia hidrográfica do Córrego Tapera, Juiz de Fora -MG**. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. 2019.

ESTEIO-S/A. **Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Juiz de Fora**. Curitiba: ESTEIO S/A, 2007. (1:2000).

Fonseca, L. M. D.; Lani. J. L; Fernandes Filho E. I.; Marques, E. A. G.; Ferreira, W. P. M. Avaliação da Erodibilidade de um Cambissolo de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Geotecnia**. N. 136, março 2016. p. 143 - 156.

Marcelino, E. V**.** Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. Cadernos Didáticos** n.1. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Santa Maria, 38p, 2008.

Pechincha M. G. H. & Zaidan R. T.. Análise da Qualidade Ambiental Urbana Através de Ambiente SIG: Uma Aplicação no Município. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, V. 68, Nº 2, p. 355-371, Fev/2016

Prefeitura de Juiz de Fora. **Plano Diretor de Desenvolvimento de Juiz de Fora - Diagnóstico**. Juiz de Fora, 2004.

Rocha, G. C. **Riscos Ambientais: Análise e Mapeamento em Minas Gerais**. Juiz de Fora : Ed. UFJF, 2005. 126p.

EXPRESSÃO MORFOMÉTRICA E PADRÕES FLUVIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIRAPETINGA-MG.

Sandra Monteiro Ferraz Morais
Instituto Federal do Sul de Minas Gerais-IFSULDEMINAS/Campus Poços de Caldas
Avenida Dirce Pereira Rosa, 300. CEP: 37713-100
E-mail: sandra.ambiental2016@gmail.com
Thomaz Alvisi de Oliveira
Instituto Federal do Sul de Minas Gerais-IFSULDEMINAS/Campus Poços de Caldas
Avenida Dirce Pereira Rosa, 300, Sala 26. CEP: 37713-100
E-mail: thomaz.oliveira@ifsuldeminas.edu.br

Resumo

A morfometria da rede de drenagem e dos canais a ela correlatos pode revelar o condicionamento promovido pelas litoestruturas que acabam por definir a intensidade e a direção dos processos erosivos e deposicionais e a quantidade de água e sedimentos liberada no exutório máximo dos sistemas hidrográficos. O trabalho que ora se apresenta analisa a conformação morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga-MG, com base em índices e parâmetros lineares e areais, e a padronagem assumida pelos canais componentes da rede hidrográfica. As interpretações voltam-se às considerações sobre relação da geometria fluvial com o contexto litoestrutural que embasa a unidade.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Geometria de canais; Litoestrutura.

1. Introdução

Em linhas gerais os estudos que se lançam à análise integrada do meio físico estão focados, inicialmente, no entendimento dos mecanismos que levaram à elaboração de formas e padrões de relevo e drenagem específicos, não raro, ajustados às condições do arcabouço litoestrutural presente. Sob a luz da geomorfologia essa caracterização pode ser orientada à uma diversidade de propósitos, como à investigação das áreas mais propensas à ação de processos erosivos, ao estudo das áreas onde o uso da terra voltado à produção agrícola pode ser melhorado, às pesquisas sobre as áreas mais propensas às inundações em decorrência de eventos pluviométricos com grande aporte de água, dentre outros.

Lima (2008) comenta que a descrição do sistema físico de bacias hidrográficas passa pelo levantamento das características morfométricas e morfográficas integradas às informações geológicas, vegetacionais, de antecedentes de uso e ocupação da terra, ou seja, das informações que, integradas, conseguem ilustrar o quadro sistêmico da unidade em análise, onde os materiais mobilizados pelos processos de erosão, transporte e deposição, obedecem a uma sequência lógica de trânsito, cujo destino é um exutório final.

Para Garcez e Alvarez (1988) a configuração topográfica da bacia define as características do escoamento da rede de drenagem, bem como, o arranjo geométrico das formas a ela correlatas. Sem dúvida, a expressão topográfica de uma superfície é o resultado do somatório de uma série de fatores, dentre os quais, merece destaque o litoestrutural.

Bigarella (2003) comenta que o contexto estrutural é relevante para estudos do meio físico, principalmente para aqueles de cunho geomorfológico, quando influencia a constituição dos padrões de formas da superfície e define, por exemplo, as características e o comportamento da rede de drenagem ou a movimentação da topografia, em diferentes níveis escalares de abordagem.

Em acordo com Bigarella (2003), Ross (1991) e Christofoletti (1980) destacaram a importância dos estudos morfométricos que, integrados à outras informações do meio físico, como por exemplo, dados litoestruturais, tem grande potencial para auxiliar os trabalhos alocados no campo do planejamento do território.

Sobre a relação entre os padrões de drenagem e a geologia, Stevaux e Latrubesse (2017) afirmam que a complexidade do arcabouço geológico pode levar à superfície padrões fluviais complexos, ou seja, ajustados às definições lineares representadas por contatos litológicos e alinhamentos estruturais. Nesse contexto, Christofoletti (1980) assinala também que a integração de índices e parâmetros lineares e areais consegue personificar a relação existente entre os canais de drenagem componentes de um sistema hidrográfico e o arcabouço geológico que o embasa.

O potencial do mapeamento morfométrico integrado à dados do meio físico na mitigação de impactos ambientais advindos, por exemplo, de usos da terra inadequados é apresentado pelo célebre trabalho desenvolvido por Mendes (1993) na bacia hidrográfica do córrego Lafon-SP, que relacionou as características do escoamento pluvial com a perda de solos na bacia. Um outro exemplo é o trabalho desenvolvido por Marques Neto et al. (2008) que avaliaram parâmetros morfométricos na bacia hidrográfica do rio Cachoeira no intuito de nortear diretrizes a serem adotadas para melhor qualificação do uso da terra no âmbito da adoção de um plano de manejo em unidade de conservação.

Resultados alcançados a partir de estudos morfométricos orientados à compreensão das dinâmicas das vertentes e das drenagens tem revelado a importância do elemento geológico na conformação de padrões de superfície o que, sem dúvida, interfere também na direção e intensidade dos processos comandados pela gravidade. (OLIVEIRA; VIADANA, 2011; OLIVEIRA, 2014)

É nesse cenário investigativo que o estudo aqui apresentado tematiza o ambiente físico da bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga-MG, na escala 1:50.000, a partir da análise das características morfométricas dos canais fluviais. Valeu-se, para tanto, do levantamento de parâmetros lineares e areais da bacia, bem como da interpretação dos padrões assumidos pela rede de drenagem. As considerações daí derivadas, assentam-se na relação existente entre a geometria dos canais e o contexto litoestrutural que embasa a unidade.

2. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapetinga insere-se no contexto sul do estado de Minas Gerais sobre terrenos alçados a altitudes absolutas superiores a 1.000 metros em boa parte de sua área. A drenagem principal atravessa a área urbana do município de Botelhos e entrega suas águas ao rio Pardo, drenagem de maior hierarquia no contexto regional considerado. Segundo o mapeamento processado pela CODEMIG (2015, p. 5) os terrenos da bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga caracterizam uma superfície composta por "morros ondulados suaves de cotas predominantemente inferiores de 1200 metros" (Figura 1).

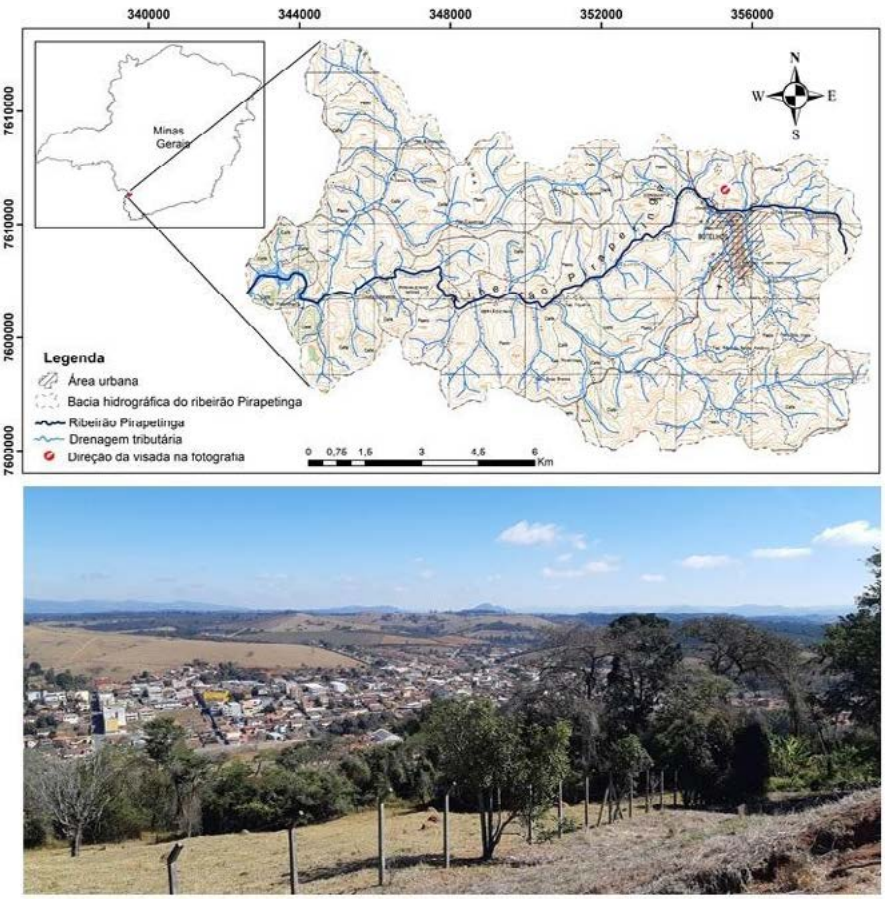


FIGURA 1: Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga-MG e aspecto morfológico dos terrenos correlatos.
Fonte: Os autores

3. Metodologia

A delimitação da área e elaboração da base cartográfica da bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga se deu a partir do georreferenciamento das folhas Botelhos SF-23-V-D-IV-1 e Caconde SF-23-V-C-VI-2, editadas pelo IBGE em 1970 e 1975, respectivamente.

Uma cena SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 30m x 30m, foi obtida gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos da América (USGS, 2021) e auxiliou os trabalhos investigativos sobre as declividades e altimetrias.

O mapa geológico-estrutural da área foi construído a partir do georreferenciamento, em ambiente SIG, do mapa geológico produzido pela CODEMIG (2015) com posterior recorte das informações específicas para a área.

A investigação clinográfica ocorreu mediante a definição de sete classes de declividades em software SIG específico, orientado à cena SRTM a partir do uso da ferramenta slope calibrada em graus. As classes de declividades determinadas foram: < 50; 50 — 100; 100 — 150; 150 — 200; 200 — 250; 250 — 300; > 300. A hipsometria, também derivada do estudo da cena SRTM, foi concebida utilizando-se o método manual da ferramenta Layer Properties, culminando na adoção, também, de sete classes hipsométricas, a saber: < 910m; 910m — 970m; 970m — 1030m; 1030m — 1090m; 1090m — 1150m; 1150m — 1210m; > 1210m.

A extração da rede de drenagem foi orientada pela digitalização manual dos canais fluviais nas cartas topográficas com ajustes auxiliados pela cena SRTM. A partir da composição da rede de drenagem foi possível analisar parâmetros lineares e areais, bem como a padronagem assumida pelos canais fluviais na bacia.

A hierarquia fluvial foi definida com a adoção da metodologia de Strahler (1952), permitindo a quantificação do número de canais de cada ordem e a definição do comprimento total dos canais de cada ordem (Lt) por soma direta em ambiente SIG. Permitiu ainda, aferir a relação de bifurcação (Rb) presente na bacia a partir da equação “Rb = Nu/Nu+1”, fundamentada por Horton (1945) em alusão à divisão entre o número de segmentos de uma ordem qualquer (Nu) pelo número de seguimentos da ordem imediatamente superior (Nu+1).

O comprimento médio dos canais de cada ordem (Lm) foi obtido pela adoção da expressão “Lm = Lu/Nu”, definida por Horton (1945), dividindo-se a soma dos comprimentos dos canais de cada ordem (Lu) pelo número de canais dessa mesma ordem (Nu).

O perímetro (P) e a área (A) da bacia foram obtidos de forma direta mediante digitalização da linha interfluvial principal em ambiente SIG. Em sequência foi estabelecido o comprimento axial da bacia (Lx), dado pela “maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro” (CHRISTOFOLETTI 1980, p. 113). O comprimento do rio principal foi estabelecido mediante a utilização do critério de hierarquização dos canais de drenagem a partir de Horton (1945) seguido da digitalização do segmento de maior ordem na bacia.

Investigações objetivando o reconhecimento da forma da bacia foram feitas com a aplicação de três índices, a saber: o índice de circularidade, o índice de conformação e o índice de compacidade. O índice de circularidade (Ic) trata da relação existente entre a área da bacia (A) e a área de um círculo de perímetro igual ao da bacia em foco (Ac), sendo expresso pela equação “Ic = A/Ac” (CHRISTOFOLETTI 1980). O índice de compacidade (Kc), define-se pela relação entre o

perímetro da bacia (P) e a circunferência de um círculo de área igual à da referida bacia (A), e a equação "Kc = 0,28 x P/√A" (GARCEZ; ALVAREZ, 1988) foi utilizada para a sua obtenção. Para a obtenção do índice de conformação (K) que representa a relação entre a área da bacia hidrográfica (A) e o quadrado de seu comprimento axial (Lx2) foi utilizada a equação "K = A/Lx2" (VILELLA; MATTOS, 1975).

O reconhecimento dos padrões de drenagem e da geometria dos canais presentes na bacia se deu a partir de fotointerpretação orientada à cena SRTM e da análise do traçado das curvas de nível nas Folhas Topográficas, apoiando-se em orientações transmitidas por Soares e Fiori (1976) e Steavoux e Latrubesse (2017).

Atividades em campo foram importantes para checagem das informações produzidas em gabinete e lapidação dos dados, garantindo melhor qualidade aos resultados.

4. Resultados

Cavalcante et al. (1979) denominaram a superfície morfológica na qual à área de estudo se insere de subzona de São José do Rio Pardo, pertencente à uma outra superfície mais ampla, denominada de Zona Cristalina do Norte. A subzona de São José do Rio Pardo, segundo os autores (op. cit.), compõe-se por relevo movimentado, dissecado em vales fechados e vigorosos, com expressivo reflexo tectônico, dado, por exemplo, pela elevação dessa superfície a altitudes superiores a 1.500 metros.

De forma mais específica, na bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga as declividades oscilam, em geral, entre 100 e 200, sendo que nos setores leste, sudeste e sudoeste, a inclinação angular das rampas pode chegar a valores superiores a 300. Altitudes entre 910 metros e 1.090 metros são predominantes e superfícies alçadas a cotas superiores a 1.210 metros encontram-se na porção sudeste (Figura 2).

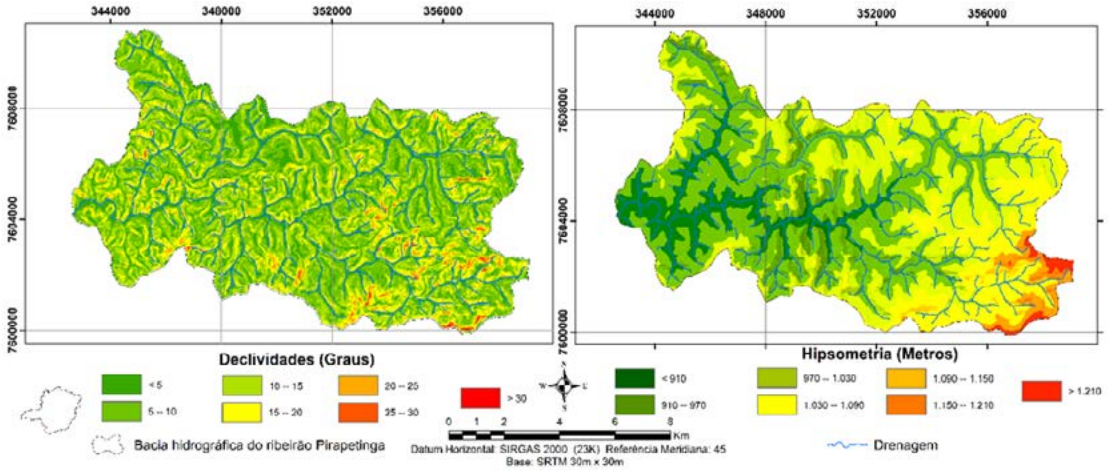


FIGURA 2: Declividades e hipsometria da bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga-MG.
Fonte: Autores

O arranjo geológico-estrutural da área é correlato, segundo Cavalcante et al. (1979), ao Complexo Varginha-Guaxupé, onde litotipos pré-cambianos passaram por reciclagem entre o proterozóioco superior e o cambriano. Tal como informa os autores (op. cit.) os contatos entre litologias de complexos distintos se fazem por falhas de significativa relevância regional.

A CODEMIG (2015), em mapeamento desenvolvido na escala 1:100.000, chama a atenção para a presença, na área, de litologias intensamente deformadas representadas pelas unidades: Ortognaisse Elói Mendes de bandagem milimétrica a centimétrica com alternância entre bandas félsicas e máficas, apresentando textura ígnea de granulação média a grossa; Leucogranito Botelhos, composto por biotita leucogranito, comumente deformado e milonítico, típico de metamorfismo atuante em zonas de falhas; gnaisses ortoderivados (que atestam retrometamorfismo presente) e paragnaisses do Complexo São João da Mata, caracterizados pela presença de bandeamento em estruturas migmatíticas de composição granítica com bandeamento milimétrico a centimétrico; e por sienogranitos e monzogranitos do Granitóide Serra da Água Limpa em contato transicional com gnaisses do complexo São João da Mata.

Na poção leste da bacia uma zona de cisalhamento transcorrente sinistral SW-NE marca o contato entre as unidades "Ortognaisse Elói Mendes" e "Complexo São João da Mata". Lineamentos estruturais alusivos às falhas e fraturas decorrentes da movimentação tectônica cambriana que perturbou na região ocorrem ajustados na mesma direção da zona de cisalhamento e também truncados a ela, na direção SE-NW (Figura 3).

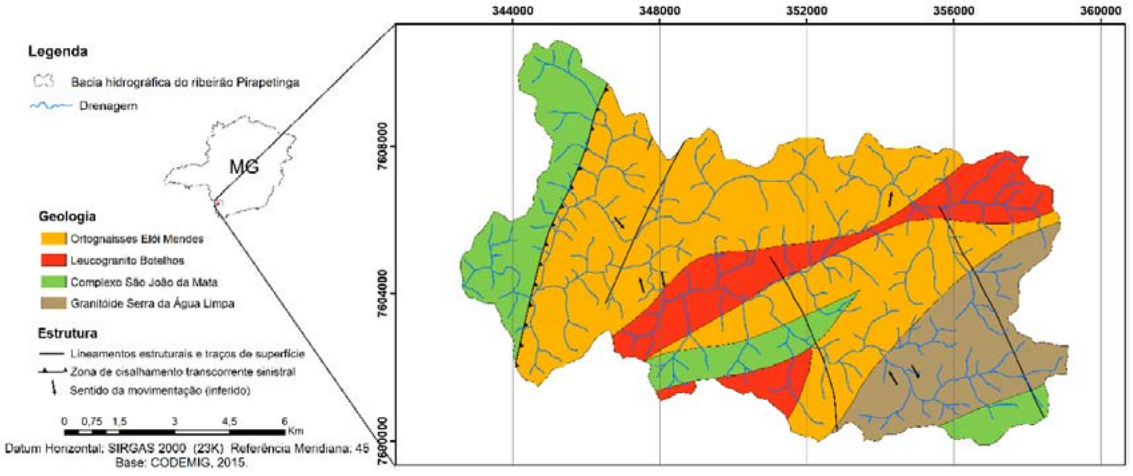


FIGURA 3: Contexto geológico-estrutural da bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga-MG.
Fonte: Os autores

A contextualização geológica da área esclarece de forma inconteste a importância assumida pela tectônica antiga no arranjo e posterior reafeiçoamento das litologias e traços estruturais que foram preponderantes para a organização da rede de drenagem, com reflexos na morfometria e nos padrões assumidos por ela na bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga. Esse cenário é comprovado pelos valores apresentados na análise dos índices e parâmetros lineares e areais da bacia.

Com 105,9 km2 de área, na bacia do Pirapetinga os canais de drenagem se organizam hierarquicamente em 5 ordens. Canais de 1a ordem são em número de 165 e somam um total de 108,46 km, sendo o comprimento médio dos segmentos desse nível hierárquico, 0,66 km. Canais de 2a ordem são representados por 42 segmentos com comprimento total de 41,93 km e comprimento médio 0,99 km. A 3a ordem hierárquica compõe-se por 8 segmentos que somam comprimento total de 16,93 km, sendo o comprimento médio igual a 2,12 km. Canais de 4a ordem são em número de 3, totalizando 14,59 km de comprimento e 4,86 km de comprimento médio. O segmento de ordem 5 na bacia tem 11,2 km de comprimento.

Reconhece-se que, dada sua extensão areal e a ordem hierárquica máxima, a bacia do Pirapetinga apresenta um número considerável de ramificações. O grau de ramificação entre as ordens, representada pela relação de bifurcação (Horton, 1945),

informa um valor de 3,9 entre os canais de 1a e 2a ordem e de 5,2 entre os canais de 2a e 3a ordens; de 2,7 entre os canais de 3a e 4a ordens e de 3,0 entre canais de ordem 4 e ordem 5. São os canais de 3a e 2a ordem que possuem o mais alto grau de ramificação, o que significa dizer que para cada canal de 3a ordem existem 5,2 canais de 2a ordem. Em ambientes cristalinos, a quantidade de ramificações (canais) e o grau de ramificação entre as ordens é reflexo direto de escoamento de superfície ajustado às falhas e fraturas presentes. Em geral, ao se adaptarem a esses lineamentos os canais fluviais passam a apresentar formatos longilíneos que também são assumidos, consequentemente, pelas bacias hidrográficas às quais estão associados. Na bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga são os canais de ordens 3, 4 e 5, ou seja, os mais extensos, que adaptaram seus cursos aos lineamentos estruturais e contatos entre corpos litológicos com orientações voltadas aos quadrantes NE-SW e NW-SE.

Nesse contexto, a aplicação do índice de circularidade revelou que a bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga se distancia do formato circular, uma vez que o resultado é consideravelmente inferior ao valor máximo a ser obtido para que a bacia seja exatamente circular, ou seja, 1. Os valores apresentados pelos índices de compacidade e de conformação chancelaram o resultado do índice de circularidade. Valores muito superiores a 1, para o índice de compacidade, indicam bacias hidrográficas cuja forma mais se aproxima do formato longilíneo em detrimento do formato circular. No caso do índice de conformação, valores muito inferiores a 1, indicam bacias cuja forma é mais longilínea em detrimento à circularidade (Tabela 1).

TABELA 1
Parâmetros e índices areais e lineares da Bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga-MG

Parâmetros Areais		
Parâmetro	**Valor**	**Unidade**
Perímetro (P)	59,25	km
Área (A)	105,9	km^2
Comprimento do rio principal (C)	21,75	km
Comprimento axial (L_x)	16,56	km
Índice de circularidade (I_c)	0,41	adimensional
Índice de compacidade (K_c)	1,61	adimensional
Índice de conformação (K)	0,38	adimensional

Parâmetros Lineares				
Ordem	**No de segmentos**	**Relação de bifurcação (Rb = Nu/Nu + 1)**	**Comprimento total dos canais de cada ordem Lt (km)**	**Comprimento médio dos canais de cada ordem (km) (Lm = Lu/Nu)**
1	165		108,46	0,66
		3,9		
2	42		41,93	0, 99
		5,2		
3	8		16,93	2,12
		2,7		
4	3		14,59	4,86
		3,0		
5	1		11,12	11,12
TOTAL	219		193,03	

Fonte: Autores

Importante destacar ainda que bacias hidrográficas com formatos longilíneos apresentam um cenário onde fluxos tributários entram em confluência com o canal principal em vários pontos do mesmo. Na unidade aqui em análise essa realidade é presente e a ela, associa-se um padrão de confluências perpendiculares entre tributários e canais de maior ordem, atestando, mais uma vez, o controle estrutural na conformação da rede de canais.

A fotointerpretação orientada à análise da geometria dos segmentos fluviais na bacia hidrográfica do Pirapetinga denunciou padrões característicos de superfícies sob controle estrutural significativo. Nesse contexto destacam-se: o padrão radial centrífugo, típico de ambientes geológicos dominados por estruturas intrusivas; e retangular, expresso pelo padrão ortogonal da rede de drenagem com confluências bruscas mudanças na direção dos canais fluviais formando "cotovelos" em resposta à presença linhas de falhas e diaclases, principalmente ao longo dos cursos dos canais de ordem 3, 4 e 5 (FIGURA 4).

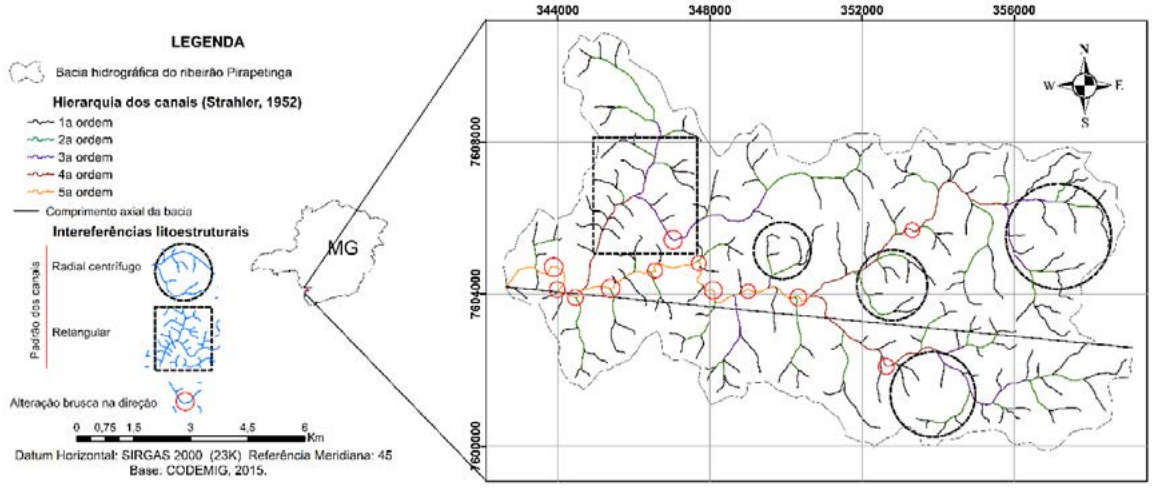


FIGURA 4: Geometria da rede de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga-MG.
Fonte: Autores

5. Considerações Finais

O objetivo principal desse trabalho foi sistematizar e integrar informações para que possam ser utilizadas em estudo de maior envergadura já em desenvolvimento, com vistas ao planejamento ambiental na mesma unidade hidrográfica.

As informações aqui prestadas, advém de observações em campo integradas a dados levantados em laboratório, concomitantes à consulta de bibliografia especializada.

O cenário descortinado pelo estudo não deixa dúvidas quanto à importância do contexto litoestrutural na conformação morfométrica da rede de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão Pirapetinga, bem como dos padrões a ela associados.

Assim, a partir de um olhar sistêmico, é de se reconhecer que o contexto geológico-estrutural da área deve ser fortemente considerado em qualquer estudo que esteja relacionado à investigação sobre o potencial de uso que a paisagem correlata à unidade de área em apreço tem, vislumbrando sua otimização e a minimização dos impactos dele decorrentes.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG pela concessão de bolsa de iniciação científica-IC e ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais-IFSULDEMINAS/Campus Poços de Caldas.

Referências

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora UFSC, 2003.

CAVALCANTE, José Carvalho *et al.* Geomorfologia e Geologia. In: BRASIL. Linório Kirino Kaefer. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto Sapucaí**: estados de Minas Gerais e São Paulo. 2. ed. Brasília: DNPM/CPRM, 1979. p. 30-36. (Geologia).

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2a ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015 [1980].

GARCEZ, L. N. ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2017 [1988].

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. America Bulettin**, 56 (3), p. 275-330, 1945.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Folha topográfica SF-23-V-C-VI-2 Caconde**. [Rio de Janeiro], 1975. Escala: 1:50.000.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Folha topográfica SF-23-V-D-IV-1 Botelhos**. [Rio de Janeiro], 1970. Escala: 1:50.000.

LIMA W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. 2ed. 2008.

MARQUES NETO, R; GONÇALVES, F.S; CO NCEIÇÃO, R.M; FERNADES, F.S; VIEIRA, F.R.M; SIMAS, N.G. Morfoemetria do Relevo na Bacia do Rio da Cachoeira no Contexto do Plano de Manejo da Floresta Nacional de Passa Quatro (MG). **RA´E GA**, Curitiba, n. 16, p. 119-128, 2008.

MENDES, I. A. **A Dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do Córrego Lafon – Araçatuba-SP**. 1993. 192 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MINAS GERAIS. Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais- CODEMIG. Governo de Minas Gerais. **Projeto Fronteiras de Minas**: folha Caldas SF.23-V-D-IV e folha Poços de Caldas SF.23-V-C-VI. Belo Horizonte: UFMG, 2015. 80 p.

OLIVEIRA, T. A. Compartimentação morfológica da bacia hidrográfica do ribeirão do Cambuí-MG, a partir de dados morfométricos e estruturais. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 5, n. 16, p. 115-120, out. 2014. Disponível em: https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/issue/view/117. Acesso em: 02 jul. 2021.

OLIVEIRA, T. A.; VIADANA, A. G. Condicionamento estrutural e consequências morfológicas para os terrenos inseridos no contexto da bacia do ribeirão do Salto, sul do estado de Minas Gerais-Brasil. In: XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2011. Dourados-MS. ***Anais***... Dourados: UFGD, 2011. p. 1-10.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. 2a ed. São Paulo: Contexto, 1991 [1990].

SOARES, P. C; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na interpretação de fotografias aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p.71-104, 1976.

STEVAUX, J.; LATRUBESSE, E.M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2017.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geol. Soc. America Bulletin**, 63, p. 1.117-1.142, 1952.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - **Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM**). Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 2 fev. 2020.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS E RELAÇÕES COM O USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS LAJES (BURITIZEIRO-MG): ENFOQUE NA DINÂMICA DE VEREDAS

Antonio das Graças José dos Santos Júnior
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38408-100
stos.jr@hotmail.com
Alan Silveira
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP 38500-000
alan.silveira@ufu.br

Introdução

A bacia hidrográfica do Ribeirão das Lajes é a área de estudo dessa pesquisa que se dedica a compreensão das ações antropogênicas no relevo. A bacia localiza-se no município de Buritizeiro (MG), posicionado na região do Norte de Minas, sendo afluente da margem esquerda do Rio São Francisco com área de 388,46 km² (Figura 1).

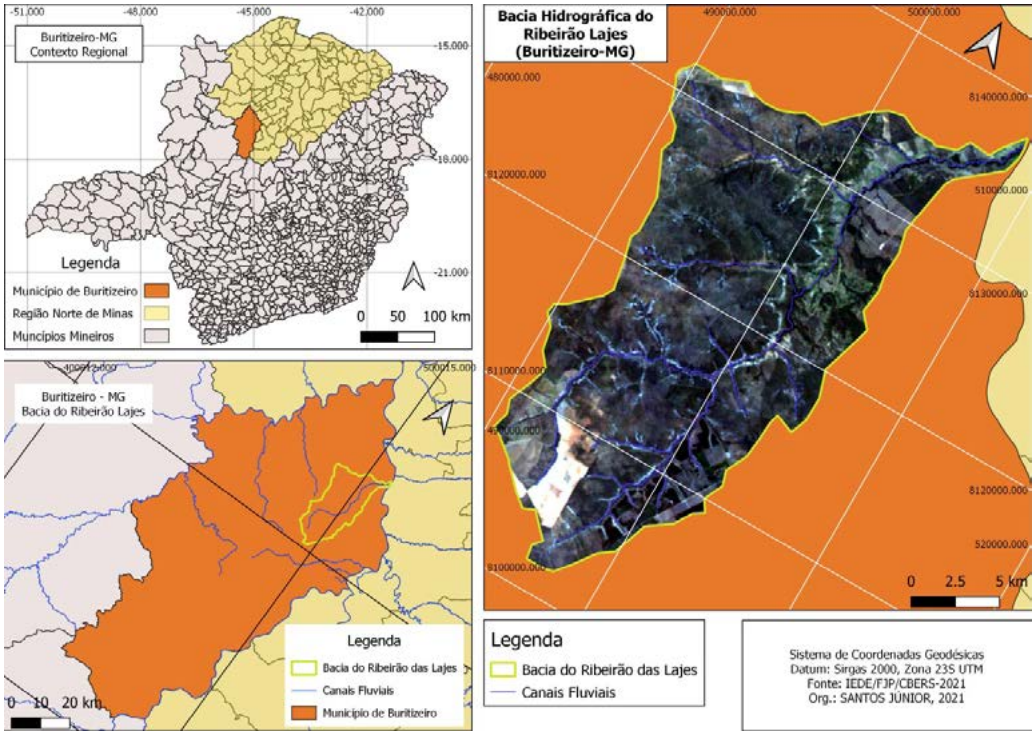


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Lajes.

A área é caracterizada pelas unidades de relevo Planaltos do São Francisco e Depressão Sanfranciscana, com litologias do Grupo Areado e Grupo Bambuí e predomínio de solos arenosos (TRINDADE, 2010). Segundo Souza e Souza (2018), o município de Buritizeiro vem passando pela substituição dos cerrados pelas florestas homogêneas de eucaliptos e pinos, assim como pelas monoculturas de soja e café. Na bacia do Ribeirão das Lajes observa-se o domínio da pecuária e silvicultura de eucalipto (Figura 2A e 2B). Destacam-se a supressão de cerrados e os impactos dirigidos às veredas, com recorrentes queimadas (2C e 2D) e redução do volume d'água (2E).

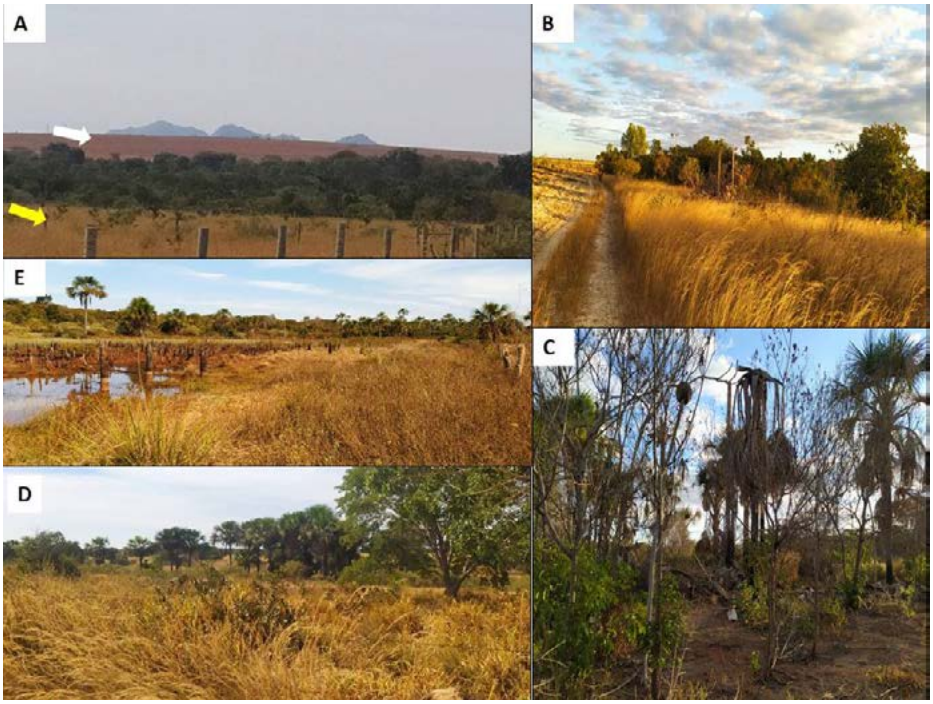


Figura 2: Uso e ocupação da terra na Bacia do Ribeirão das Lajes. 2A: Preparo para o plantio de eucalipto (seta branca) e área de pastagem (seta amarela). 2B: Contato direto da área do eucalipto com a vereda do Galhão. 2C: Queimada na vereda do Galhão, o que dificulta sua regeneção. 2D: Área de pastagem margeando a vereda do Galhão. 2E:Volume d'água reduzido na vereda do Galhão. Autor: Santos Junior (2021).

Objetivos

A pesquisa tem o objetivo de analisar as feições geomorfológicas e a suas relações com o uso da terra na bacia do Ribeirão das Lajes, com enfoque nas veredas, por meio da cartografia geomorfológica retrospectiva. Os objetivos específicos relacionam-se: à compreensão da dinâmica físico-natural da bacia; à averiguar o histórico de interferências promovidas, bem como das consequências derivadas, das ações antropogênicas nas feições geomorfológicas.

Referencial Teórico

A bacia hidrográfica tem sido constantemente utilizada para o ordenamento territorial, pois todas as áreas urbanas ou rurais estão inseridas numa bacia hidrográfica, dando-se assim a interconexão entre o meio físico e as atividades antrópicas (COSTA *et al.*, 2016). Essa interconexão e influência do sistema antrópico no sistema natural (geossistema), impõe-lhe ritmos diferentes e aceleram os processos com consequente alteração de suas escalas de tempo de ocorrência (PEREZ FILHO; QUARESMA, 2011).

Para Bertrand (2004) o geossistema corresponde uma unidade dimensional, constituindo como base para estudos de organização do espaço, resultante de uma combinação de fatores geomorfológicos, climáticos e hidrológico (potencial ecológico), exploração biológica e a ação humana. Sotchava concebe o geossistema como formações naturais e um sistema aberto, que são regidos pela dinâmica dos fluxos de energia e matéria, que podem sofrer modificações em decorrência da antropização (AMORIM, 2012). E com a cartografia geomorfológica se busca representar essa relação sociedade-natureza.

Cunha e Queiroz (2012) destacam que a cartografia geomorfológica é

um importante instrumento de verificação e previsão de impactos ambientais, bem como de planejamento e ordenamento espacial, onde a geomorfogênese é constituída por complexos mecanismos que atuam no presente e que atuaram no passado. Segundo Rodrigues (2005) a Cartografia Geomorfológica Retrospectiva diferencia de outras abordagens por considerar a interferência antrópica como "ação geomorfológica", que modifica as propriedades e localização dos materiais superficiais, bem como interfere nas taxas e balanços dos processos de forma direta e indireta (RODRIGUES, 2005).

Assim, a presente pesquisa tem como arcabouço teórico a concepção sistêmica da relação homem-natureza (ações antropogênicas no sistema físico-natural) e a Cartografia Geomorfológica Retrospectiva como meio para a investigação da antropização na Bacia do Ribeirão das Lajes.

Proposta de Metodologia

A pesquisa encontra-se em fase inicial de desenvolvimento e apresenta seu roteiro metodológico sequenciado em procedimentos apresentados na Figura 3.

Inicialmente, será realizada a revisão bibliográfica e cartográfica de trabalhos para a área de estudo e para a região de Buritizeiro, assim como o levantamento relacionado ao geossistema, à cartografia geomorfológica retrospectiva, às veredas, às bacias hidrográficas, entre outros.

Na sequência, propõe-se a organização da Base Cartográfica em escala 1:100.000, com base nas cartas da Diretoria de Serviços Geográficos do Exército (1973), que será suporte para os mapeamentos morfométricos fundamentados nos trabalhos de De Biasi (1992) e Hupb (1988). Complementa-se com a compilação de informações Geológicas e Pedológicas, com base nos trabalhos da CPRM (2002), CODEMIG (2013), EMBRAPA (1979), CETEC (1983) e FEAM (2010).

Em seguida serão realizados os mapeamentos de Uso e Ocupação da Terra (IBGE, 2013) e Geomorfológico (TRICART, 1965; VERSTAPPEN; ZUIDAM, 1975) para três cenários, a serem definidos entre o período de 1980 a 2021. O resgate de imagens de 1980 se justifica pelas constantes intervenções antrópicas na bacia: supressão do Cerrado, implantação de eucaliptais, criação extensiva de gado e recente expansão da cafeicultura. Nas cartas geomorfológicas se pretende mapear as feições denudativas e agradacionais, bem como os modelados de entalhes e antrópicos.

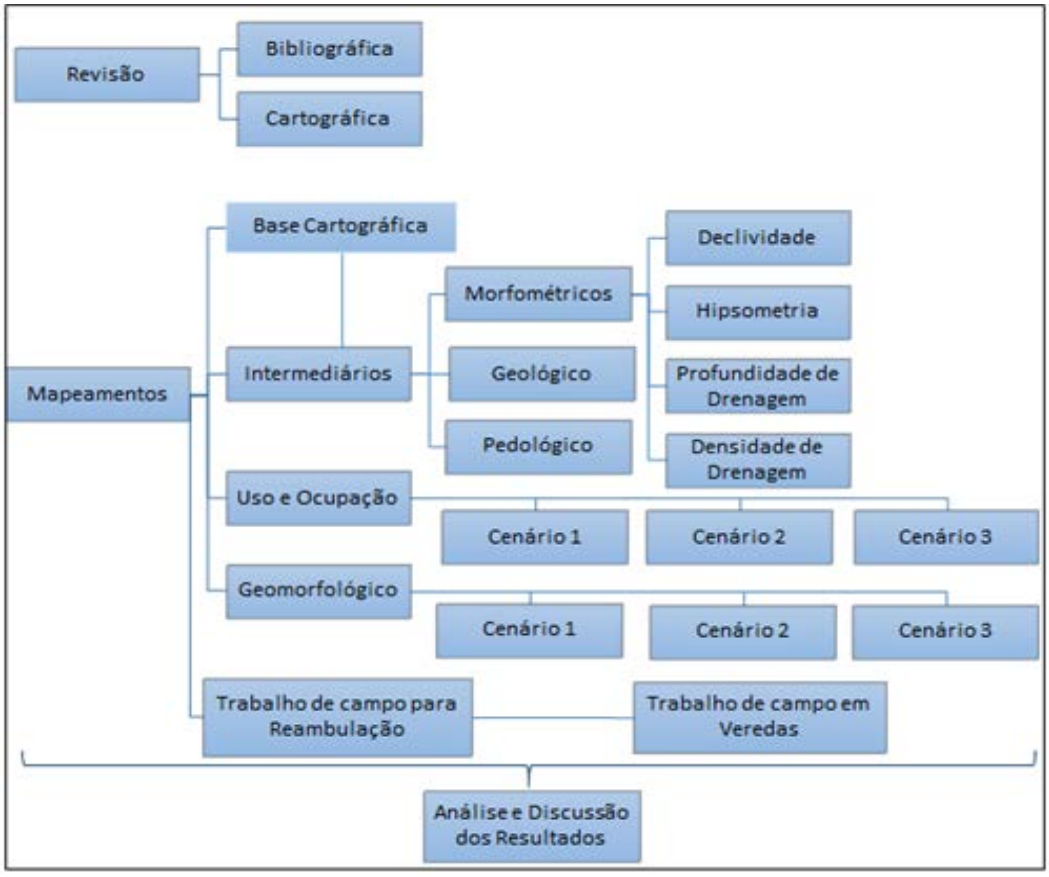


Figura 3: Roteiro metodológico da pesquisa.

Org.: Santos Junior, 2021.

Posteriormente aos mapeamentos se farão necessários trabalhos de campo para a reambulação dos mesmos, haja vista o contato direto com a realidade (VENTURI, 2011). Também se prevê a realização de trabalhos de campo específicos em veredas, sobretudo naquelas com maiores intervenções antropogênicas.

A partir desses procedimentos investigativos, visa-se compreender num primeiro momento a dinâmica físico-natural da bacia, e na sequência, investigar o histórico de interferências promovidas e as consequências derivadas das ações antropogênicas nas feições geomorfológicas.

5. Desafios e Dificuldades

Os principais desafios e dificuldades correspondem a disponibilidade de imagens aéreas da área de pesquisa, principalmente em resolução que possibilite o mapeamento das feições geomorfológicas em escala de detalhes. A princípio já foram selecionadas as imagens dos satélites Landsat5, Landsat8 (1984/2021) e do CBERS 4A (2021) que apresentaram resolução adequada para a fotointerpretação.

Outra dificuldade se refere à demanda de trabalho de campo, de modo a observar a totalidade da bacia e as veredas selecionadas. Isso demandará o planejamento do tempo e de recursos.

6. Resultados Esperados

A partir do roteiro metodológico apresentado na Figura 3, espera-se: compreender a dinâmica físico-natural da área de estudo, sobretudo quanto à sua dinâmica geomorfológica; avaliar as interferências promovidas e as consequências derivadas das ações antropogênicas nessa dinâmica geomorfológica; por fim, avaliar os impactos superficiais da ação antropogênica nas veredas, como enfoque conclusivo do trabalho.

Referências

AMORIM, R. R. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistema ambientais. **Caminhos da Geografia,** Uberlândia: v. 13, n. 41, p. 80-101, 2012.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **RA'E GA**. Editora UFPR, Curitiba: n. 8, p. 141-152, 2004.

CODEMIG. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico. Cartas Geológicas: Folha Ibiaí (**SE-23-X-B-VI**), Folha Pirapora (**SE-23-X-C-I**). Departamento de Serviço Geográfico, Belo Horizonte, 2013. Escala 1:100.000.

COSTA, C. W.; MOSCHINI, L. E.; LORANDI, R. Aquisição de dados geográficos em plataformas livres para estudos ambientais em bacias hidrográficas. In. MORAES, M. E. B. d., LORANDI, R. **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus, BA: Editus, 2016. ISBN 978-85-7455-443-3. E-book.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos. Carta Geológica: Folha Santa Fé de Minas (**SE-23-V-B-VI**), Folha Serra do Jatobá (**SE-23-V.B.III**) Gerência de Relações Institucionais e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 2002. Escala 1:100.000.

CUNHA, C. M. L.; QUEIROZ, D.S. A Cartografia Geomorfológica de Detalhe: Uma Proposta visando a Multidisciplinaridade. **Revista CLIMEP**. Rio Claro, vol. 7, nº. 1-2, p. 22, 2012.

DE BIASI, M. A Carta Clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.6, p. 45-60, 1992.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento exploratório** - reconhecimento de solos do Norte de Minas Gerais; área de atuação da SUDENE, por P.K.T. Jacomine, A.C. Cavalcanti, R.A. Formiga, F.B.R. Silva, N. Burgos, L.A.R. Medeiros, O.P. Lopes, H.F.R. Meio Filho, S.G.P. Pessoa e P.C. Lima, Recife, EMBRAPA/SN LCS—SUDENE/DRN, 1979.

FEAM. Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Mapa de solos de Minas Gerais**: legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente/UFV/CETEC/UFLA/FEAM, 2010. 49 p.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. **Diagnóstico ambiental do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1983. Iv. (Serie de Publicações Técnicas, 10.)

HUBP, J.I.L. **Elementos de Geomorfologia Aplicada** (métodos cartográficos). México: Instituto de Geografia, 1988, 128 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico do uso da Terra.** 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 10/06/2021.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. Diretoria de Serviços Geográficos Cartas Topográficas: Folhas Ibiaí (**SE-23-X-A-IV**), Serra do Jatobá (**SE-23-V-D-III**), Pirapora (**SE-23-X-C-I**) e Santa Fé de Minas (**SE-23-V-B-VI**)Departamento de Serviço Geográfico, Belo Horizonte, 1973. Escala 1:100.000.

PEREZ FILHO, A.; QUARESMA, C.C. Ação Antrópica sobre as Escala Temporais dos Fenômenos Geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, n.3, p.83-90, 2011.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista Do Departamento De Geografia**, 17, 101-111, 2005.

SOUZA, S.G.; SOUZA, A.F.G. a comunidade de Capão Selado – Buritizeiro MG e as transformações sócio-espaciais. **Revista Tocantinense de Geografia**, Araguaína (TO), Ano 07, n.13, agost./dez. de 2018.

TRICART, J. **Principes et Méthodes de la Geomorphologie.** Paris: Masson et Cie, 1965.

TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG:** fatores naturais e antrópicos. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2010. 111 f.

VENTURI, L. A. B. Técnicas e a observação na pesquisa. In. VENTURI, L. A. B. (org). **Geografia**: práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.

VERSTAPEN, H.T.; ZUIDAM, R.A. van ITC System of geomorphological survey. Netherlands, **Manuel ITC Textbook**, Vol. VII, Chapter VII, 1975.

FRAGILIDADE EMERGENTE DO MUNICÍPIO DE ANHUMAS-SP

Ariane Aparecida Santos da Silva
Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Ciências e Tecnologia
R. Roberto Símonsen, nº 305 - Centro Educacional, Presidente Prudente - SP, 19060-900
E-mail: ariane.aparecida@unesp.br

Resumo

O presente trabalho é resultado do trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de bacharel em geografia, ele apresenta produtos cartográficos temáticos que resultaram na elaboração do mapa de Fragilidade Ambiental (Emergente) do município de Anhumas-SP. Elaborados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) a partir de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponibilizados pelo Projeto TOPODATA – INPE, os mapas gerados (Fragilidade do relevo, Tipos de solos, Fragilidade Potencial, Uso e cobertura da terra e Fragilidade Ambiental Emergente) permitiram identificar a predominância de áreas com nível Forte de fragilidade ambiental e a análise individual das variáveis indicou que a ocorrência de processos erosivos lineares está relacionada aos usos e coberturas da terra, tais como pastagens e plantio de cana, do que aos tipos de solos que ocorrem na área e às características do relevo.

Palavras Chave: Diagnóstico ambiental; Modelo de fragilidade ambiental; Mapa de fragilidade ambiental; Erosão linear; Anhumas-SP.

1. Introdução

Segundo Ross (1995), o aumento da população e o avanço tecnológico fez com que se produzisse mais, interferindo de forma negativa no ambiente. Por esse motivo as pesquisas ambientais, cuja finalidade é a proteção do ambiente e a exploração racional dos recursos naturais, tem se intensificado.

Ainda segundo Ross (1995), os geógrafos sempre fizeram estudos da natureza e da sociedade, porém, com focos e abordagens metodológicas diferentes. Nas análises ambientais se tem os mesmos princípios da Geografia, cujo objetivo maior é entender as relações das sociedades humanas de um determinado território com o meio natural. Assim, a pesquisa ambiental na abordagem geográfica é fundamental para obter diagnósticos adequados e, a partir deles, elaborar prognósticos, tendo como objeto de pesquisa as sociedades humanas com seus modos de produção, consumo e o modo como tratam a natureza e se apropriam de seus recursos.

Nesse sentido, a pesquisa teve como intuito compreender alguns problemas ambientais presentes no município de Anhumas-SP, localizado na porção do Oeste Paulista, analisando o quadro e a incidência de processos erosivos no munícipio e na região. Identificando as fragilidades e potencialidades da área em questão.

No presente artigo, apresentam-se os produtos cartográficos que foram utilizados para a elaboração do mapa de Fragilidade Ambiental (Emergente).

2. Área de estudo

Anhumas possui uma área de 321,7 km^2, inserida na 10ª Região Administrativa de Presidente Prudente - Oeste Paulista. Limita-se com os munícipios de Presidente Prudente, Regente Feijó, Taciba, Pirapozinho e Narandiba (FIBGE,1996).

O munícipio de Anhumas localiza-se na Bacia Sedimentar do Paraná em domínios do Grupo Bauru- Formação Adamantina. A Formação Adamantina se apresenta na região como a mais importante por ser a formação geológica de maior expressão e representatividade, recobrindo as formações Serra Geral, Caiuá e Santo Anastácio e sendo recoberta, em áreas restritas por depósitos Cenozóicos holocênicos (IPT,1981).

De acordo com Ross e Moroz (1997), a área situa-se na unidade morfoescultural Planalto Central Ocidental Paulista, da unidade morfoestrutural Bacia Sedimentar do Paraná. Segundo Oliveira (1999) os solos predominantes na região são os Argissolos vermelho-amarelos distróficos e eutróficos abrúpticos ou não e, os Latossolos vermelhos distróficos.Segundo IPT (1981) o munícipio de Anhumas possui colinas médias com predomínio de interflúvios com áreas de 1 a 4 km^2, topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos e possui drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

De acordo com o IPT (1997, 2012) a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Pontal do Paranapanema (UGRHI 22) é uma região que possui alta suscetibilidade a erosão sendo, por esse motivo, de fundamental importância a análise e estudo da ocorrência dos processos erosivos nessa região. Para melhor análise do fenômeno, escolheu-se o município de Anhumas-SP como área de estudo, pois este município é um dos que possui maior número de ocorrências (por Km^2) de erosão na região, conforme se observa na Tabela 1.

Os dados da Tabela 1 explicitam que os municípios de Estrela do Norte, Santo Anastácio, Piquerobi, Alvares Machado, Anhumas, Regente Feijó e Presidente Bernardes são os mais críticos, pois apresentam pelo menos um processo erosivo a cada 2 Km^2, enquanto que a média de ocorrências erosivas na UGRHI 22 é um processo erosivo a cada 3,7 Km^2.

TABELA 1
Processos erosivos dos municípios do Pontal do Paranapanema (UGRHI 22)

Municípios	Área (km^2)	Total Rurais	Total Urbanas	Total	Densidade de erosões
Estrela do Norte	**268.207**	**254**	**8**	**262**	**0.965672**
Santo Anastácio	**419.995**	**310**	**1**	**311**	**0.740485**
Piquerobi	**200.039**	**136**	**0**	**136**	**0.614880**
Álvares Machado	**252.862**	**152**	**1**	**153**	**0.605077**
Anhumas	**320.136**	**178**	**6**	**185**	**0.577890**
Regente Feijó	**210.537**	**117**	**3**	**120**	**0.569971**
Pres. Bernardes	**525.364**	**272**	**5**	**277**	**0.523447**
Marabá Paulista	**915.524**	**371**	**2**	**373**	**0.411786**
Pres. Venceslau	**235.241**	**95**	**3**	**98**	**0.403841**
Pirapozinho	**493.495**	**171**	**8**	**179**	**0.346508**
Mirante do Paranapanema	**1251.86**	**399**	**4**	**403**	**0.320323**
Tarabai	**197.913**	**34**	**3**	**37**	**0.303164**
Indiana	**32.8078**	**9**	**2**	**11**	**0.274325**
Pres. Prudente	**114.355**	**26**	**26**	**52**	**0.253596**
Narandiba	**356.832**	**72**	**0**	**72**	**0.249417**
Taciba	**608.938**	**137**	**1**	**138**	**0.224982**
Martinópolis	**577.22**	**102**	**1**	**103**	**0.190569**
Caiuá	**268.204**	**44**	**0**	**44**	**0.167783**
Sandovalina	**441.79**	**64**	**0**	**64**	**0.153919**
Pres. Epitácio	**926.272**	**132**	**6**	**138**	**0.143586**
Iepê	**433.824**	**33**	**0**	**33**	**0.094508**
Nantes	**284.118**	**19**	**0**	**19**	**0.077433**
Rosana	**749.199**	**39**	**3**	**42**	**0.060064**
Euclides Da Cunha	**567.92**	**7**	**0**	**7**	**0.058107**
Rancharia	**135.917**	**3**	**0**	**3**	**0.02943**
Teodoro Sampaio	**1562.16**	**80**	**5**	**85**	**0.023045**

Fonte: Instituto de Pesquisas e Tecnológicas, Relatório Técnico nº 131.057-205, 2012

Organização: Moroz-Caccia Gouveia, I.C; Pimenta, J.P; Silva, A. A. S.

O município de Anhumas apresenta 184 ocorrências de focos erosivos, sendo que a maior parte deles encontram-se em estágio avançado, correspondendo a voçorocas. A Figura 2 apresenta a localização da área de estudo, município de Anhumas –SP e a Figura 3 apresenta as ocorrências de erosão no município.

Segundo Lal (2000), a erosão do solo é um fenômeno natural e complexo, produzido pela ação da água e dos ventos. Consiste em um processo que envolve desagregação, transporte e deposição de partículas e é influenciado pelo tipo de solo, pelas formas do relevo, pela cobertura da terra e sistema de manejo, além das práticas conservacionistas e, sobretudo, pelas chuvas no meio tropical úmido.

Na área do Pontal do Paranapanema assim como em toda porção oeste do estado de São Paulo, a ocorrência de processos erosivos relaciona-se principalmente à presença de solos arenosos e ao histórico de uso e ocupação do solo.

Segundo Sarquis (1996), no século XX, depois da penetração pioneira dos mineiros, o Oeste do Estado de São Paulo foi procurado pelos plantadores de café, em busca de terras férteis para o seu cultivo. A região Oeste do Estado de São Paulo ultrapassou mais de 60% da produção global do país, inserindo-se no comércio internacional do café. Este produto valorizou muito a região, e condicionou o surgimento de novas cidades.

Ainda de acordo com Sarquis (1996) a agricultura sustentada principalmente pelo café atingiu o seu apogeu de 1930 a 1940 e seu declínio está relacionado com a má conservação dos solos, às geadas que dizimaram as plantações, à grande crise internacional da época e à concorrência com a produção de outros países.

Com a crise do café, foi implantada na região a cultura do algodão, favorecida pela expansão da indústria têxtil e pelo interesse do mercado internacional, além de ser uma cultura anual e por isso, o ciclo de produção é mais rápido sendo vantajoso aos produtores (PERUSI, 2001)

Segundo Leite (1972), a cultura do algodão, além de trazer grande influência nas novas divisões de terras na Alta Sorocabana, motivou a instalação de importantes indústrias de descaroçamento, geralmente estrangeiras. Mas, alguns fatores influenciaram na queda da produtividade como: preços pouco compensadores, gastos elevados com inseticidas devido as pragas que atacaram os algodoais, fortes concorrências de outras lavouras, perda gradual da fertilidade do solo, ocorrendo assim, a partir de 1955, um decréscimo da produção.

Com a queda da produção do algodão a partir da década de 1950, os agricultores passaram a se dedicar ao cultivo de amendoim. O amendoim passou a ser o principal produto na maioria dos municípios pois o amendoim se adaptou aos solos da região, mas a cultura do amendoim agravou o quadro de erosão devido ao revolvimento da camada superficial do solo por ocasião das semeaduras (SARQUIS, 1996).

A pecuária, juntamente com a cultura do algodão, foi se tornando uma atividade importante na economia da região (PERUSI, 2001). Com o passar dos anos, a agricultura passou a não dar mais o retorno financeiro esperado. Devido a este fator, os agricultores optaram por vender suas propriedades para os fazendeiros da região e buscar outras alternativas para a adquirirem sua renda (SARQUIS,1996).

Segundo dados do FIBGE (1960) no município de Anhumas existiam 832 estabelecimentos de propriedades rurais, passando para 258 em 1995 e 1996, uma redução de 69%.

De acordo com Silveira (1977) a diminuição do número de estabelecimentos e das áreas de produção se deu devido a degradação dos recursos naturais, sobretudo, os solos.

Segundo Tominaga et al (2009),

Dentre os instrumentos técnicos mais indicados à prevenção de erosão acelerada destacam-se os mapas geotécnicos ou geoambientais, os quais por meio da caracterização e análise dos fatores naturais que influenciam a ocorrência de processos erosivos indicam a suscetibilidade ou potencial do terreno em desenvolver estes processos. Estas informações são importantes para orientar o uso e ocupação do solo, podendo ter aplicação em instrumentos legais de disciplinamento do uso do espaço territorial, como nos planos diretores municipais. (p. 65)

Assim, acredita-se que a produção de um Mapa de Fragilidade Ambiental contribuirá para um melhor conhecimento acerca das fragilidades do meio físico face às intervenções antrópicas na área de estudo.

3. Metodologia: As unidades ecodinâmicas e a fragilidade ambiental

Segundo Tricart (1977), o conceito de unidades ecodinâmicas é integrado ao conceito de ecossistemas, baseado no instrumento lógico de sistemas, que enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia e matéria no meio ambiente. A utilização do instrumento lógico dos sistemas permite identificar as modificações indiretas desencadeadas por uma intervenção. Essas intervenções afetam a cobertura vegetal que repercute na: energia da radiação que alcança o solo, queda de detritos vegetais na superfície do solo, na intercepção das precipitações e na proteção do solo contra ações eólicas e pluviais.

Ainda segundo Tricart (1977) existem três tipos de meios ecodinâmicos: meios estáveis, meios intergrades e os fortemente instáveis.

Ross (1990;1994), utiliza e aperfeiçoa esses conceitos afirmando que as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente são aquelas que através da interferência humana, tiveram seu ambiente modificado e as Unidades Ecodinâmicas Estáveis ou de Instabilidade Potencial são aquelas que estão em equilíbrio dinâmico e sem interferência humana. Em sua proposta para a análise empírica da Fragilidade Ambiental, o autor propõe que ambas as unidades sejam classificadas em diferentes graus desde o mais fraco ao mais forte.

Ross (1995), indica que a análise da fragilidade ambiental é resultado da análise integrada de características do relevo (gênese, morfologia, morfometria e morfodinâmica), tipos de solo, litologia, cobertura vegetal, uso da terra e pluviometria. "A obtenção desses dados requer levantamentos de campo e serviços de gabinete, a partir dos quais geram-se produtos cartográficos temáticos de geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia e uso da terra/vegetação." (ROSS, 1995, p.318).

Neste sentido, para a elaboração de um mapa de fragilidade ambiental é preciso inicialmente elaborar produtos cartográficos temáticos intermediários referentes ao relevo, aos solos, à geologia, aos aspectos climáticos, ao uso e cobertura da terra. Posteriormente, para cada uma das classes identificadas nos mapas temáticos são atribuídos níveis de fragilidade que variam entre Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte, de acordo com as orientações de Ross (1994).

Ross (1994), sugere que para escalas médias e pequenas (1:50.000, 1:100.000, 1:250.000 ou 1:500.000) seja utilizada como base de informação para a variável relevo os padrões de formas e índices de dissecação do relevo. Já para escalas de detalhe (1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 ou 1:2.0000) deve-se utilizar as formas de vertentes e as classes de declividades.

Na presente pesquisa, foram produzidos os mapas que resultaram na elaboração do mapa de Fragilidade Ambiental (Emergente) do município de Anhumas-SP. Para elaborar esses produtos cartográficos utilizou-se o programa ArcGis 10.3, a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponibilizados pelo INPE Projeto TOPODATA (Banco de dados geomorfométricos do Brasil).

Para a obtenção do mapa de fragilidade ambiental, será necessário compilar os mapas temáticos. Após a preparação dos mapas temáticos intermediários realiza-se a análise multifatorial, através de técnicas de geoprocessamento e finalmente, obtém-se o Mapa de Fragilidade Ambiental.

Para tanto, é necessário atribuir pesos(níveis de fragilidade que variam entre 1- Muito Fraca, 2 - Fraca, 3 - Média, 4 - Forte e 5 - Muito Forte) para cada uma das classes identificadas nos mapas temáticos.

Para o mapa clinográfico foram atribuídos os níveis de fragilidade, conforme o Quadro 1 e para o mapa de curvatura do terreno, foram atribuídos os níveis de fragilidade presentes no Quadro 2.

QUADRO 1
Classes de declividades e níveis de fragilidade

Classes de declividades	Níveis de fragilidade
Até 6%	Muito fraca
6-12%	Fraca
12-20%	Média
20-30%	Forte
Acima de 30%	Muito forte

Fonte: Ross (1994)

QUADRO 2
Curvatura do terreno e níveis de fragilidade

Classes de curvatura	Níveis de fragilidade
Retilínea	3- Média
Convexa	4- Forte
Côncava	5-Muito forte

Fonte: Ferreira, Ferreira e Moroz-Caccia Gouveia (2016)

Da mesma maneira, os atributos identificados nos demais mapas que foram produzidos(Mapa pedológico e Mapa de Uso e Cobertura da Terra) receberão níveis de fragilidade, conforme exemplificado nos Quadro 3 e 4.

QUADRO 3
Classes de Solos e níveis de fragilidade

Classes de solo	Níveis de fragilidade
Latossolos	1- Fraca
Nitossolos	3- Média
Argissolos	4- Forte
Gleissolos	5-Muito Forte face às inundações e instabilidade do terreno

Fonte: Ross (1994)

QUADRO 4
Uso e Cobertura da terra e níveis de fragilidade:

Classes de uso	Níveis de fragilidade
Cobertura florestal	1 - Muito Fraca
Silvicultura	2 - Fraca
Áreas urbanizadas	3 - Média
Cana	4 - Forte
Pastagem	4 - Forte
Cultura temporária	4 - Forte

Fonte: Ross (1994)

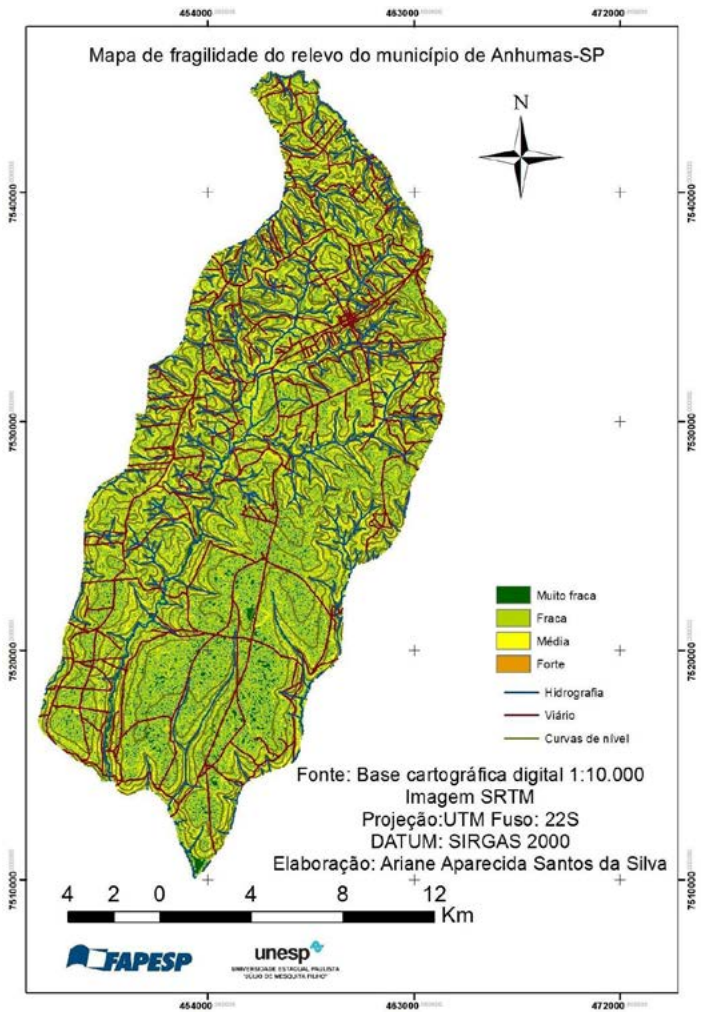
4. Resultados e discussões: Mapas físicos do município de Anhumas -SP

A seguir, apresentam-se os mapas elaborados na pesquisa.

A figura 1 corresponde ao mapa de fragilidade do relevo do município de Anhumas-SP, resultante do cruzamento do mapa clinográfico e do mapa de curvatura do terreno. Observa-se a predominância da classe de fragilidade Fraca.

FIGURA 1: Mapa de fragilidade do relevo do município de Anhumas – SP
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Na figura 2 apresenta-se o mapa dos tipos de solos do município de Anhumas-SP . Observa-se a predominância dos Argissolos .



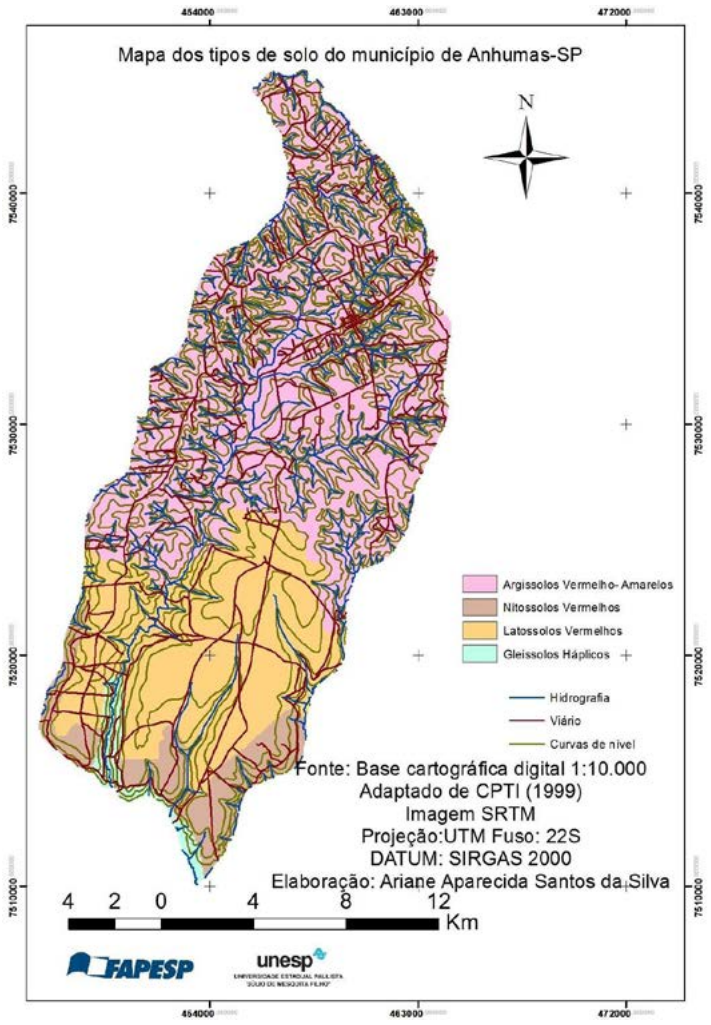


FIGURA 2: Mapa dos tipos de solos do município de Anhumas – SP
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Fonte: Pedologia CPTI. Relatório da situação dos recursos hídricos da bacia do Pontal do Paranapanema. São Paulo, 1999, atualizado com a nomenclatura mais recente da Embrapa, 2012 1:600.000.

Ao correlacionar o Mapa de Fragilidade do Relevo, com os níveis de fragilidade de cada um dos tipos de solos, obtém-se o Mapa de Fragilidade Potencial. Esse produto cartográfico identifica na área de estudos níveis de fragilidade natural aos processos lineares.

A Figura 3 apresenta o Mapa de Fragilidade Potencial. Conforme se observa, prevalecem na área níveis médios de fragilidade potencial. Ou seja, em função das características do relevo e dos solos, a área apresenta susceptibilidades entre muito fraca a média aos processos erosivos lineares, embora uma parte apresente fragilidade forte.

A figura 4 apresenta o mapa do Uso e Cobertura da terra do município de Anhumas-SP. Observa-se a predominância da pastagem e secundariamente, do cultivo de cana de açúcar.

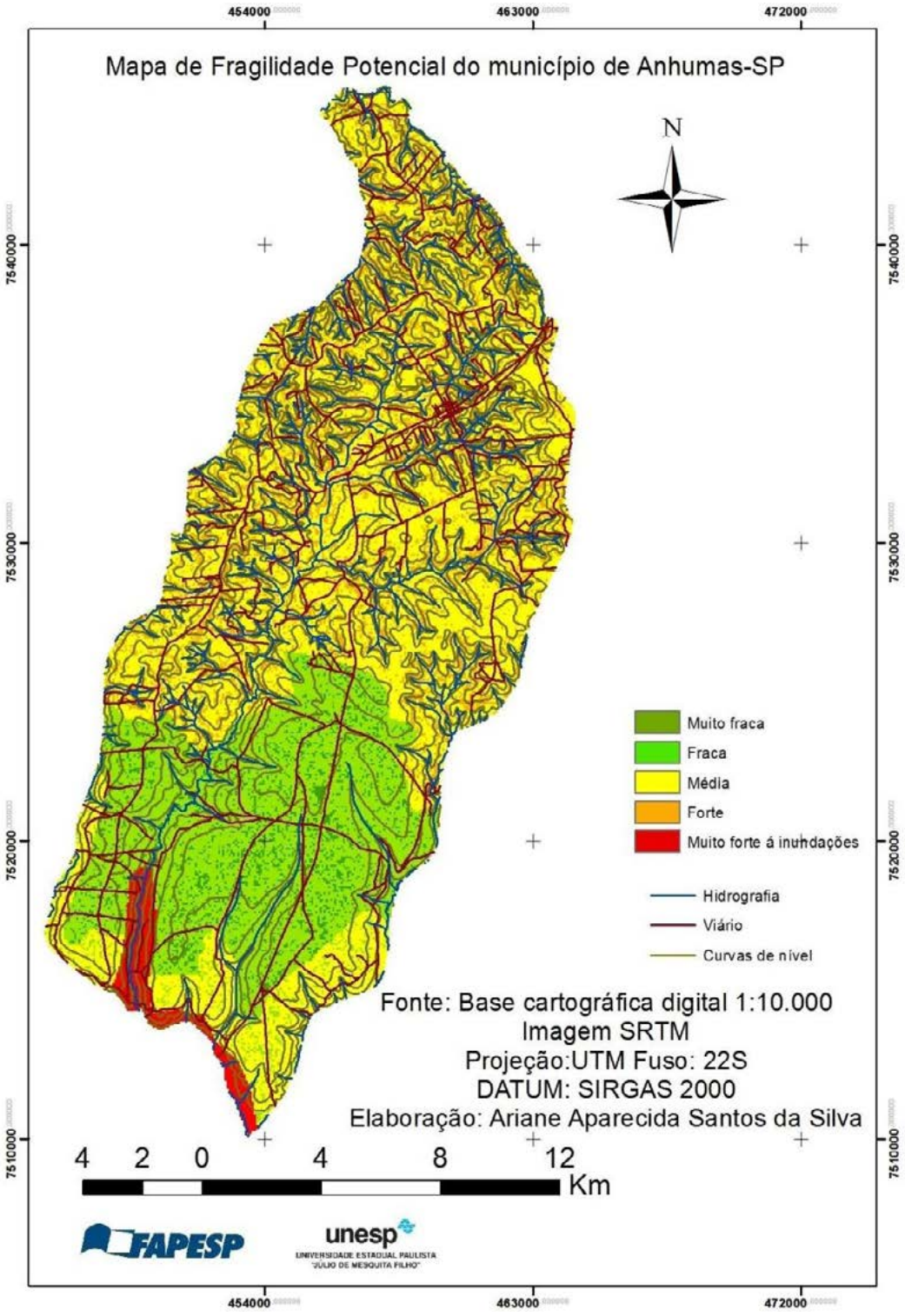


FIGURA 3: Mapa de Fragilidade Potencial
Fonte: Elaborado pela autora, 2018

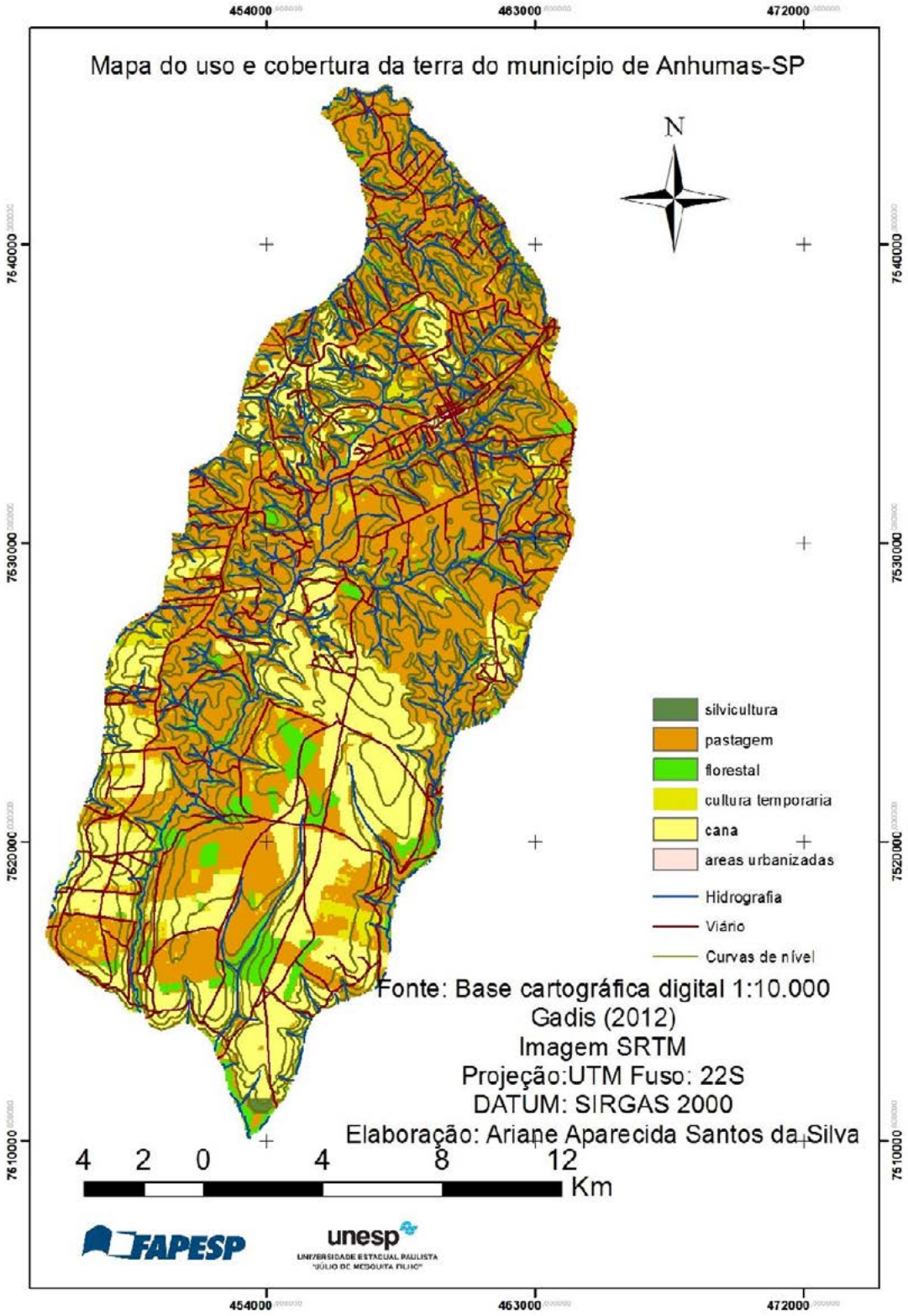


FIGURA 4: Mapa do uso e cobertura da terra do município de Anhumas-SP
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.
Fonte: Uso e Ocupação das Terras 2012 Gadis, 2012. 1:250.000

A Figura 5 corresponde ao Mapa de Fragilidade Ambiental do município de Anhumas - SP, resultante da análise multicriterial ponderada dos mapas intermediários (Fragilidade Potencial e Uso e Cobertura da Terra).

A análise do mapa de Fragilidade Ambiental permite verificar que na área de estudo predominam as classes de fragilidade ambiental Forte e Média. Ao comparar com o Mapa de Fragilidade Potencial, observa-se que em função dos usos e coberturas da terra, os níveis de fragilidade média e alta aumentaram significativamente, o que indica que tais usos aumentam a susceptibilidade à erosão linear.

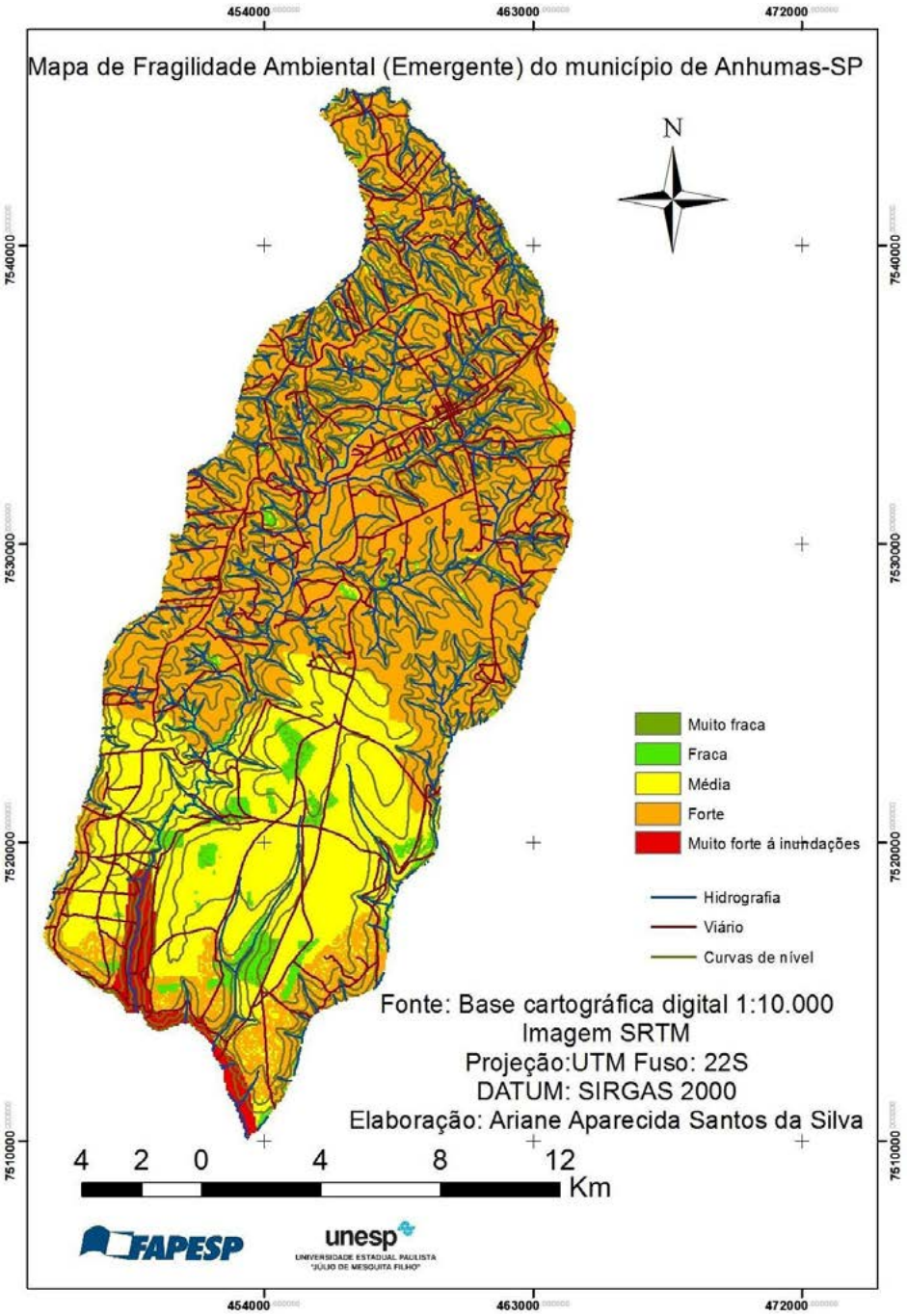


FIGURA 5: Mapa de fragilidade ambiental do município de Anhumas – SP
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

5. Considerações Finais

A pesquisa teve como objetivo principal o entendimento de quais variáveis que contribuem para a ocorrência de processos erosivos na área de estudo através da aplicação do modelo de fragilidade ambiental de Ross (1994). Para a produção do mapa de fragilidade ambiental (emergente) foram elaborados mapas temáticos.

A partir dos mapas temáticos pudemos perceber que a variável uso e cobertura da terra, sobretudo em função da presença de pastagens, plantio de cana e culturas temporárias, possui importância significativa na deflagação de processos erosivos lineares. Esses resultados foram expressos no mapa de fragilidade ambiental emergente, cujo resultado foi a predominância do nível de fragilidade ambiental Forte, enquanto que o mapa de fragilidade potencial apontou a predominância de níveis de fragilidade Média.

Acredita-se que o Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente fornecerá subsídios a ordenamento territorial que considere as fragilidades e potencialidades da área do município, promovendo o uso racional do relevo e dos solos e possibilitando a identificação de áreas prioritárias para aplicação de diretrizes referentes ao planejamento com intuito de preservar e/ou restaurar o equilíbrio ambiental.

Agradecimentos

À FAPESP pela concessão da bolsa, ao Grupo de Pesquisadores Centro de Estudos do Trabalho, Ambiente e Saúde (CETAS), ao Laboratório de Geologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos, à Profª Drª Isabel Cristina Moroz- Caccia Gouveia e aos colegas que auxiliaram na elaboração dos mapas e discussão do tema.

Referências

FERREIRA, N. H.; FERREIRA, C. A. B. V.; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. Mapa de Fragilidade Ambiental como auxílio para o Planejamento Urbano e Gestão de Recursos Hídricos, FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, vol. 12, ANAP, Tupã, 2016, p.44-58. Disponível em: https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1411/1433

FIBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem da População, 1996.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2015

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo, RELATÓRIO TÉCNICO 131.057 – 205 Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 2012.

IPT- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO Programa Orientações Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, 1997

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981a. 2v

LAL, R. Soil management in the developing countries. Soil Science, v. 165, n. 1, p. 57-72, 2000.

LEITE, J.F. A Alta Sorocabana e o espaço polarizado de Presidente Prudente. Presidente Prudente: FCLPP, 1972.

MOROZ- CACCIA GOUVEIA, I.C. Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da

abordagem da Geomorfologia Antropogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, na Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado (Departamento de Geografia da FFLCH), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PERUSI, Maria Cristina. Alterações antrópicas de argissolos decorrentes do uso e manejo e reflexos na densidade demográfica do Município de Anhumas - SP. 2001. xii, 102 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2001.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. Revista do Departamento de Geografia nº 8, São Paulo, 1994. p. 63-74.

ROSS, J. L. S. Análise e Síntese na Abordagem Geográfica da Pesquisa para Planejamento Ambiental. Revista do Departamento de Geografia, nº 9, São Paulo, 1995. p. 165-175.

ROSS, J.L.S., SPORL, C. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 15, pp. 39-49, 2004.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia – Departamento de Geografia-FFLCH/USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada – IPT/FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1997. Escala 1:500.000.

SARQUIS, S. Modificações antrópicas do solo: influência na dinâmica econômica e populacional do município de Martinópolis. Dissertação (Mestrado em Geografia/ Desenvolvimento Regional e Planejamento Ambiental) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1996.

SILVEIRA, H. Modificações resultantes da ação antrópica no solo- uso e manejo e reflexos no meio rural do município de Cidade Gaúcha-PR. Dissertação (Mestrado em Geografia/ Desenvolvimento Regional e Planejamento Ambiental) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1997.

TOMINAGA, L. K.: SANTORO, J. & AMARAL, R. do (Orgs). Desastres naturais: conhecer para prevenir, Instituto Geológico, São Paulo, 2009, 196p.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN,1977

GEOMORFOLOGIA DA PLANÍCIE COSTEIRA DE MARICÁ (RJ): RESULTADOS DA INTERPRETAÇÃO EM DIFERENTES ESCALAS DE ANÁLISE

Gabriela da Cruz
Laboratório de Geografia Física (LAGEF). Universidade Federal Fluminense
Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/nº, Campus da Praia Vermelha Boa Viagem; Niterói - RJ 24210 346
E-mail: gabriela_cruz@id.uff.br
Ivandro Patrick de Oliveira Coutinho
Laboratório de Geografia Física (LAGEF). Universidade Federal Fluminense
Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/nº, Campus da Praia Vermelha Boa Viagem Niterói - RJ 24210 346
E-mail: ipatrick@id.uff.br
André Luiz Carvalho da Silva
Faculdade de Formação de Professores. Universidade do estado do Rio de janeiro
Rua Dr. Francisco Portela, 1470 - Patronato
CEP: 24435-005 - São Gonçalo – RJ
E-mail: andrelcsilvageouerj@gmail.com

Guilherme Borges Fernandez
Laboratório de Geografia Física (LAGEF). Universidade Federal Fluminense
Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/nº, Campus da Praia Vermelha
Boa Viagem, Niterói - RJ 24210 346
E-mail: guilheremefernandez@id.uff.br

Resumo

O litoral do estado do Rio de Janeiro é caracterizado por uma geomorfologia heterogênea representada por costas rochosas e planícies costeiras. No trecho entre a ilha da Marambaia a o Cabo Frio, as planícies costeiras são marcadas por barreiras arenosas e lagunas. Em função das altas taxas de ocupação, as áreas preservadas disponíveis para mapeamentos geomorfológicos são poucas. Neste sentido, este trabalho apresenta o mapeamento dos ambientes presentes na planície costeira de Maricá, em diferentes escalas. O mapeamento em escala de menor detalhe foi feito com fotografias aéreas. Foi ainda realizado um mapeamento mais detalhado com aeronave remotamente pilotada (ARP). Os resultados mostraram barreiras costeiras distribuídas paralelamente a costa, lagunas colmatadas entre as barreiras, com presença de spits, além de dunas frontais e cortes eólicos são mais proeminentes na poção leste da área de estudo, possivelmente devido a maior preservação.

Palavras-chave: Mapeamento geomorfológico; Barreiras costeiras; Sistemas lagunares; dunas costeiras

Introdução

Um dos maiores desafios nos estudos da geomorfologia é a realização de mapeamentos das diferentes geoformas distribuídas na superfície terrestre. Este desafio está diretamente relacionado a análise combinada entre a escala do mapeamento com a disponibilidade das imagens, e mais ainda a definição da legenda das formas de relevo, definidas por uma biblioteca de geoformas, de maneira que o resultado esteja coerente com a paisagem geomorfológica. No mapeamento geomorfológico costeiro existe ainda um desafio maior, que recai sobre a forte ocupação do litoral, que muitas vezes descaracteriza quase que completamente as diferentes formas de relevo, inviabilizando muitas vezes a investigação. Para tanto, muitas vezes a solução está na busca de áreas ainda pouco ocupadas, ou não raramente trechos preservados por unidades de conservação, que possam servir de exemplo para o exercício do mapeamento geomorfológico.

Se por um lado existe a dificuldade de se encontrar em determinados trechos do litoral, áreas que apresentem ainda condições preservadas das formas de relevo para a realização de mapeamentos, por outro, quando encontradas estas oferecem uma janela de oportunidade de mapeamentos mais detalhados, de forma que haja a possibilidade de se determinar feições em uma escala, e a aproximação em função do detalhamento geomorfológico. Os mapeamentos na escala das feições costeiras, não raramente estão relacionados a escalas de 1:50000, em que feições possam ser devidamente individualizadas, e normalmente realizados com fotografias aéreas ou mesmo imagens de satélites, que permitem a individualização de macrofeições costeiras, como barreiras e sistemas lagunares (ver por exemplo Silva et al, 2014; Fernandez et al 2017). Mais recentemente, a determinação de feições em escala de ultra detalhe, descritas por imagens de alta definição, vem sendo cada vez mais utilizados em função do desenvolvimento tecnológico e de baixo custo, associado a coleta de fotografias aéreas com auxílio de aeronaves remotamente pilotadas (ARP), mais conhecidas por drones, e ferramentas computacionais que geram superfícies tridimensionais, melhorando sobremaneira a interpretação das geoformas. De fato, conforme descrito em Viles (2015), que aponta que o uso de novas técnicas de imageamento e processamento de dados tem revolucionado a geomorfologia, à medida que seu uso cada vez mais recorrente nas pesquisas científicas permitindo análises não somente mais detalhadas, mais avançando na conexão entre diferentes escalas de mapeamento geomorfológico.

No que se refere especificamente a modelagem tridimensional, as técnicas de *Structure from Motion* (SfM) apresentada por exemplo em Forsmoo et al. (2019), vem sendo cada vez mais aplicadas no ramo científico, com destaque às ciências da Terra. Essa técnica baseia-se na construção de blocos 3D através de dados de aerofotogrametria de elevado nível de detalhe, permitindo a construção de estruturas que, através de softwares computacionais específicos e a partir de determinados algoritmos que identificam similaridade nos pixels de determinadas fotografias, consegue criar formas tridimensionais.

De fato, a possibilidade de aplicação destas ferramentas e técnicas, em diversos tipos de ambientes geomorfológicos, parece potencializar cada vez mais a popularização dos ARPs nas pesquisas relacionadas aos estudos que envolvem não somente a morfologia, mais também a relação entre a morfologia e os processos que envolvem a dinâmica geomorfológica, além da geração de dados relacionados a aspectos multiespectrais (HACKNEY et al, 2015). Essa última afirmação é evidenciada, por exemplo, no trabalho de Ferreira et al. (2013) que, com a criação de produtos gerados a partir de um aerolevantamento feito por ARPs, foram feitas análises de índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ou seja, em função da decomposição do espectro de onda,

verificou-se flutuações na cobertura vegetal, em um terreno de 1600m², que apesar de ser uma área de pequena extensão, foi adequada a análise detalhada proposta. O monitoramento através de ARPs, para estudo da dinâmica fluvial do rio Morava, na República Tcheca, possibilitou uma avaliação das formas fluviais de maneira rápida e de baixo custo (MIRIJOVSKY, 2012), reforçando que a utilização da ferramenta foi primordial para o esclarecimento da morfologia fluvial. Desta forma, pode-se reforçar que conforme Mirijovsky (2012) avalia que a combinação entre a geomorfologia, e o que ele chama de geoinformática – análogo aos estudos realizados na área de geoprocessamento –, são primordiais atualmente.

Similarmente, o trabalho feito por Zhao et al. (2018) combinou imagens Landsat com detalhamentos fisiográficos obtidos com ARPs, que permitiram a observação de formas anteriormente mascaradas, pela baixa resolução das imagens. Ruelssink et al. (2018), fundamentou estudos de recuperação de dunas frontais, com estudos detalhados por imagens de alta resolução, para manejo e recomposição florística na costa holandesa. Também na costa holandesa, Nolet et al. (2018) utilizando imagens obtidas por câmeras aerotransportadas, identificou diferentes padrões de vegetação para estudos de recuperação vegetal. Estes exemplos ilustram que os VANTs foram fundamentais na investigação de diferentes processos que envolvem os estudos geomorfológicos.

No litoral do Rio de Janeiro a utilização de ARPs tem sido cada vez mais recorrente. O trabalho realizado por Cardoso et al (2018) demostra que a aquisição de imagens de alta definição permitiu a caracterização de feições eólicas antes mascaradas, em ambientes de dunas frontais, recuperando detalhadamente aspectos relacionados a dunas transversais e cortes eólicos, na praia de Cabo Frio. Monteiro et al (2018), utilizando imagens de alta definição em uma área predominantemente determinada por dunas tipo nebkas (Fernandez et al, 2017), identificou nuances importante na morfologia dos depósitos eólicos na planície costeira de Cabo Frio, detalhando variações associadas a dunas parabólicas, entre a tipologia previamente observada.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo mapear as diferentes feições geomorfológicas, em diferentes escalas, na planície costeira de Maricá, litoral do estado do Rio de Janeiro, mais especificamente na Área de Proteção Ambiental de Maricá, que ainda apresenta condições fisiográficas naturalmente preservadas e passíveis de serem documentadas, pela quase total inexistência de edificações, sofrendo apenas alterações associadas a trânsito de veículos tracionados, ou trilhas, sem que as principais feições estejam definitivamente alteradas.

Área de Estudo

O litoral de Maricá fica localizado no leste metropolitano do Estado do Rio de Janeiro, de orientação E-W, caracterizada pela presença da extensa Lagoa de Maricá e pela presença de duplos cordões arenosos separados entre si por uma série de pequenas lagunas colmatadas, onde essas feições representam os principais ambientes deposicionais na geomorfologia deste litoral. A planície costeira neste trecho do litoral é recortada por grandes afloramentos de maciços costeiros da serra da Tiririca e de Ponta Negra, respectivamente nas extremidades leste e oeste. Sua faixa litorânea, compreendida desde a Serra da Tiririca, junto à Pedra do Elefante, até Ponta Negra, que apresenta um total de aproximadamente 37 quilômetros de faixa extensão.

A APA de Maricá fica situada na parte central do arco praial de entre o pontal de Itaipuaçu a leste e a praia da Barra de Maricá (Figura 1). A escolha desta área para o mapeamento se deve ao fato desta estar localizada em uma Área de Proteção Ambiental (APA) e, consequentemente, pelo elevado grau de preservação, sem interferência de construções urbanas, sendo apenas

observadas estradas de acesso no reverso e topo das barreiras, além de áreas aplainadas e depressões ocasionadas pela mineração ilegal de areias na região. No entanto, foram identificados nesse trecho problemas, tais como: despejo de lixo; queimadas; prática de off road e exercícios militares, utilizando veículos que trafegam por sobre as dunas e áreas de vegetação, destruindo a flora e a fauna; e a extração ilegal de areia (SILVA, 2014). São notadas em algumas partes da barreira, em decorrência da extração ilegal de areia e prática de *off road* que ocorre nessa região, a morfologia apresenta um relevo levemente aplainado e com alterações morfológicas sobre as dunas, destruindo parte desse ecossistema costeiro (SILVA 2014). Em relação as características morfodinâmicas este trecho também é descrito por praias refletivas, compostas por areias predominantemente grossa e média, submetidas a ondas de alta energia (Silva et al 2014).

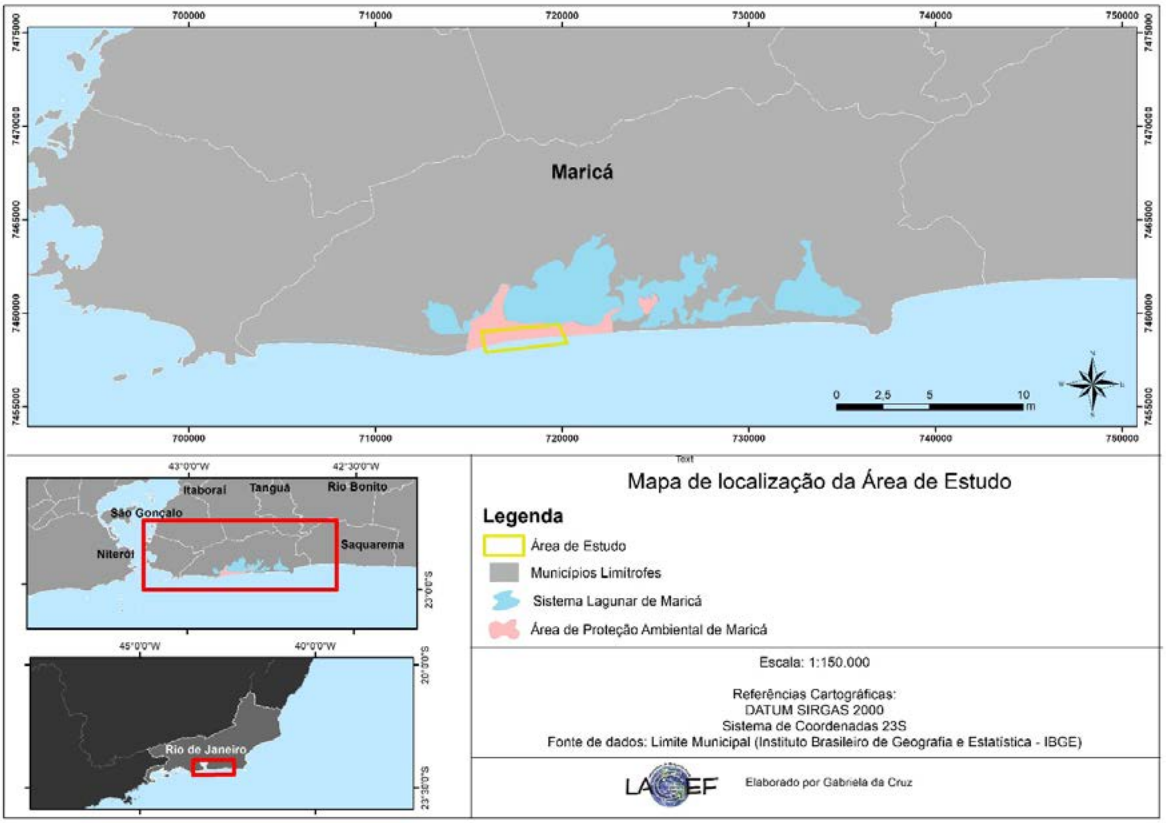


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, localizada na parte central da Área de Proteção Ambiental (APA) de Maricá.

Alguns estudos juntaram esforços com intuito de ampliar o conhecimento sobre a dinâmica pretérita e as variáveis envolvidas na evolução geomorfológica e sedimentar desse ambiente. Nesse sentido, Silva (2011), fez grandes contribuições acerca do conhecimento da arquitetura sedimentar e a compreensão da evolução geológica da planície costeira central de Maricá (RJ) ao longo do Quaternário. A evolução geológica da planície costeira central de Maricá ao longo do Quaternário foi intensamente controlada por mudanças relativas do nível do mar. Tais mudanças foram as principais responsáveis pela deposição e erosão das unidades deposicionais, assim como, por controlar a formação e migração das barreiras, causando progradação e retrogradação das mesmas (Silva et al. 2014b).

Ainda nos estudos feitos por Silva et al. (2014a), buscou-se fazer uma caracterização sedimentar e morfológica na área do litoral que corresponde a APA de Maricá. Através da aquisição de perfis topográficos bidimensionais e análise de sedimentos, os resultados obtidos demonstraram a predominância de areias grossa a média nas barreiras e praia, bem selecionadas, depositadas sob condições de alta energia. A oeste da planície costeira, a praia de Itaipuaçu apresenta um comportamento morfodinâmico tipicamente refletivo, com berma larga, face praial íngreme e ondas com arrebentação ascendente. Apresentam amplas variações acerca do seu perfil de praia dependendo das condições de tempo bom ou ruim, caracterizada por ser uma área sensível a ação das ondas de tempestade. Mapeamentos realizados anteriormente (SILVA et al., 2008) identificaram um comportamento retrogradante da barreira, com o surgimento de leques de arrombamento e consequente supressão vegetal nessa área. A parte central, próxima a Área de Proteção Permanente (APA) também apresenta variações em seu perfil de acordo com às mudanças nas energias das ondas (GRALATO, 2012; SILVA et al. 2014a).

Apesar dos avanços feitos por diferentes estudos, detalhes e nuances sobre a geomorfologia costeira ainda foram totalmente apresentados e analisados, e principalmente uma interpretação em diferentes escalas, levando-se em consideração levantamentos tridimensionais da barreira costeira, que permitisse uma mais detalhada análise da geomorfologia local. Reforçando os objetivos já previamente apresentados esse trabalho, portanto, serve como um avanço às informações já descritas nos trabalhos anteriores, com objetivo de acrescentar importantes informações em relação a integração de mapeamentos em diferentes escalas, associadas ao maior detalhamento morfológico.

Metodologia

Mapeamento de macrofeições

O mapeamento das macrofeições da APA de Maricá foi elaborado a partir de Ortofotos do Projeto RJ 25, que foi desenvolvido pelo IBGE, em 2005. Esse projeto teve como princípio o de disponibilizar imagens de todo o território brasileiro na escala de 1:25.000, no Sistema de Referência Geodésico SIRGAS 2000, e Sistema de Coordenadas UTM nos fusos 23 e 24. A legenda geomorfológica foi criada a partir do Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009), que teve como objetivos o de gerar bases de determinação de diferentes geoformas, para elaboração de mapeamentos geomorfológicos, incluindo discussões conceituais e metodológicas. Mais recentemente, este padrão de mapeamento foi reanalisado por Botelho e Pelsch (2019), e foram devidamente considerados no mapeamento e na legenda aqui realizada.

De forma resumida, o manual divide o Mapeamento Geomorfológico em níveis de ordens de grandeza (Níveis Taxonômicos), seguindo uma abordagem espacial e temporal, discriminando os modelados como uma unidade básica, e na qual se distinguem os modelados como unidade básica e seus grupamentos hierarquicamente relacionados, que são eles Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas. Para este mapeamento foi utilizado o táxon de unidades geomorfológicas da quinta ordem de grandeza: formas de relevo simbolizadas, já que este, na escala utilizado, se mostrou mais apropriado.

O mapeamento em si foi realizado com o uso do software ARCGIS. Para isso, foram dispostas quatro Ortofotos do Projeto RJ 25, sendo elas: 27463 SO_V1; 27463 SE_V1; 27464 SO_V1; 27454 SE_V1. Além, disso, como já relatado, foi utilizado para delimitar a classe Colinas o modelo digital de elevação do SRTM. As referências cartográficas foram: Sistema de referência Geodésico SIRGAS 2000, Sistema de Coordenadas UTM 23k, Meridiano Central 45º W e o Datum Vertical foi o Marégrafo de Imbituba.

O processo de vetorização foi feito no nível de detalhamento considerável, na escala de 1:2.000 até 1:10.000, o que significa que há um nível de detalhamento das classes geomorfológicas presentes no mapa final que condiz com a realidade local, salvo intervenções antrópicas que possuem uma dinâmica diferente dos eventos naturais, tendo como base as interpretações de cor, textura, tamanho, forma, localização, contexto geológico e geomorfológico. Algumas classes geomorfológicas saem do padrão retilíneo de uma representação cartográfica, sendo seus limites incorporados dentro de uma área de transição entre as feições.

Para o gerenciamento das informações do mapeamento foi utilizado o programa computacional ArcGis 10.2, utilizado para a gestão de todas as etapas do projeto.

Mapeamento tridimensional com ARP

O mapeamento tridimensional objetivado neste trabalho foi realizado por aerofotogrametria a partir de voos de um ARP, utilizando um equipamento multirotor modelo Phantom 4 Pro. Este dispositivo tem a capacidade de com uma única bateria adquirir fotos em áreas de aproximadamente 10 hectares, voando numa altitude de aproximadamente 80m. Sua câmera integrada de alta definição com sensor CMOS de 1" e 20MP oferece menor ruído na imagem por contar com um sistema de escaneamento de imagem melhorado. Além disso, apresenta orientação por GPS (Global System Position) integrado e bateria de voo inteligente, que através de um sistema de gerenciamento da bateria, avisa ao usuário quando sua carga está baixa. Caso o ARP esteja em sobrevoo, ele retorna ao ponto inicial de decolagem. Por fim, a velocidade desse ARP também é uma vantagem ao permitir maior mobilidade no ar, sendo apenas o voo restringido por condições de ventos superiores a 20m/s, de acordo com o fabricante. Os voos aqui apresentados foram realizados em novembro de 2019.

As missões aéreas foram determinadas pelo aplicativo *DroneDeploy*, que permite a delimitação da área a ser mapeada e a superposição das fotografias aéreas desejadas (Figura 2). Nesse procedimento também são definidos a resolução que as imagens captadas terão, para que a partir disso possamos definir a altitude ideal de voo e a rota. Além disso, é necessário garantir um mínimo de sobreposição lateral e de sobreposição longitudinal das imagens para garantir a qualidade no processamento das imagens captadas.

Dois sobrevoos foram realizados na APA de Maricá, divididos nos seguintes blocos: APA 1 e APA 2. Os voos foram realizados a 120m de altitude, com sobreposição lateral e frontal de 80% nos dois blocos. A cobertura da área de voo foi determinada em modo "piloto automático", sendo sua trajetória determinada pelo aplicativo em plano de voo previamente definido. A decisão de cobertura da superposição das imagens foi definida automaticamente pelo *DroneDeploy*, com o intuito de fazer a cobertura das linhas de trajetória previamente programadas pelo aplicativo, desde a decolagem até o pouso.

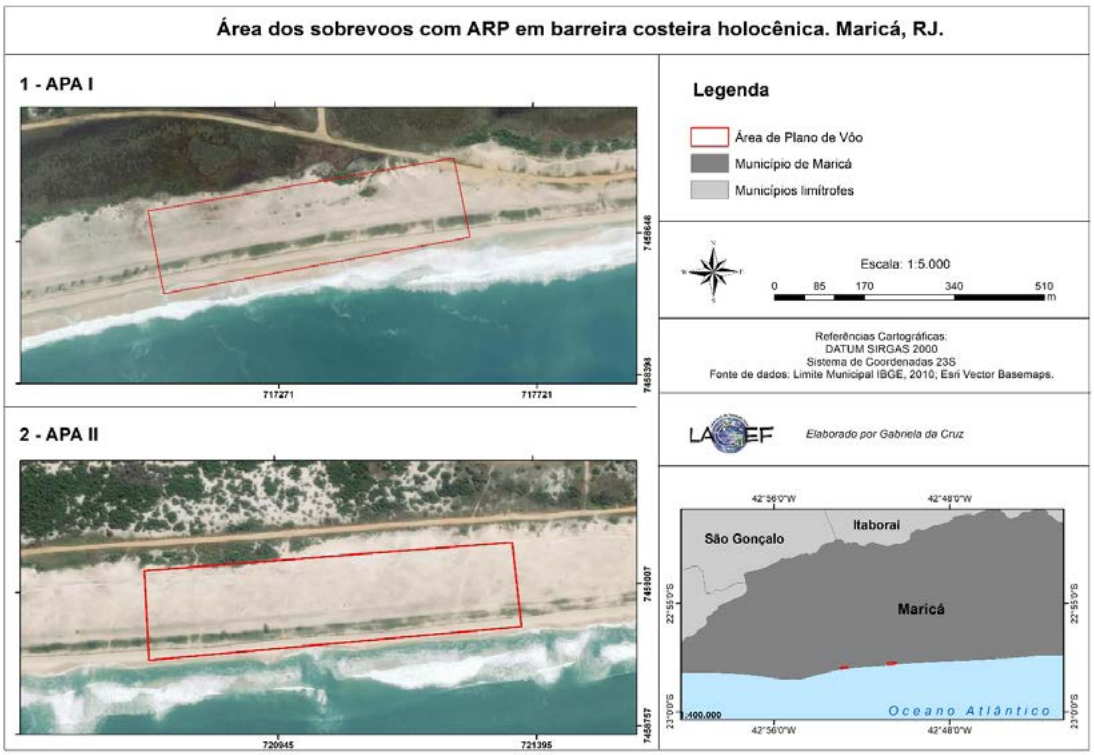


Figura 2: Localização dos sobrevoos com drone distribuídos em dois pontos na barreira holocênica da APA de Maricá.

As imagens adquiridas durante o aerolevantamento contam com um sistema de georreferenciamento próprio feito pelo GPS embutido no equipamento, e sua precisão espacial considera uma acurácia de 1 a 3 metros no posicionamento. Para criar condições que permitissem a produção dos modelos tridimensionais, foi necessário estabelecer pontos de controle no terreno, garantindo precisão das coordenadas planimétricas (X e Y) e dos valores de altitude (Z). Foram distribuídos 7 pontos de controle em formato de alvo nas áreas de plano de voo em locais estratégicos de desníveis do terreno, feitos com panos coloridos de tamanho 1x1m para que pudessem ser facilmente identificados posteriormente no processamento das imagens. Esses pontos de controle são comumente utilizados no mapeamento com essas aeronaves, utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno.

As coordenadas bidimensionais de eixos X e Y dos pontos de controle foram coletadas pelo GPS manual Garmin GpsMap 64s. Uma vez que o objetivo do mapeamento se apoia substancialmente no detalhamento geomorfológico, não foi necessário o uso do sistema de GNSS para atribuir aos pontos seu posicionamento geodésico, em termos espaciais. Por outro lado, para coleta dos dados de altimetria (coordenada Z) foram realizados os seguintes procedimentos: uma Estação Total LEICA TS06 foi posicionada em um ponto alto o suficiente para conseguir ter maior visualização de toda a área escolhida, sobretudo com visão do recuo máximo da onda, que ao ser obtida, foi devidamente corrigida pela altura da maré, determinando dessa forma a altura do instrumento. Um prisma de reflexão foi posicionado no centro dos alvos, onde cada ponto de controle para de determinar a latitude de cada ponto de controle, baseada na altitude do

Para processamento das imagens do ARP foi utilizado o software *Agisoft PhotoScan Pro*. Esse programa permite a criação de diferentes produtos, tais como Ortofotomosaicos, Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e Modelos 3D, variando de acordo com o objetivo de análise de cada pesquisa. Para dar início ao processamento, as fotos captadas pelo ARP foram importadas para o software Agisoft PhotoScan Pro. Nessa primeira etapa, é necessário fazer a conversão do sistema de coordenadas do log de voo para o mesmo sistema dos pontos de apoio que foram distribuídos em campo. O sistema geodésico de referência utilizado foi o SIRGAS 2000 – adotado pelo IBGE como padrão para as Américas –, zona UTM 23S. Em seguida, para garantir maior precisão dos dados no processamento final, importam-se as coordenadas obtidas por GPS já convertidas para o software em formato .txt, juntamente com os valores altimétricos de cada ponto.

Para avaliar a qualidade das imagens adquiridas, utilizou-se a ferramenta *Estimate Image Quality do Agisoft* em todas as fotos tiradas em cada plano de voo. Essa etapa é importante para avaliar a presença de imagens borradas ou distorcidas. Nessa etapa, não foram encontradas imagens que comprometessem o processamento. Feito isso, são criadas máscaras nas imagens para que seja feito primeiro alinhamento em qualidade média. O próximo passo consiste no apontamento dos pontos de apoio. Mesmo com as coordenadas inseridas, é necessário fazer o apontamento manual através da identificação visual dos pontos de controle nas áreas de voo devido o erro de posicionamento do GPS de até 3m, buscando aperfeiçoar a localização da imagem. Considerando o tempo de processamento das imagens, o segundo alinhamento de fotos também é feito em qualidade média, não gerando qualquer distúrbio á qualidade visual do modelo.

O pós-alinhamento das imagens constrói uma nuvem de pontos densa, onde cada um deles possui uma coordenada UTM XYZ associada. Nesse processo, os corpos d'água deve ser excluídos, pois, por serem áreas muito homogêneas, o software não consegue acertar a altimetria desses pontos. Esse procedimento é executado a fim de evitar perturbações nos produtos finais. Por fim, tendo essas informações como base, os produtos gerados para esse trabalho foram o ortofotomosaico e o modelo digital de elevação (DEM) dos três voos realizados. A utilização do ARP e dos materiais cartográficos obtidos darão suporte as análises morfológicas.

Resultados e Discussões

4.1. Mapeamento das macrofeições geomorfológicas

A partir do mapeamento realizado na APA de Maricá foi possível caracterizar as duas barreiras costeiras, sendo uma mais interiorizada, e outra mais proximal ao oceano, além de feições associadas a brejos, colinas e terraços lagunares (Figura 3). Estas feições estão separadas entre si por uma depressão representada por lagunas colmatadas. Conforme Silva et al. (2014a), a barreira arenosa interna, de idade pleistocênica, apresenta um relevo suavemente ondulado bastante desgastado pela ação dos processos subaéreos, com alturas variando entre 5,4 e 9 metros acima do nível médio do mar. A barreira holocênica, mais próxima ao mar, chega a ultrapassar 10 metros de altura na área onde as dunas se apresentam mais preservadas (SILVA et al. 2014a). As barreiras costeiras foram identificadas segundo a classificação de Leatherman (1988), que determina que estas feições geomorfológicas apresentam aspecto alongado e estreito, compostas por sedimentos não coesos, variando de areias a cascalhos, moldadas de acordo com o clima de ondas, ajustadas a flutuações do nível do mar, e sofrendo não raramente com processos atuais relacionadas a ondas, correntes, marés e ventos. Mais recentemente Van Heteren (2014) sugere que as barreiras arenosas apresentem diferentes padrões deposicionais em função de elementos mesclado comportamento evolutivo, geologia antecedente, clima de ondas. Estas

feições apresentam alguns sub-ambientes deposicionais relacionados, como a praia, presença de dunas frontais, planície de deflação, leques de transposição, brejos, canais de maré e corpos lagunares no seu reverso (OTVOS, 2020), sendo normalmente associada a ambientes de micromaré, com amplitude inferior a 2 metros (MUEHE et al, 2015; MUEHE, 2011).

No caso da barreira proximal ao oceano, esta foi interpretada por Silva, como holocênica, em função do ajuste da feição a flutuações relativas ao nível do mar, descritas por Angulo et al. (2006). A barreira arenosa externa localizada mais próxima do mar formou-se durante a última transgressão marinha ocorrida no Holoceno, possibilitando a formação de pequenas lagoas à sua retaguarda (IRELAND, 1987; PEREIRA et al., 2003; SILVA et al., 2014a). O comportamento do nível do mar no Holoceno na costa brasileira é representado por um importante evento transgressivo que alcançou 3 a 5 m acima do nível médio do mar em torno de 5.100 anos A.P. (ANGULO & LESSA, 1997; MARTIN et al., 2003). Esse evento foi responsável pela formação da barreira atual, conforme Ireland (1987), Turcq et al. (1999), Pereira et al. (2003), Silva et al. (2014b) e Silvestre et al. (2015). Ireland (1987), com base em datações realizadas em sedimentos das lagunas em Maricá e Niterói (RJ) indicam que a barreira atual foi formada em 7.150 anos A.P. Análise de sedimentos das lagoas do Brejo do Espinho e Vermelha, no litoral de Araruama, indicaram idades entre 5.100 e 7.000 anos A.P. Essas idades atribuem a formação do sistema barreira-laguna a Transgressão Holocênica (TURCQ et al., 1999). O mesmo se aplicar a idade de 6.000 anos A.P. apresentada por Pereira et al. (2003), para uma paleolaguna localizada a 7 metros de profundidade em Maricá, na área abaixo da barreira atual. As idades apresentadas corroboram com a formação da barreira sugerida por Ireland (1987), Turcq (1999) e Silva et al. (2014b) durante o Holoceno. A datação das conchas extraídas do arenito de praia de Itaipuaçú (no extremo oeste do litoral de Maricá) indicou uma idade de 8.572 anos cal A.P. (SILVA et al. 2014c). Essa idade é compatível com a que foi encontrada no arenito localizado na praia de Jaconé (leste de Maricá), que corresponde a 8.198 - 7.827 anos cal A.P. por Mansur et al. (2011). Mesmo com os avanços em termos de interpretação morfológica descritos por Silva e colaboradores, a barreira costeira holocênica não foi diagnosticada morfologicamente, a partir do modelo formulado para se estabelecer as características fisiográficas das barreiras costeiras holocênicas. Este modelo identifica três padrões fisiográficos, levando-se em consideração também a resultante de evolução, em relação ao nível do mar, além das características da arquitetura deposicional, prevendo a subdivisão em um modelo de classificação descrita por barreiras transgressivas, regressivas e estacionárias (KRAFT e JOHN, 1979 e GALLOWAY e HOBDAY, 1983). As discussões relacionadas a classificação serão mais detalhadamente discutidas, com os dados de alta definição.

A barreira interna, ou barreira pleistocênica foi datada por Silva et al (2014) que datou fragmentos orgânicos, que indicaram a idade pleistocênica para a feição. Amostra contendo matéria orgânica coletada na profundidade de 14 metros forneceu a idade de 40.880±1420 anos A. P. (AMS 14C) para a barreira interna (SILVA et al. 2014b). Esta datação está de acordo com as considerações de Turcq et al (1999), que a partir de uma série de registros orgânicos obtidos em depressões lagunares, localizados no reverso da barreira holocênica, atribuiu a idade mais antiga para a barreira mais interiorizada.

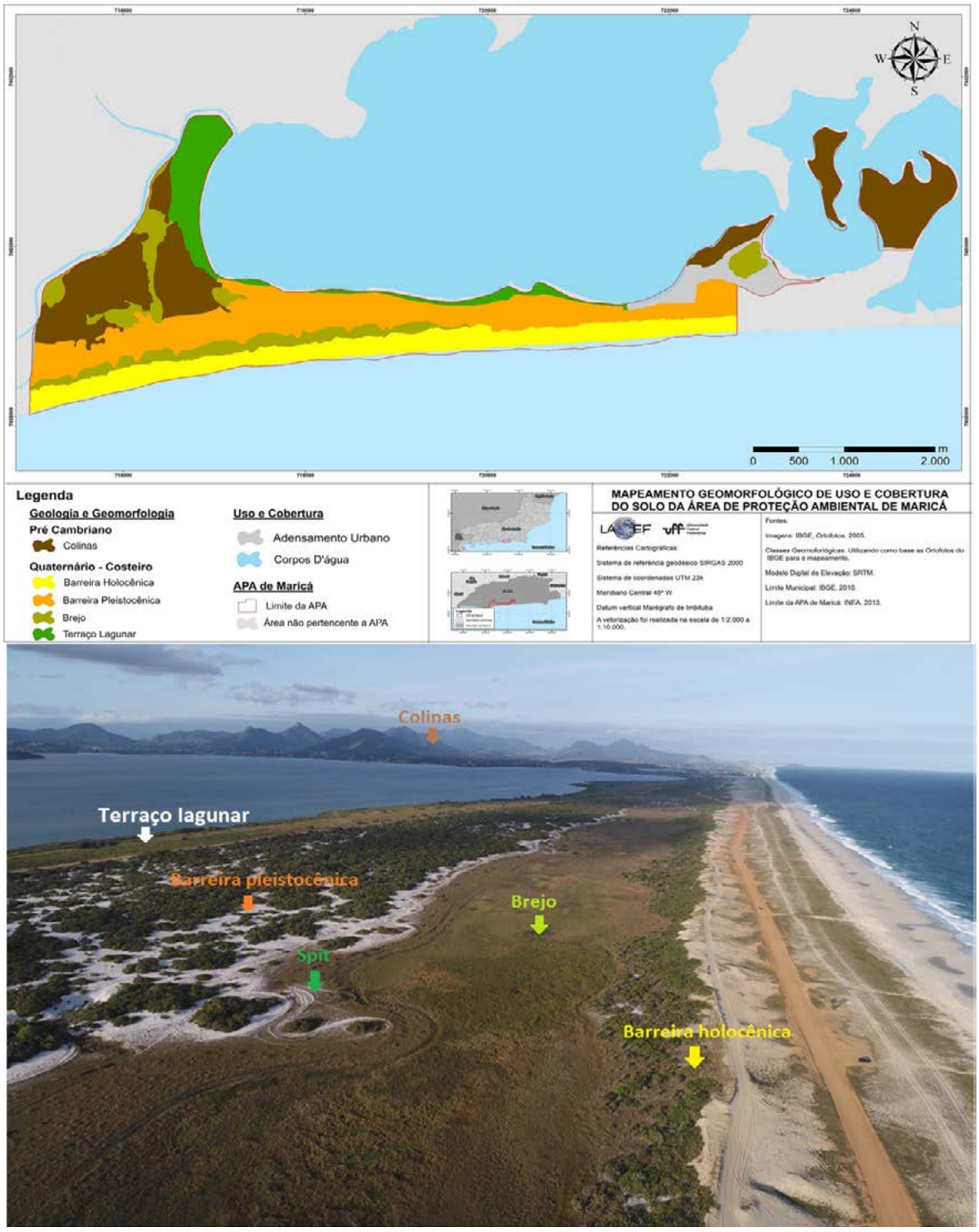


Figura 3 – (A) Mapeamento das macrofeições observados na APA de Maricá. Notar a projeção paralela das duas barreiras costeiras, em que a barreira mais interiorizada (Pleistocênica) apresenta uma largura superior à barreira holocênica (frontal ao mar). Entre ambas, se nota um brejo, em que a continuidade é comprometida, provavelmente pelo soterramento de sedimentos de origem eólica, oriundos da barreira holocênica. Os outros elementos morfológicos como os terraços lagunares, estão relacionados ao retrabalhamento sedimentar na borda do sistema lagunar. Colinas associadas a geologia cristalina também estão presentes na área. (B) Paisagem costeira com a distribuição dos diferentes ambiente deposicionais mapeados na figura 3A. Na paisagem é possível se identificar projeções sedimentares dentro da área de brejos, associadas a spits lagunares.

A feição que marca a separação entre as barreiras foi interpretada por um brejo, que tem sua descontinuidade marcada de oeste para leste. No reverso da barreira posicionada mais para o continente foram identificados padrões morfológicos descritos por colinas, no extremo oeste da área, intercalados com depressões, também descritas por brejos, assim como nos limites mais a oeste da APA. Na depressão intralagunar foram identificados padrões morfológicos associados a spits (Figura 3B). Os spits foram bem descritos por Zenkovitch (1967) que descreve como projeções sedimentares, formadas por ação de ondas obliquas, francamente observáveis em ambientes lagunares. O modelo proposto por Zenkovitch (1967) prevê que a partir de ondas desenvolvidas dentro dos sistemas lagunares, ocorreriam processos erosivos nas margens lagunares, de maneira que tais projeções teriam um comportamento rítmico, e com tendência a conectar ambos os spits, formados ao longo em ambas as margens da lagoa. A conexão entre os spits individualizaria sistemas lagunares menores, favorecendo processos de colmatação, uma vez que a razão de aspecto destas lagoas menores, envolvendo a largura e o comprimento, inibiria a continuidade da formação de novos spits. De fato, no mapeamento realizado (Figura 3A) é possível se notar diversas projeções sedimentares na borda norte da barreira pleistocênica, que com o auxílio da fotografia transversal foi associada ao desenvolvimento de spits. Como na depressão é evidente o predomínio de vegetação, esta cobertura vegetal foi interpretada como brejo, inviabilizando a continuidade do desenvolvimento do spit, pela impossibilidade de geração de ondas em tais condições, ou seja, houve predomínio de colmatação entre as barreiras.

Outras macrofeições foram determinadas no mapeamento, sendo estas relativas ao desenvolvimento de terraços lagunares e colinas. Em relação aos terraços lagunares, estes estão descritos no reverso da barreira pleistocênica, e provavelmente refletem o retrabalhamento sedimentar, realizado por ondas formadas na lagoa de Maricá, posicionada entre a barreira pleistocênica e maciços costeiros. Os maciços costeiros são resultado de epirogenia de rochas do Pré-cambriano, que tem sua morfologia associada a relevos de colinas rebaixadas.

4.2. Mapeamento de detalhe da barreira holocênica

A partir da identificação das diferentes macrofeições obtidas no mapeamento da planície, informações detalhadas se apresentam como um desdobramento interessante para se identificar feições, documentadas a partir de blocos tridimensionais, obtidos na barreira costeira frontal, ou geologicamente determinada, como barreira holocênica.

No primeiro levantamento realizado, nota-se a formação de duas escarpas erosivas a partir da praia, paralelas portanto entre si, se distribuindo por todo o levantamento. A formação de escarpas erosivas nas praias é um processo natural de resposta morfodinâmica, quando as praias são submetidas a eventos de tempestade, em função da predominância de ondas de maior energia, removendo os sedimentos da berma, em direção à zona de surfe. Desta forma, em função do ataque frontal das ondas, removendo primeiramente os sedimentos praias formando perfis topográficos com gradiente mais suave, pode ocorrer a continuidade do processo erosivo, acabando por atingir trechos mais altos da praia, como as bermas mais interiorizadas, favorecendo desta forma, o solapamento da base e consequentemente o desmoronamento do empilhamento sedimentar, formando uma escarpa erosiva. Este processo é interpretado pelo modelo de Sallenger (2000), produzindo um efeito colisional dos impactos de tempestades em áreas costeiras sedimentares. A formação desta escarpa na área de estudo parece indicar a ocorrência sistemática de diferentes tempestades, que ficaram evidentes na formação de diferentes feições documentadas pelos sobrevoos. No estudo desenvolvido por Silva et al. (2017) ficou caracterizado a

ocorrência de escarpas erosivas, em que os autores atribuíram sua formação a resposta morfodinâmica das praias a passagens de frentes frias, caracterizado por eventos de tempestade que sazonalmente atingem o litoral de Maricá. Silva et al (2017) conseguiram identificar feições semelhantes as atuais escarpas, através de investigações geofísicas ao longo de toda a barreira holocênica. Não seria surpreendente que as escarpas identificadas na Figura 4 sejam correlativas aos registros geofísicos, uma vez que o detalhamento geomorfológico destas feições só poderia ser devidamente evidenciado com uma detalhada análise com imagens de alta definição. De fato, o paralelismo entre as duas escarpas identificadas na Figura 4, indica a ocorrência de uma provável ressaca mais intensa, que teria o seu registro morfológico mais distal à praia, e um segundo evento menos intenso, mais proximal, porém análogo ao registro mais interiorizado. No litoral do Rio de Janeiro, recentemente Oliveira Filho et al (2020) identificaram a formação de escarpas erosivas relacionadas a um evento ocorrido em 2010, mais especificamente na praia de Rio das Ostras. Essa praia, também classificada como refletiva de alta energia, semelhante a classificação morfodinâmica da praia de Maricá, mostrou não somente o resultado morfológico que a praia apresentou em função dos impactos da tempestade, e consequentemente a formação de escarpas erosivas, como a recuperação do pacote sedimentar. Na parte mais distal da praia foram ainda identificados padrões morfológicos de dunas de precipitação. Aparentemente, os depósitos eólicos associados a precipitação estão relativamente marcados por sedimentos que seriam acumulados na parte mais distal da barreira, desenvolvidos a partir de ventos do quadrante sul, e se precipitariam em direção ao ambiente embrejado, no reverso da barreira holocênica. De fato, na parte mais oriental da figura 4, é possível se verificar alguns registros de dunas de precipitação, mas o voo mais a leste é mais apropriado para a descrição analítica dos processos eólicos na barreira holocênica.

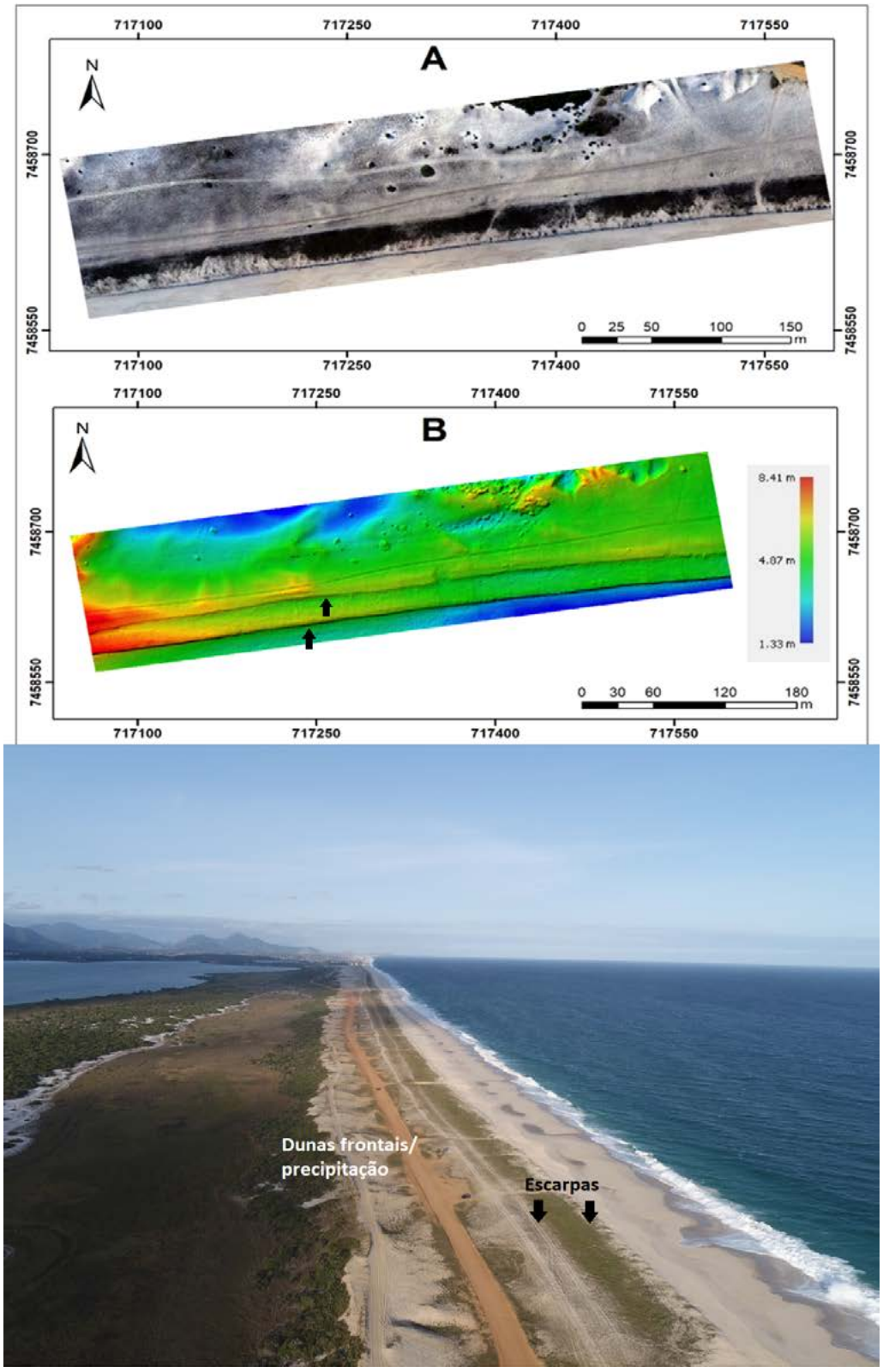


Figura 4 – (A) Ortofotomosaico obtido com as fotografias aéreas no sobrevoo APA I, em que é possível se notar vegetação esparsa em quase toda a barreira, e uma vegetação rasteira mais densa entre duas escarpas erosiva. (B) Modelo digital de elevação gerado com dados do ortofotomosaico e dados altimétricos, com o destaque de duas escarpas erosivas dispostas paralelamente a praia. (C) Paisagem costeira no trecho do levantamento aerofotogramétrico, em que é possível se definir dunas de precipitação e as escarpas erosivas.

Em relação a morfologia eólica, de fato, o voo mais oriental parece ser mais elucidativo para a discussão da geomorfologia causada pelos ventos. Mas antes, ainda se nota a continuidade dos escarpamentos erosivos anteriormente descritos e discutidos, dando uma ideia da preservação e da extensão destes eventos, em termos espaciais (Figura 5). Chama a atenção que no voo mais a leste, existem na realidade três escarpas erosivas, sendo a proximal a praia diretamente relacionada a um evento recente (recente em relação a data do voo, obtida em outubro de 2019), uma segunda escarpa localizada entre a praia e o limite da vegetação mais destacada, e uma terceira, mais interiorizada, já nos limites de uma morfologia associada a padrões determinados pelo vento. Assim, no voo apresentado na figura 5, de fato se materializa a ocorrência de diferentes eventos erosivos preservados, documentados em voos subsequentes.

A interpretação da ação eólica, alterando a morfologia da barreira, a partir da escarpa mais interiorizada, se baseia claramente na formação de acúmulos sedimentares oblíquos e alongados, em relação a orientação da praia, e com a formação de elementos côncavo-convexos, com altitudes próximas a 9 metros (Figura 5), talvez possíveis de serem interpretadas como registros de dunas parabólicas. A projeção destes acúmulos associados ao vento, orientados para direção nordeste, portanto impulsionados por ventos do quadrante sul, típicos de eventos de tempestade, indicam ser estes os ventos geradores destas feições. Mas é curioso a ocorrência de depósitos eólicos, haja visto que na área, existe uma maior disponibilidade de sedimentos arenosos grossos e muito grossos presentes na sedimentação praial (SILVA et al. 2014a), que condicionaram a classificação morfodinâmica refletiva. Este padrão morfodinâmicos de praias e de sedimentação é inibidor para a formação de dunas frontais, conforme por exemplo apresentado por Moulton et al. (2021). Desta forma, não seria de se esperar a formação de depósitos eólicos em trechos com tais características, e, portanto, só poderiam ser melhor detalhados com a morfologia de detalhe. De qualquer forma, mesmo em praias refletivas submetidas a alta energia, a vegetação rasteira apresenta condições fundamentais para a formação de acúmulos sedimentares como dunas frontais (HESP, 2002). Muito provavelmente, mesmo nas condições desfavoráveis para a formação de depósitos eólicos na área, quando da passagem de frentes frias, ventos em rajadas não são raros (BULHÕES, 2018), seriam suficientes para remobilizar sedimentos já previamente depositados, dando origem a morfologia observada. Talvez um efeito consorciado com a ação dos ventos para a morfologia observada, seria a formação de escarpamentos erosivos, e o consequente favorecimento de desenvolvimento de dunas. Este mecanismo foi observado por exemplo em Machado et al (2019), utilizando aerofotogrametria obtidas por ARPs, em que que descrevem o desenvolvimento de dunas parabólicas como resultado de processos erosivos. Desta maneira, isso é sugestivo pelo posicionamento das dunas, na retaguarda de uma escarpa erosiva, indicativo de que a formação de dunas na área pode estar relacionada a concomitância de um evento de tempestade, ocasionado por ventos intensos.

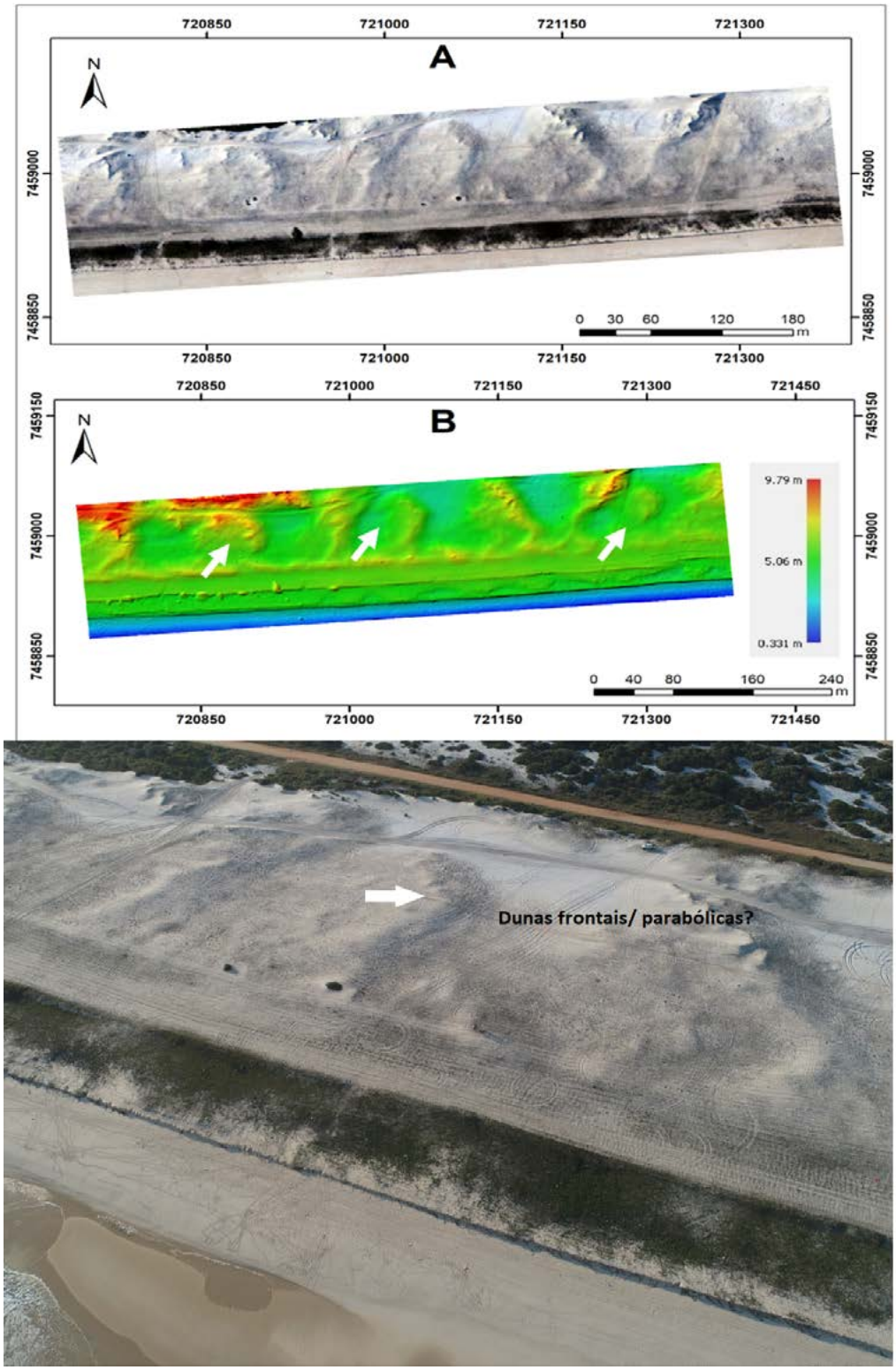


Figura 5 – (A) Ortofotomosaico obtido com as fotografias aéreas no sobrevoo APA II, em que é possível se notar vegetação esparsa em quase toda a barreira, e uma vegetação rasteira mais densa entre duas escarpas erosivas. Irregularidades topográficas também podem ser observadas. (B) Modelo digital de elevação em que depósitos eólicos alongados e côncavo-convexos se distribuindo ao longo de toda o trecho do levantamento, associados provavelmente a ventos de direção SW (setas em branco). (C) Fotografia oblíqua da barreira holocênica, em que se nota as escarpas erosivas e as dunas.

Assim, a partir dos resultados do mapeamento de detalhe a barreira costeira holocênica teria uma sedimentação ajustada ao tempo geológico (Holoceno), em que os sedimentos superficiais ali depositados seriam relacionados a acúmulos sedimentares verticais, ou seja, parte desta sedimentação, seria resultado da formação e retrabalhamento de dunas frontais agradando a barreira costeira com depósitos eólicos. Por outro lado, a presença de escarpamentos erosivos, que anteriormente estavam bem documentados na arquitetura deposicional, ainda estão visíveis na morfologia.

Considerações finais

Neste trabalho foram realizados dois tipos de mapeamento geomorfológico em um trecho bem preservado na planície costeira em Maricá, mais precisamente numa Área de Proteção Ambiental (APA), a partir de fotografia aéreas, utilizando distintas escalas de análise. No mapeamento das macrofeições o padrão de duplo cordão litorâneo foi bem caracterizado, com brejos entre ambas as barreiras, entre outras feições associadas a ação de ondas em ambientes confinados.

A partir de dados de maior resolução, nuances morfológicas foram detectadas na barreira holocênica, como escarpas erosivas e padrões eólicos, ainda não descritos. Tal fato só foi possível com a utilização de aerofotogrametria obtida por ARP, e processamento com técnicas mais recentes para geração de dados de melhor qualidade morfológica. A partir dos dados gerados, a barreira costeira holocênica apresentou elementos morfológicos indicativos de eventos de tempestade e ação eólica, que correlacionados com os dados da arquitetura deposicional, permite sua classificação como uma barreira estacionaria, padrão ainda pouco explorado em estudos sobre morfoestratigrafia.

Agradecimentos

Este trabalho foi possível com o auxílio de agências de fomento. GC e IP agradecem a CAPES pela concessão de bolsa de mestrado. GBF agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade. ACS é procientista da UERJ. Equipamentos e infraestrutura utilizados são resultado de diferentes editais do CNPq / CAPES.

Referências

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from the Paranaguáand Cananéia regions. **Marine Geology**, v.140, p. 141-166, 1997.

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, v. 25, n. 5–6, p. 486–506, 2006.

BOTELHO, R.G.M., PELECH, A.S. Do Mapeamento Geomorfológico do IBGE a um Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo. **Revista Brasileira de Geografia,** v. 64, p. 183-201. 2019

BULHÕES, E. Climatologia Oceânica E Impactos De Ondas De Tempestade Na Cidade Do Rio De Janeiro. In: **A Climatologia Geográfica no Rio de Janeiro**: Reflexões, Metodologias e Técnicas Para Uma Agenda de Pesquisa. Curitiba: Editora Appris, 2018.

CARDOSO, I. C. B.; MONTEIRO, S. C.; OLIVEIRA FILHO, S. R.; FERNANDEZ, GUILHERME BORGES. Morfodinâmica Entre Praia E Duna Em Trecho Exposto A Ventos Do Mar Para A Terra: Enfoque Especial Ao Efeito De Pista De Vento - Litoral De Cabo Frio, RJ In: **XII Simpósio Nacional de Geomorfologia** - SINAGEO, 2018, Crato, CE. Anais do XII SINAGEO. 2018.

DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A. (eds.) **Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil**. Springer, Berlin, pp 17–51, 2009.

FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B. Barreiras Costeiras Holocênicas: Geomorfologia E Arquitetura Deposicional No Litoral Do Rio De Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 2, p. 301–319, 2015.

FERNANDEZ, G. B.; PEREIRA, T. G.; ROCHA, T. B.; MALUF, V; MOULTON, M.; OLIVEIRA FILHO, Silvio. Classificação morfológica das dunas costeiras entre o cabo Frio e o cabo Búzios, litoral do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, p. 595-622, 2017.

FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; MAROTTA, G. S.; MENEZES, P. H. B. J. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais.

FORSMOO, J, ANDERSON, K, MACLEOD, CJA, WILKINSON, ME, DEBELL, L, BRAZIER, RE. Structure from motion photogrammetry in ecology: Does the choice of software matter? **Ecology and Evolution**. 2019; 9: 12964– 12979. https://doi.org/10.1002/ece3.5443

GALLOWAY, W.; HOBDAY, D. K. Terrigenous Clastic Depositional Systems. Applications to Petroleum, Coal, and Uranium Exploration. **Geological Magazine** , Volume 121 , Issue 5, pp. 527 – 528, 1983.

GRALATO, J. C. A; SILVA, A. L. C.; SILVESTRE, C. P.; ECCARD, L. R. Variabilidade morfológica e morfodinâmica da praia na APA de Maricá (RJ). II Seminário de Geografia: Dinâmicas das Paisagens. São Gonçalo, RJ. 2012.

HACKNEY, Christopher; CLAYTON1, Alexander I. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping. **British Society for Geomorphology**, [s. l.], 2015.

HESP, P.A. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**, v. 48, n. 1, p. 245-268, 2002.

IRELAND, S. The Holocene sedimentary history of the coastal lagoons of Rio de Janeiro State, Brazil. In: **Sea Level Changes**. TOOLEY, M. & SHENNAM, I. (eds.). Oxford: Brazil Blackwell Ltd. pp. 25-66, 1987.

KRAFT, J. C.; JOHN, C. J. Lateral and vertical facies relations of transgressive barrier. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, n.63, p.2145-2163, 1979.

LEATHERMAN, S.P. **Barrier Island Handbook**. 3a Edition. College Park: University of Maryland, 1988.

MACHADO, B. A.; ROCHA, T.B.; OLIVEIRA FILHO, S.R.; GUZZO, A.L. Caracterização morfológica das dunas frontais no

flanco sul do delta do rio Paraíba do Sul, através de VANT (Veículo aéreo não-tripulado). In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física,** 2019, Fortaleza. Geografia Física e Mudanças Globais, 2019.

MANSUR, K. L.; RAMOS, R. R. C.; GODOY, J. M. de O.; NASCIMENTO, V. M. R. do. Beachrock de Jaconé, Maricá e Saquarema - RJ: importância para a história da ciência e para o conhecimento geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, 41 (2): pp. 290 - 303, 2011.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.L.M.; BITTENCOURT, A.S.P. (2003). Fluctuating Holocene sea levels in eastern ans southeastern Brazil: Evidence from multiple fossil and geometric indicators. **Journal of Coastal Research**, v. 19, p. 101-124, 2003.

MIRIJOVSKY, M. Z. (2012). Uav Photogrammetry In Fluvial Geomorphology, In: **Conference proceedings SGEM 2012**. 12th international multidisciplinary scientific geoconference STEF92 Technology Ltd.

MONTEIRO, S. C.; CARDOSO, I. C. B.; FERNANDEZ, GUILHERME BORGES. Interação Entre Vegetação E Geomorfologia Na Formação De Dunas Nebkas, Cabo Frio, Rio De Janeiro. In: XII Simpósio Nacional de Geomorfologia - SINAGEO, 2018, Crato, CE. Anais do XII Simpósio Nacional de Geomorfologia - SINAGEO. 2018.

MOULTON, M. A. B.; HESP, P. A.; MIOT DA SILVA, G.; KEANE, R.; FERNANDEZ, G. B. Surfzone-beach-dune interactions along a variable low wave energy dissipative beach. **Marine Geology**, v. 435, 2021.

MUEHE, D. Erosão Costeira - Tendência ou Eventos Extremos? O Litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, n. May, p. 315–325, 2011.

MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F.; OLIVEIRA, J. F.; KLUMB-OLIVERIRA, L. Pulsos Erosivos E Resposta Morfodinâmica Associada a Eventos Extremos Na Costa Leste Do Estado Do Rio De Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3, 2015.

NOLET, C.; VANPUIJENBROEKB, M.; SUOMALAINENC, J.; LIMPEN, J. RIKSENA, M. UAV-imaging to model growth response of marram grass to sand burial: Implications for coastal dune development. **Aeolian Research,** 31, 50-61. 2018.

OLIVEIRA FILHO, S. R.; SANTOS, R. A.; FERNANDEZ, G. B. Erosão e recuperação de praias refletivas de alta energia impactadas por ondas de tempestade geradas por ciclone tropical. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 21, n. 2, p. 289-312, 2020.

OTVOS, E. G. Coastal barriers - fresh look at origins, nomenclature and classification issues. **Geomorphology**, v. 355, 2020.

PEREIRA, A. J., GAMBOA, L. A. P., SILVA, M. A. M., RODRIGUES, A. R., COSTA, A.A Utilização do Ground Penetraiting Radar (GPR) em Estudos de Estratigrafia na Praia de Itaipuaçú – Maricá (RJ). **Revista Brasileira de Geofísica.** EDUFF, Niterói, Vol. 21 (2), pp. 163-171, 2003.

RUESSINK, B.G., ARENS, S.M., KUIPERSC, M., DONKERA J.J.A. Coastal dune dynamics in response to excavated foredune notches. **Aeolian Research**, 31: 3-17. 2018.

SALLENGER, A. H. Storm impact scale for barrier islands**. Journal of Coastal Research**. v. 16, n. 3, p. 890–895, 2000.

SILVA, A. L. C. **Arquitetura sedimentar e evolução geológica da planície costeira central de maricá (RJ) ao longo do Quaternário**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense. p. 185. 2011.

SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A. M.; SANTOS, C. L.; RIBEIRO, G. P.; SANTOS, R. A.; VASCONCELOS, S. C. Retrogradação da Barreira Arenosa e Formação de leques de arrombamento na praia de Itaipuaçú (oeste de Maricá, RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 2, 2008.

SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A.; SOUZA, R. S.; PINTO, M. L. V. The role of beachrocks on the evolution of the Holocene barrier systems in Rio de Janeiro, southeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 70, p. 170-175, 2014.

SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A.; GAMBOA, L. A. P.; RODRIGUES, A.R. Sedimentary architecture and depositional evolution of the Quaternary coastal plain of Maricá, Rio de Janeiro, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 44 (2), p. 191–206. 2014a.

SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A. M.; GRALATO, J. C. A.; SILVESTRE, C. P. Caracterização Geomorfológica E Sedimentar Da Planície Costeira De Maricá (Rio De Janeiro). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, 2014b.

SILVA, M. A. M.; SILVA, A. L. C.; SILVESTRE, C. P. Formação de escarpas de tempestade e seu reconhecimento no registro geológico: Planície costeira de maricá (Rio de Janeiro, Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 4, p. 841–852, 2017.

SILVESTRE, C. P.; SILVA, A. L. C.; SILVA, M. A. M.;RODRIGUES, A. R. Investigação da estrutura interna e evolução da barreira holocênica de Maricá (Rio de Janeiro). **Revista Brasileira de Geofísica**, Vol. 33 (3), 2015.

TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K.; TASAYACO-ORTEGA, L. Origin and evoluton of Quaternary coastal palin beetween Guaratiba and cape Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B. A., BIDIONE, E.D.; ABRÃO, J. J. (Eds.). Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon System of Rio de Janeiro, Brazil. **Série Geoquímica Ambiental**, 6:25-46, 1999.

VAN HETEREN, S. 2014. Barrier Systems. In: Masselink, G. & Gehrels, R. (Eds.), **Coastal Environments and Global Change**, John Wiley & Sons, 194-226 p.

VILES, H. Technology and geomorphology: Are improvements in data collection techniques transforming geomorphic science? Geomorphology, 270, p. 121-133, 2016.

ZHAO, Y; NINGHUA C.; JIANYU C.; CHENGQING H. Automatic extraction of yardangs using Landsat 8 and UAV images: A case study in the Qaidam Basin, China. **Aeolian Research**, 33; 53-61. 2018.

ZENKOVITCH, V. P. On the Genesis of Cuspate Spits along Lagoon Shores. **The Journal of Geology**, v. 67, n. 3, pp. 269–277, 1959. https://doi.org/10.1086/626583

GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS EM AMBIENTES GEOMORFOLÓGICOS DISTINTOS NA SUB-BACIA JAIBARAS – CEARÁ

Maria Raiane de Mesquita Gomes
Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA
Alcántaras, CE - 62120000
E-mail: raiane.gomes665@gmail.com
Bruna Lima Carvalho
Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA
Guaraciaba do Norte, CE - 62380000
E-mail:brunanelore@gmail.com
José Falcão Sobrinho
Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA
Campus do junco, Sobral, CE – 62030000
E-mail: falcao.sobral@gmail.com

Resumo

O geoprocessamento vem se configurando como uma importante ferramenta para análise em diversas áreas do conhecimento científico. A geografia física, em particular a geomorfologia, utiliza tais técnicas de cartografia as quais auxiliam no desenvolvimento das pesquisas. Desta forma, o presente artigo pretende analisar a relação do relevo com as tecnologias sociais de convivência com semiárido. Consideramos três unidades geomorfológicas da Sub-bacia Jaibaras, a vertente úmida e seca do maciço residual da Meruoca e a superfície sertaneja. Os procedimentos operacionais da pesquisa deram-se através de revisão bibliográfica, atividades de campo, reconhecimento da área, registros fotográficos e confecção de mapas temáticos. Os resultados nos trazem os condicionamentos e reflexos de quais tecnologias são mais adequadas para determinados ambientes da sub-bacia.

Palavra-Chave: Geoprocessamento. Geomorfologia. Semiárido. Sub-bacia Jaibaras.

Introdução

O semiárido brasileiro possui uma área de 1.127.953 km², conforme o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2017), presente em 1.262 municípios brasileiros. Abrange um contingente populacional de mais de 27 milhões de habitantes, ainda segundo a MMA, o semiárido corresponde a quase 90% da Região Nordeste e a região setentrional de Minas Gerais, verifica-se que o semiárido brasileiro é o mais populoso do mundo. Inclusive o mais chuvoso e repleto de diversidades e potencialidades naturais e culturais próprias desse bioma.

O clima semiárido apresenta como principais características: precipitações pluviométricas em torno de 268 a 800 milímetros anuais, os rios, na sua maioria possuem regimes intermitentes, e enquanto a vegetação, predomina-se a caatinga, em grande parte do território (FALCÃO SOBRINHO; ROSS, 2008). Mas em meio a semiaridez, destacam-se áreas úmidas, como os maciços residuais, chapadas e planaltos sedimentares, apresentando condições climáticas diferenciadas em relação às áreas secas (COSTA FALCÃO, 2008).

O semiárido apresenta grandes limitações no quadro físico natural, a escassez hídrica e a degradação ambiental intensificada pela ocupação desordenada do solo, como os desmatamentos, queimadas, seriam uns dos exemplos. Desde modo, a ação conjunta desses fatores naturais somada a ação humana, intensificadas pela pecuária extensiva e a agricultura de sequeiro, contribuem para o processo de desertificação e modificação na paisagem semiárida (SOUZA, 2006).

Cavalcante (2011), ressalta a importância da convivência com o semiárido brasileiro para o enfrentamento dos problemas econômicos e socioambientais. E conforme afirma Sousa et al. (2017), a proposta de convivência pode ser empregada através das tecnologias alternativas, técnicas ou metodologias que contemplam as comunidades das zonas rurais, apresentando-se desta forma, como uma solução viável de transformação social, por intermédio do uso sustentável de recursos naturais.

Portanto, as tecnologias sociais de convivência com semiárido, propõem garantir às famílias sertanejas, água de qualidade durante o período de estiagem e sobretudo, a soberania alimentar.

A pesquisa foi realizada na sub-bacia hidrográfica do rio Jaibaras, sendo considerada umas da sub-bacias mais importantes da bacia hidrográfica do Rio Acaraú, localizada a noroeste do estado do Ceará. Esta, apresenta uma grande diversidade de paisagens com características naturais bastante peculiares. As paisagens geomorfológicas da sub-bacia, permeia por três principais unidades, a serra subúmida da Meruoca (Maciço Residual Úmido), o Planalto da Ibiapaba (Planalto sedimentar) e o Sertão (Superfície ertaneja).

Diante disso, foi realizada uma análise das tecnologias sociais de convivência com o semiárido correlacionando ao relevo, no intuito de compreender se os elementos que compõe a configuração dos compartimentos geomorfológicos favorecem determinadas categorias de tecnologias implantadas. Considerando tais pressupostos, foi realizado recortes espaciais em três unidades distintas na sub-bacia hidrográfica Jaibaras, a vertente seca do maciço residual, o distrito de Jordão — Sobral, enquanto na vertente úmida do maciço, a localidade de Livramento — Alcântaras. Na superfície sertaneja, a localidade de São Domingos — Sobral.

O geoprocessamento, foi uma ferramenta essencial no auxílio da concretização da pesquisa, sendo elaborado mapas de geologia, geomorfologia e declividade, na escala 1: 250.000, que forneceram subsídios na compreensão da relação do relevo e das tecnologias sociais.

Caracterização da área

A área de estudo, a sub-bacia Jaibaras compreende uma extensão de 1.567 km² (GOMES et al., 2011), sendo considerada umas da sub-bacias mais importantes da bacia hidrográfica do Rio Acaraú, localizada a noroeste do Estado do Ceará. Esta, apresenta uma grande diversidade as quais se destacam no contexto do semiárido.

O Maciço Residual úmido da Serra da Meruoca - Rosário, representa 1,38 % da sub-bacia Jaibaras, situada próxima as cidades de Sobral e Massapê (GOMES, 2011). Os maciços residuais úmidos, configuram-se como relevos de grandes dimensões com altitudes que variam entre 600 a 1.100 m em relação ao mar. Estas formações montanhosas são altamente resistentes ao intemperismo e a erosão, por causa da estrutura que corresponde a intrusões graníticas e rochas metamórficas, na qual são altamente resistentes aos eventos climáticos (FALCÃO SOBRINHO, 2006).

A superfície sertaneja é uma área aplainada localizada entre maciços montanhosos, borda de cuestas e chapadas, contendo uma extensão corresponde a 92% do estado do Ceará. Esta unidade está embasada por rochas ígneo-metamórfico do pré-cambriano, constituída por terrenos invariavelmente em cotas baixas, situada entre altitudes de 40 e 350 metros com relação ao mar (BRANDÃO; FREITAS, 2014).

O planalto sedimentar da Ibiapaba, correspondendo aproximadamente 8 km² da sub bacia Jaibaras, localiza-se na porção ocidental do Ceará na divisa com o estado do Piauí. Esta unidade apresenta uma modelagem de escarpa festonada (leste do glint) voltada para o estado do Ceará desenvolvida pela erosão regressiva do rebordo do planalto, criando um relevo abrupto, com ocorrência de cornijas e paredões rochosos subverticais (BRANDÃO; FREITAS, 2014). O reverso do planalto (oeste do glint) apresentam rochas que mergulham de modo suave para oeste, na direção do Piauí. É isso que configura uma feição morfológica de “cuesta” (SOUZA; OLIVEIRA, 2006).

Metodologia

Para realização da pesquisa, foram necessárias as seguintes etapas: revisão bibliográfica, atividades de campo, envolvendo o reconhecimento da área, registros fotográficos e confecção de mapas temáticos. Os procedimentos metodológicos serão descritos conforme as etapas.

A área definida como objeto de estudo foi a sub bacia hidrográfica do rio Jaibaras, localizada na porção centro norte do estado do Ceará, distante aproximadamente 231 km da cidade de Fortaleza, a capital do estado. Ao longo da sub-bacia, esta abrange nove municípios: Alcântaras, Cariré, Graça, Ibiapina, Meruoca, Mucambo, Pacujá, Reriutaba e Sobral.

A partir disso, delimitou-se três áreas geomorfológicas para o desenvolvimento do estudo: a vertente úmida e seca do Maciço residual da Meruoca compreendendo Sitio Livramento na parte úmida e a vertente seca o Jordão, enquanto a superfície sertaneja a comunidade São Domingos.

3.1 Procedimentos técnicos

O material cartográfico da área em questão, foi efetuado a partir de técnicas de geoprocessamento, utilizando o software ArcGIS Pro com licença para estudante original e gratuita. Para a elaboração dos mapas temáticos na identificação das unidades do relevo da Sub-Bacia Jaibaras foi adotada uma escala de 1: 250.000.

A constituição das bases cartográficas utilizadas nesse trabalho foi do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE) do projeto TOPODATA, uma imagem raster que consiste num Modelo Digital de Elevação – MDE com resolução de 30 m, que representam as altitudes topográficas agregadas a elementos presentes na superfície terrestre (IBGE, 2021). Foram empregados também, os dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH do estado do Ceará, para delimitação da Sub-Bacia Jaibaras – Sobral.

Para Geração do MDE, foram utilizadas as cartas SA – 24 – X – D – IV (Sobral), SB – 24 – V – B – I (Santa Quitéria), SB – 24 – V – A – III (Ipu) e SA – 24 – Y – C – IV (Frecheirinha). Os modelos disponibilizados pelo INPE, geralmente vem sem referência espacial, sendo necessário adequar a projeção. Após o processo de tratamento do MDE, foram geradas as curvas de nível com intervalos equidistantes de 50 metros e um modelo de sombreamento de relevo (Hillshade).

No desenvolvimento do mapa de geologia, utilizou-se as informações do mapa geológico do estado do Ceará (CPRM, 2019), assim como os arquivos vetoriais disponibilizados pelos mesmo para elaboração do produto final.

Em relação a confecção do mapa de geomorfologia, foram considerados os princípios de Souza (2007) e do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE (2019). Desta forma, foram definidos para a área de estudo, seis compartimentações geomorfológicas: a depressão sertaneja, a serra úmida, a serra seca, o planalto da Ibiapaba, os inselbergs e a planície fluvial.

Resultados e discussões

A sub-bacia Jaibaras é uma área de grande representatividade nos aspectos geológico, geomorfológico, vegetação e de solos (Figura 1). A área territorial em análise, permeia entre as morfoestruturas de embasamento cristalino e da bacia sedimentar do Parnaíba. Enquanto, a morfoescultura da área, localiza-se sobre três estruturas geomorfológica com propriedades peculiares, correspondendo aos compartimentos, Maciço Residual Úmido, Superfície Sertaneja e Planalto Sedimentar da Ibiapaba.

Neste sentido, a proposta de um estudo integrado requer observar a paisagem levando em consideração a importância dos elementos naturais que a compõem, dentre eles ressaltamos os aspectos geomorfológicos e geológicos, pois permitem compreender a área de estudo.

Conforme Almeida (2017), o material litológico tem forte influência sobre o processo de formação dos solos, dependendo da resistência dos materiais (dureza da rocha), o processo de intemperismo pode atuar de maneiras diferentes, quanto ao tempo, na fragmentação e decomposição do material rochoso. Conforme Costa Lima et al., (2007), que dependendo do tipo de rocha, os solos podem ter mais ou menos areia e argila, e dependendo da quantidade de elementos nutrientes de cada rocha os solos podem ser férteis ou pobres.

Diante do arcabouço apresentado, fica explícito a influência que o potencial geológico desempenha sobre os aspectos da paisagem da área de estudo. A correlação entre rocha e solo também repercuti na presença e quantidade de água infiltrada e armazenada no solo, em função disso atuará sobre o aspecto da cobertura vegetal. Todos os fatores analisados em conjunto, como por exemplo as unidades geológicas mostradas na (figura 1) permitem compreender em que contexto físico ambiental as tecnologias sociais se encontram. Ademais, estas relações são importantes e precisam serem analisadas, com a finalidade de identificar as condições de uso desse novo elemento da paisagem.

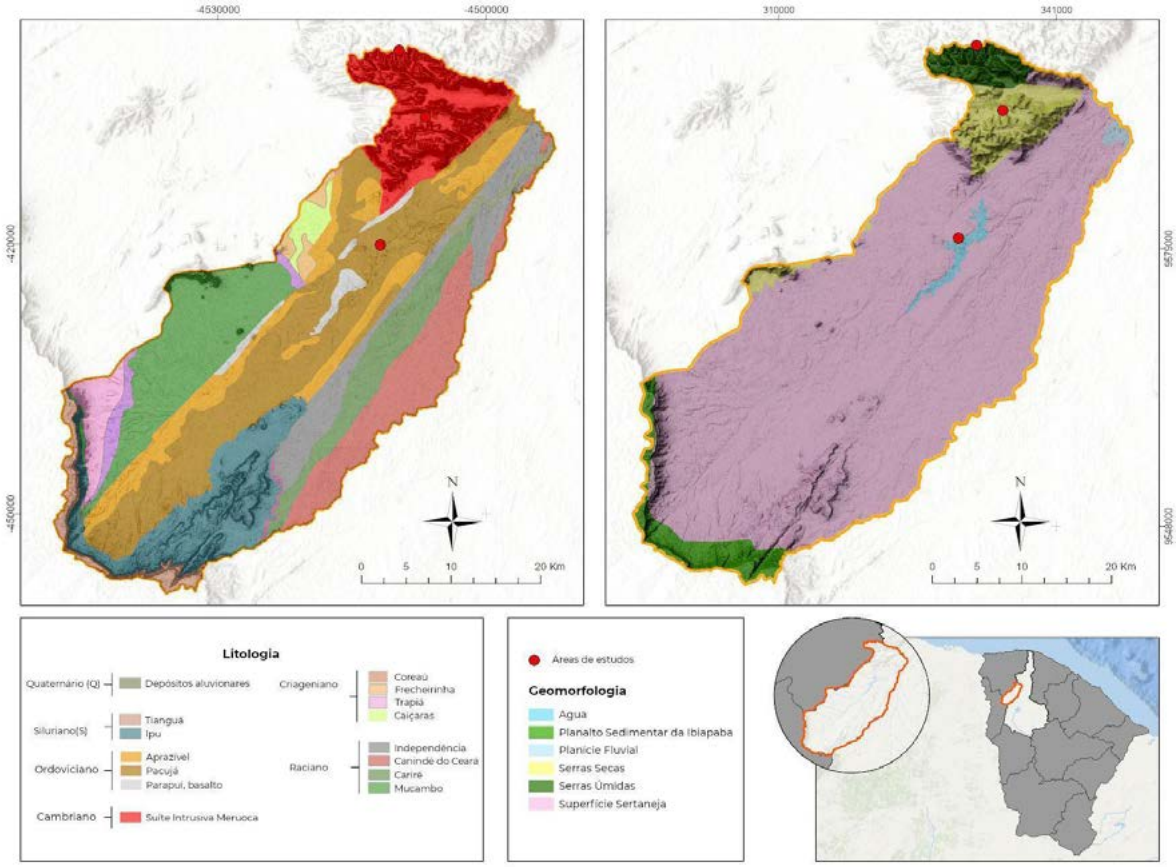


Figura 1: Mapa de Geologia e Geomorfologia da sub-bacia Jaibaras
Fonte: Cogerh (2020), IBGE (2020), adaptado por Gomes (2021)

Este mapa fornece subsídios para compreensão da relação das tecnologias de convivência com o semiárido com os elementos que constitui a paisagem das comunidades escolhidas para realização do desenvolvimento da pesquisa.

Dentro de um contexto geral, o semiárido nordestino tem como característica climática de destaque a irregularidade pluviométrica (no tempo e no espaço). As chuvas ocorrem em um curto período de tempo, geralmente de três a quatro meses, marcadas por um aspecto de torrencialidade (ALMEIDA, 2017).

Esse regime de chuvas é o principal elemento de alimentação das águas superficiais, que ao longo dos meses, após cessar o período chuvoso, vão perdendo sua correnteza e a água vai se tornando escassa na paisagem do semiárido, de acordo com os fatores geológicos, pedológicos, geomorfológicos, e fitoecológicos do contexto, que se inter-relacionam e tem papel importante na dinâmica dos recursos hídricos locais (ALMEIDA, 2017). A exemplo, especialmente das áreas de superfície sertaneja, onde estas características de escassez hídrica se destacam em decorrências das próprias condições físicas-ambientais atuantes.

Em continuação, menciona-se o distrito de Jaibaras, onde localiza-se a primeira área de estudo (São Domingos), possuindo em seu território um importante reservatório hídrico, o açude Aires de Souza, construído no barramento do rio Jaibaras, responsável pelo abastecimento de todo o distrito, até mesmo da cidade de Sobral - CE.

A comunidade de São Domingos está situada na porção noroeste do estado do Ceará, inserido na superfície sertaneja, caracterizada por relevos planos ou levemente onduladas em altitudes torno entre 58 - 350 metros. O relevo configura-se como dissecado em lombadas e colinas rasas, com ocorrências de inselbergues, na qual alcança classes de altitudes superiores a 350 metros.

A litologia do terreno é constituída por rochas pertencentes aos grupos Jaibaras, com formação Pacujá que tem como tipos predominantes arenitos intercalados com siltitos e argilitos. Sobre esta litologia, se desenvolveram solos Neossolos Litólicos, uns dos solos que mais predomina na paisagem sertaneja da sub-bacia Jaibaras, constituídos por material mineral de pouca evolução pedológica, rasos (com espessura igual ou inferior a 50 cm).

Mediante as características do relevo, as tecnologias sociais de convivência com semiárido implantadas na comunidade de São Domingos, integrou-se de forma harmoniosa com elementos do relevo. As tecnologias que a comunidade dispõe são apresentadas a seguir: Sistema Mandala, Produção Agroecológica Integrada e Sustentável – PAIS, Cordão de pedra e também faz parte do projeto chamado, Cabra-nossa-de-cada-dia.

O sistema mandala caracteriza-se de forma sustentável para a agricultura familiar. É um modelo organizado na forma de círculos concêntricos. Tendo em vista a sustentabilidade e papel ativo do agricultor por meio deste sistema, proporcionando o cultivo por exemplo, de bananeiras, hortaliças e criação de aves.

Consoante as explicações de Magalhães, Costa Falcão e Falcão Sobrinho (2012), O formato do sistema Mandala é, basicamente, uma nova forma de irrigação. A construção de um reservatório no meio do plantio em círculos com o intuito de aproveitar melhor o espaço, já que o projeto é aplicado em pequenas propriedades rurais. A produção de alimentos é diversificada, são plantadas leguminosas, hortaliças, frutas, etc. (MESIANO; DIAS, 2008).

Pode-se destacar, os benefícios oriundos do sistema mandala, dentre eles, o suprimento e sustento dos pequenos agricultores, promovendo o papel protagonista destes. Este sistema, contribui para o uso sustentável do meio ambiente, e a não degradação dos recursos naturais. A melhora na alimentação e a renda familiar se destacam, pois favorecem a inclusão social das famílias agricultoras participantes, visto que esta tecnologia se caracteriza de baixo custo e simples, que vem valorizando e respeitando as tradições e saberes locais.

Modelo PAIS dispõe da mesma estrutura que o sistema mandala, mas com uma diferença, ao invés do reservatório da água, tem-se um galinheiro central, seguido também por três terraços circulares que previne a perda do solo por erosão, podendo ser cultivado tanto hortaliças como frutas.

Os Cordões de pedra consistem na abertura de canais, geralmente em nível, onde são empilhadas pedras cujo objetivo é também reduzir a velocidade de escoamento das águas. No entanto é indicada para áreas com afloramento de pedras (MACEDO et al., 2009).

O projeto cabra-nossa-de-cada-dia é um projeto que foi idealizado em 1993, pela paróquia de sobral, com objetivo de oferecer segurança alimentar às famílias que passavam por dificuldades em que as crianças não tinham como se alimentar. Desta forma, foram doados caprinos às famílias, animais de fácil manejo e resistentes às condições climáticas semiáridas.



Figura 2: Cordões de pedra em São Domingos - Jaibaras – Sobral.
Fonte: Autores (2019)

Embora o relevo corresponda as áreas planas ou levemente ondulas, com declividades inferiores a 8 % (figura 5), associadas as fragilidades fracas a muito fraca, os agricultores começaram a realizar técnicas agrícolas especiais, como, terraceamento, rotação de culturas e plantio direto, evitando a erosão do solo e a degradação do ambiente.

A comunidade Livramento, a segunda área onde foi realizada a pesquisa, localiza-se ao noroeste da sub-bacia Jaibaras (alto curso), situada numa área de transição úmida/seca do maciço residual da Meruoca, pertence ao município de Alcântaras – CE. O compartimento do maciço residual correspondente a área de estudo, situa-se na vertente sudeste, são submetidas a influência das chuvas orográficas maiores e regularmente distribuídas.

O compartimento geomorfológico Maciço Residual Úmido, também denominada como enclave úmido, e compreende altitudes que vão de 400 a 900 metros. Este foi elaborado sobre rochas cristalinas datada do pré-cambriana, representada na geologia pela nomenclatura “Ey4m”, Granitóide Meruoca, composto por rochas gnaisses, migmatitos e granito, que promovem erosão diferencial no relevo.

Diante destas condições, favoreceu o desenvolvimento de solos com média a alta fertilidade, profundos e muito profundos, constituídos de horizontes A, Bt e C, textura variando de arenosa a argilosa no horizonte A e o horizonte Bt detendo o maior teor de argila. São, em geral, solos ácidos à moderadamente ácidos (COSTA FALCÃO, 2008). O uso do solo neste compartimento, tende a concentrar-se particularmente, em áreas de encostas e topos de serras, possui potencial agrícola elevado, porém em algumas áreas, apresentam limitações, principalmente, quando associado ao uso intenso de técnicas inadequadas, manifestando-se os processos erosivos, acarretando o depauperamento.

As características do ambiente fornecem componentes naturais que mantêm relações de reciprocidade com a tecnologias sociais inseridas na comunidade de Livramento. Esta, apresenta um baixo número de tecnologias socias. No entanto destaca-se o sistema mandala (figura 3), na qual uma associação de agricultores é responsável por cuidar da tecnologia e cisterna de consumo humano, P1MC.

Dentre as culturas destacam-se as hortaliças, coentros, milho, mamão, cebola, tomate, maxixe, chuchu, pimentão, cebola de palha, alface, couve, feijão, batata doce, abóbora, pimenta, mandioca e no seu entorno há plantações de frutíferas, de coqueiro, mangueira, graviola, mamão, abacateiro, maracujá, cajueiro, acerola, jaqueira, laranjeira, bananeira e cana-de-açúcar.



Figura 3: Sistema Mandala na comunidade de Livramento - Alcântaras.
Fonte: Autores (2019)

A classe de declividades nesta área é superior a 20%, conforme pode ser observada na figura 5, caracterizando-se, em relação a fragilidade do relevo, com médio a muito forte. As particularidades desse ambiente permitem uma combinação adequada para implementações de determinadas tecnologias sociais como, Cisterna-Calçadão, Cisterna – enxurrada, devido a inclinação das vertentes, na qual aproveitariam melhor as águas das chuvas.

A terceira área onde foi realizada a pesquisa, o distrito de Jordão, pertencente a Sobral - CE. Localiza-se ao noroeste da sub-bacia Jaibaras (alto curso), na vertente sul do maciço residual da Meruoca, com extensão de aproximadamente 16 km, sofre menos influência das chuvas orográficas.

Nessa área, a vegetação é constituída por espécie de caatinga arbustiva, semelhante a superfície sertaneja. Diante destas condições, favoreceu o desenvolvimento de solos rasos, com fraca evolução pedológica, textura arenosa ou média e normalmente cascalhenta, drenagem variado de moderada a acentuada. O uso do solo neste compartimento, tem capacidade agrícola limitada, há o uso intenso e consecutivo dos recursos naturais através de técnicas rudimentares, ocasionando a intensificação de processos erosivos.

Observou-se que, nesta área, as características do relevo mantêm associação de reciprocidade com as tecnologias sociais. Forneceu condições ideias para armazenar água nos reservatórios por toda estação seca, e desta forma, garantindo a produção de alimentos para consumo da família e para a comercialização. O distrito, foi beneficiado com mais de cinco tipo de programas de convivência com o semiárido: Cisterna Calçadão, Cisterna de enxurrada, Mandala, Quintal produtivo, Casa de semente crioulas, e estão na espera de novos programas para os agricultores rurais. Estes programas que dispõem de tecnologias tanto de consumo como de produção, as quais são baseadas em metodologias simples e acessíveis e de fácil manuseio pelas famílias agriculturas, são extremamente importantes para garantir o direito a água e contribuir para a segurança alimentar e nutricional das famílias.



Figura 4: Cisterna de calçadão, no distrito de Jordão - Sobral.
Fonte: Autores (2019)

As classes de declividades identificada nesta área são superiores a 20% (figura 5), associadas a relevos dissecados em formas de cristas, menor amplitude entre o fundo dos vales e topos mais rebaixados, com fragilidades médio a muito forte. Estes elementos condicionantes, permitem a incorporações de outras tecnologias de convivência com semiárido, principalmente, por apresentar terreno rochoso com lajedos, adequados para construção de tanque de pedra que funcionam para captação da água da chuva e cordão de pedra, que servem como barreiras para depositar sedimentos transportados pelas enxurradas.

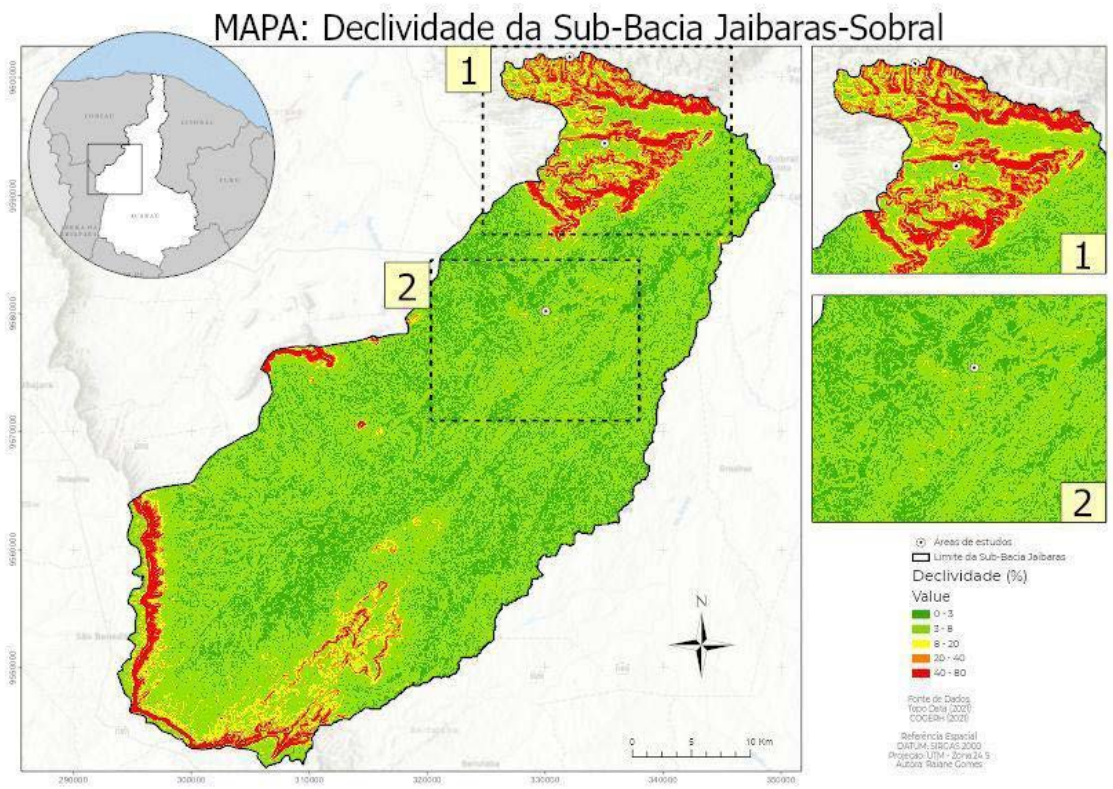


Figura 5: Mapa de Declividade da sub-bacia Jaibaras
Fonte: Cogerh (2020), IBGE (2020), Topodata (2021) adaptado por Gomes (2021)

5. Considerações finais

Neste trabalho realizou-se o mapeamento da Sub-Bacia Jaibaras com intuito de compreender a relação das tecnologias e o relevo em compartimentações distintas, e a partir disso, sugerir quais tecnologias são mais adequadas para determinados ambientes da sub-bacia.

Com isso, ao estabelecer as relações com as tecnologias sociais de convivência com o semiárido e o relevo, mostrou-se que quando associado aos componentes naturais do relevo tem-se um melhor aproveitamento das tecnologias sociais com produção de culturas permanentes e de ciclos curtos.

Referências

ALMEIDA, C. L. **A convivência com o semiárido a partir do uso de cisternas de placas na zona rural do município de Frecheirinha-CE**: Dimensões na paisagem da superfície sertaneja. 2017. 162 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral.

BRANDÃO, R. D. L; FREITAS, L. C. B. **Geodiversidade do estado do Ceará: Programa Geologia do Brasil**. Levantamento da Geodiversidade. 1. ed. Fortaleza, Brasil: CPRM, 2014. p. 1-214.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do Semiárido brasileiro. SUDENE. Brasília, DF, 2017. Disponível em: https:// http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido. Acesso em: 22 de maio de 2019.

COSTA FALCÃO, C.L**.** Enclaves em meio ao semiárido nordestino: o maciço da Serra da Meruoca e o uso da terra. In: FALCAO SOBRINHO, J.; COSTA FALCAO, C.L.; SOUSA, R.N.R.; MOTA, F.A. **Semiárido: diversidades naturais e culturais.** IADE/UVA, Sobral, 2008.

COSTA LIMA, V.; RICARDO DE LIMA, M.; MELO, V. de F. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Departamentos de Solos e Engenharia Agrícola, 2007.

FALCÃO SOBRINHO. J. **O revelo, elemento e âncora, na dinâmica da paisagem do vale, verde e cinza, do Acaraú, no Estado do Ceará**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FALCÃO SOBRINHO. J.; ROSS, J. L. S. Agricultura no Semi - Árido Cearense e Técnicas de Monitoramento de Processo Erosivo. in: FALCÃO SOBRINHO, J. e COSTA FALCÃO, Cleire Lima (orgs.) **Semiárido: diversidades naturais e culturais.** IADE/UVA,Sobral Gráfica, 2008.

GOMES, D. D. M.; Mendes, L. M. S.; Medeiros, C. N. DE; Verissimo, C. U. V**. Análise Multitemporal do Processo de Degradação da Vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras no Estado do Ceará**. Revista Geografia Ensino & Pesquisa, Vol. 15, n. 2, 2011b, 41-62 p.

MACEDO, J. R. DE. **Recomendação de manejo e conservação de solo e água** / José Ronaldo de Macedo, Cláudio Lucas Capeche, Adoildo da Silva Melo. -- Niterói: Programa Rio Rural, 2009. 45 p.; 30 cm. -- (Programa Rio Rural. Manual Técnico; 20).

MAGALHAES, L. C. M. ; FALCÃO, C, L, da Costa ; FALCÃO SOBRINHO, J . **O sistema Mandala como alternativa para uma melhor convivência com o semiárido, implantado no assentamento são João no município de Sobral-CE**. Revista Homem, Espaço e Tempo, v. 1, p. 12-24, 2012.

MDE- Modelo Digital de Elevação. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE**. Disponível em :<https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10856-mde-modelo-digital-de--elevacao.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 20 maio 2021.

MESIANO, Â; DIAS, R. **A Tecnologia Social como estratégia para o desenvolvimento sustentável: o caso da Mandalla**. In: VII ESOCITE. Jornadas Latino-Americanas de Estudos Sociais das Ciências e das Tecnologias. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em :< ttp://www.necso.ufrj.br/esocite2008/resumos/36047.htm>. Acesso em: 28 maio 2021.

SOUSA, A. B.; COSTA, C. T. F.; FIRMINO, P. R. A.; BATISTA, V. S. **Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido na Região do Cariri Cearense**. CADERNOS DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA, v. 34, p. 197-220, 2017.

SOUZA, M. J. N. **Contexto Geoambiental do Semi-árido do Ceará: Problemas e Perspectivas**. em: FALCÃO SOBRINHO, J. e COSTA FALCÃO, Cleire Lima (orgs.) Semi-árido: diversidades, fragilidades e potencialidades. Sobral Gráfica, 2006.

SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V de. **Os Enclaves úmidos e Sub-úmidos do Semi-árido do Nordeste Brasileiro**. Mercator, v. 09, p. 85-102, 2006.

GEOPROCESSAMENTO APLICADO À COMPARTIMENTAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACURUCA (CE-PI)

Francílio de Amorim dos Santos
Instituto Federal do Piauí / Campus Piripiri.
E-mail: francilio.amorim@ifpi.edu.br.
Maria Lúcia Silveira Mendes
Universidade Estadual do Ceará / Campus do Itaperi.
E-mail: lucia.mendes@uece.br.
Lúcia Maria Brito da Cruz
Universidade Estadual do Ceará / Campus do Itaperi.
E-mail: mlbcruz@gmail.com.
Josenete Assunção Cardoso
Instituto Federal do Maranhão / Campus Barreirinhas.
E-mail: jsnt.cardoso@gmail.com.

Resumo

O estudo buscou realizar a compartimentação e caracterização da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca (CE-PI), para conhecimento integrado das componentes ambientais na área e geração de informações para tomada de decisões. Desse modo, a Sub-bacia foi compartimentada em três setores, a saber: alto vale, assentado sobre o Planalto da Ibiapaba, cursos fluviais que correm perpendicularmente ao rio principal, condições climáticas amenas, solos profundos e bem desenvolvidos, recobertos por mata plúvio-nebular e/ou caatinga arbórea; médio vale, situado sobre o Planalto da Ibiapaba e arenitos da Formação Pimenteiras, com rios controlados estruturalmente, solos jovens, recoberto por caatinga arbustiva densa e/ou aberta; baixo vale, situado sobre litologia sedimentar e ígnea, abrange as principais fozes dos cursos fluviais, exibe condições climáticas mais severas, solos jovens e cobertura vegetal do tipo caatinga aberta arbustiva densa e/ou aberta e carnaubal.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Abordagem integrada; Nordeste do Brasil; Geotecnologia; Setorização.

1. Introdução

Os estudos ambientais baseados na abordagem sistêmica têm sido largamente desenvolvidos e sua importância está na possibilidade do conhecer de forma integrada os elementos que compõe o todo. Nesse contexto, deve-se inserir o potencial humano em provocar desequilíbrios nos componentes dos sistemas ambientais, pois, como afirma Monteiro (1978), as atividades humanas geram alterações no meio, criando microclimas e alterações nos sistemas naturais ao atuar na cobertura biótica da superfície terrestre.

Nesse cenário, Christofoletti (1980; 1990) destaca que a visão integrada da natureza baseia-se na Teoria Geral dos Sistemas (TGS), onde se empregam procedimentos teóricos da TGS. Desse modo, reconhece-se a relevância da abordagem integrada voltada a estudos ambientais, particularmente no contexto da Geografia. Ab'Sáber (2003) aponta a necessidade em se conhecer as limitações das paisagens, como possibilidade para uso mais racional, bem como preservação do equilíbrio fisiográfico e ecológico.

Reitera-se a necessidade de análise dialética da paisagem, visto que essa compreende elementos naturais e sofre influência do sistema econômico e cultural (RODRIGUEZ, 2000). Nesse estudo, tomou-se a bacia hidrográfica como recorte espacial para estudo da paisagem. Para Novo (2008), a bacia hidrográfica configura uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus afluentes, portanto, uma área de capitação natural de água da precipitação que converge para um único ponto, o exutório.

Suertegaray (2009) ressalta que, no contexto da visão sistêmica, as bacias hidrográficas figuram como recorte espacial que proporciona a integração. Desse modo, reitera-se que, de acordo com Cazula e Mirandola (2010), a bacia hidrográfica é formada por componentes que atuam de forma interdependente e harmônica, são controlados pelo fluxo de massa e de energia, onde cada componente é reflexo das mudanças externas impostas a eles.

Nesse cenário, o emprego de geotecnologias, particularmente os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), é de suma importância nos estudos ambientais. Os SIGs compreendem dados, métodos e pessoas cuja função diz respeito à integração de dados temáticos de fontes distintas, relacionados a uma mesma área (BELTRAME, 1994). Enfatiza-se que s geotecnologias compreendem uma alternativa e proveitoso instrumento para realização de pesquisas, onde se pode difundi-las por meio do desenvolvimento de materiais didáticos e programas de capacitação na modalidade à distância (FLORENZANO, 2005).

Reitera-se, dessa forma, a relevância do geoprocessamento aplicado aos estudos ambientai, como possibilidade para tratar informações geográficas, a partir do emprego de técnicas e metodologias relacionadas a coleta, armazenamento e tratamento de informações espaciais ou georreferenciadas para serem utilizadas em sistemas específicos que de alguma forma se utiliza do espaço físico geográfico, notadamente por meio dos SIGs.

Como forma de operacionalização da pesquisa descritiva, foi empregado levantamento bibliográfico e cartográfico, este último de suma importância, possibilitou o conhecimento das componentes da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca e, posteriormente, a sua compartimentação, onde se tomou como base a geologia, as classes de declividades, atitude e rede de drenagem. Frente à relevância apresentada no que diz respeito aos estudos integrados em bacias hidrográficas, buscou-se nesse estudo realizar a compartimentação e caracterização da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca (CE-PI), para conhecimento integrado das componentes ambientais na área e geração de informações para tomada de decisões.

2. Área em estudo

O recorte espacial em estudo, a Sub-bacia Hidrográfica rio Piracuruca (SBHRP), está localizada no setor nordeste da Bacia Hidrográfica do rio Longá e na borda oriental da Bacia Hidrográfica do rio Parnaíba, entre os estados do Ceará e do Piauí, compreendendo 20 municípios, sendo onze municípios piauienses e nove cearenses (Figura 1), abrangendo uma área total de 7.704 km2.

A seguir serão mais bem detalhadas as informações acerca dos principais componentes ambientais da SBHRP (Figura 2), que foram utilizados, posteriormente, para compartimentação da Sub-bacia em estudo.

A SBHRP está assentada sobre formações geológicas predominantemente sedimentares (CPRM, 2006a; 2006b), quais sejam (Figura 2A): Serra Grande (Período Siluriano), que ocorre em 37% da área; Pimenteiras (Período Devoniano Inferior), com ocorrência em 23,6%; Cabeças (Período Devoniano Médio), que se estende por 21,8% da Sub-bacia; Longá (Período Devoniano Superior), que se distribui por 0,1,% da área; Sardinha (Período Cretáceo, única de natureza vulcânica), cuja ocorrência dá-se por 4,9% da SBHRP e os Depósitos Colúvio-Eluviais (Período Neógeno), encontrado em 12,6% da área pesquisada.

As referidas formações geológicas, ao longo do tempo, têm sido submetidas a processos de dissecação e de acumulação, fruto rede de drenagem e, consequentemente, resultando em extensa área aplainada, com formação de superfícies tabulares, particularmente a partir do planalto da Ibiapaba. A Sub-bacia exibe cotas altimétricas que variam de 25 m a 965 m (Figura 2B), cuja amplitude altimétrica é 940 m e altitude média de 292,5 m, predominando as cotas de 25 m a 185 m (em 59,4% da área), particularmente encontradas no vale do rio Piracuruca. Em relação às classes de declividade do relevo da SBHRP foi identificada declividade média de 6,6%, mínimo de 0% e máximo de 75%, com preponderância da classe plana (0 a 3%) em 58,4%, particularmente no médio e baixo vale, parte central-oeste (Figura 2C).

A SBHRP sofre influência direta da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema provedor de chuvas e que atua com maior intensidade de março a abril, em associação aos fenômenos oceânicos *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) e Dipolo do Atlântico. Destaca-se, ainda, a ocorrência na vertente a barlavento do Planalto da Ibiapaba as chuvas orográficas. Em relação às condições climáticas gerais, de acordo Santos (2019), a Sub-bacia exibe as seguintes características médias anuais: totais pluviométricos de 860 a 1.710 mm anuais; temperatura entre 20 a 27°C; 1 a 7 meses secos; evapotranspiração potencial da ordem de 903 a 1.643 mm; excedentes hídricos de 100 a 1.000 mm; e déficits de 0 a 730 mm.

No que diz respeito os recursos hídricos, o rio Piracuruca destaca-se por ser o único curso perene, fato possível devido à construção da barragem. Ressalta-se que a rede de drenagem da Sub-bacia pesquisada possui padrão dendrítico, conforme proposta de Christofoletti (1980), enquanto sua hierarquia fluvial **é de 6ª ordem (Figura** 2D), de acordo com a proposta de Strahler (1952). Desse modo, a Sub-bacia possui 2.568 canais, distribuídos da seguinte forma: 2.007 de 1ª ordem (2.598,3 km / 78,16% da área); 442 segmentos de 2ª ordem (1.806,6 km / 17,21% da área); 93 canais de 3ª ordem (956,5 km / 3,62% da área); 19 canais de 4ª ordem (247,1 km / 0,74% da SBHRC); 6 canais de 5ª ordem (293,8 km / 0,23% da Sub-bacia); 1 canal de 6ª ordem, o rio Piracuruca (144,1 km / 0,04%).

Por sua vez, foram identificadas as seguintes ordens e subordens de solos (INDE, 2018) na área estudada (Figura 2E): Neossolos (subordens Litólico e Quartzarênico); Argissolos (subordem Amarela e Vermelha); Latossolos (subordem

Amarela); Planossolos (subordem Háplico); Plintossolos (subordens Argilúvico e Pétrico); Vertissolos (subordem Ebânico); Gleissolos (subordem Melânico); Chernossolos (subordem Argilúvico). Esses solos, conforme estudo de Santos (2019), são recobertos por vegetação de grande porte (mapa plúvio-nebular), no platô do Planalto da Ibiapaba, ao passo que em direção ao estado do Piauí ocorre a mata seca, o complexo vegetacional carrasco e a caatinga arbórea e arbustiva.

3. Metodologia

A pesquisa classifica-se como descritiva, quanto ao seu objetivo, onde se buscou realizar a caracterização das componentes ambientais que compõem a paisagem e, como tal, compartimentação da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca. Destaca-se, também, que a setorização pautou-se na abordagem sistêmica, a partir da visão integrada dos elementos da paisagem, notadamente a partir da geologia, das classes de declividade, das cotas altimétricas e dos cursos hídricos.

Desse modo, foi necessária a realização de levantamento bibliográfico e cartográfico, onde se obtiveram arquivos vetoriais, matriciais e alfanuméricos, associado ao trabalho de campo (realizado em dezembro de 2016 e em dezembro de 2017) e emprego de programas computacionais, para manuseio e montagem do banco de dados. Ressalta-se, ainda, que o nível de detalhes do mapeamento efetivado encontra-se em escala compatível em escala de 1:100.000 e, como tal, auxiliar no planejamento ambiental a partir da setorização da Sub-bacia do rio Piracuruca.

Reitera-se que a caracterização das componentes ambientais e setorização da Sub-bacia em estudo demandaram aquisição de material cartográfico e manuseio dos mesmos em programas computacionais, conforme segue abaixo:

1) Geologia: arquivos vetoriais da geodiversidade dos estados do Ceará e do Piauí, em escala de 1:1.000.000, obtidos no banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006a; 2006b), manuseados via SIG *QGIS*, versão 2.14;

2) Geomorfologia e Hidrografia: arquivos matriciais do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Missão Topográfica Radar *Shuttle* (SRTM), adquirido via Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2017), com resolução espacial de 30 metros, manuseado por meio do SIG ArcGIS, versão 10.2 (licença adquirida pela Universidade Federal do Piauí), e *QGIS*;

3) Climatologia: arquivos alfanuméricos de 14 postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), a partir da série histórica de 1985 a 2016, cujo manuseio foi realizado no pacote de programas USUAIS, conforme orientam Oliveira e Sales (2016);

4) Pedologia: arquivo vetorial de solos das folhas SB.23 e SB.24, adquiridas junto ao banco de dados da Infraestrutura Nacional de Dados Especiais (INDE, 2018), em escala 1:1.000.000, manuseados via *QGIS*;

5) Cobertura vegetal: trabalho de campo.

Ressalta-se que os referidos arquivos subsidiaram, inicialmente, a produção de mapas preliminares, que posteriormente foram utilizados no trabalho de campo, como possibilidade para reconhecimento da área e compartimentação da Sub-bacia do rio Piracuruca.

4. Resultados e discussão

Inicialmente, destaca-se que a proposta de setorização da Sub-bacia em estudo considerou como elementos basilares para delimitação do alto (A), médio (B) e baixo vale (C) os seguintes componentes da paisagem (Figura 3): aspectos geológicos, as cotas altimétricas, classes de declividade e a própria rede de drenagem. Nesse sentido, a seguir será mais bem detalhado cada um dos 3 setores mencionados.

4.1 Alto vale (setor A)

Esse setor abrange a maior área da Sub-bacia, que corresponde a 37,7% (2.904,4 km2) da mesma. O Alto vale da SBHPR compreende a área de 7 municípios cearenses (Carnaubal, Guaraciaba do Norte, Ibiapina, São Benedito, Tianguá, Ubajara e Viçosa do Ceará), ao passo que do lado piauiense esse setor abarca parte dos territórios de 5 municípios (Cocal, Cocal dos Alves, Domingos Mourão, Piracuruca e São João da Fronteira).

O setor A foi delimitado considerando a geologia, posto que esteja situado sobre o Planalto da Ibiapaba, local onde se encontram as principais nascentes do rio Piracuruca. Nesse setor, pode-se observar notoriamente a influência da drenagem consequente atuando sobre o referido Planalto, que apresenta marcas visíveis do festonamento, resultados da dissecação gerada por esses rios.

Esse trecho da SBHRP é formado preponderantemente por arenito com intercalações de folhelhos e siltito arenoso, ao passo que a rede de drenagem nessa área apresenta notório controle estrutural sentido nordeste-sudeste, resultado das falhas oriundas do lineamento transbrasiliano (CRPM, 2006a). Fato esse que tem influência direta na direção dos cursos fluviais, fazendo-os correr em sentido perpendicular ao rio principal da Sub-bacia. Destaca-se, ainda, que no alto vale encontra-se o açude Jaburu I (Figura 4A), sumamente importante para o abastecimento e desenvolvimento econômico dos municípios do Planalto da Ibiapaba.

O alto vale apresenta formas de relevo plano, que ocorre no topo do Planalto, a formas dissecadas, fruto da drenagem consequente. Ao passo que as cotas altimétricas nesse trecho são as mais altas, tendo em vista que estão associadas ao topo do Planalto da Ibiapaba, logo variam de 185 a 965 m (USGS, 2017). Deve-se ressaltar que, embora, haja grande amplitude altimétrica nesse setor em relação aos demais, tal fato decorre dos elevados declives oriundos dos rebordos erosivos do referido Planalto, que oscilam entre 20 a 75% (USGS, 2017), ou seja, relevo forte ondulado a montanhoso.

Os totais pluviométricos na área oscilam entre 1.060 a 1.710 mm anuais, sendo considerado o setor mais chuvoso dentre os três, fato que ocorre devido às altas cotas altimétricas nessa área, cujo principal efeito é a ocorrência das chuvas orográficas. Ressalta-se que o platô do Planalto constitui o setor mais chuvoso do alto vale, com pluviometria que varia de 1.360 a 1.710 mm anuais. Acrescente-se, também, que a área do setor A apresenta as mais baixas médias de temperatura (20 a 25°C), os menores volumes de evapotranspiração potencial (903 a 1.403 mm), os maiores níveis de excedente hídrico (500 a 1.000 mm anuais), os menores volumes de déficit hídrico (30 a 430 mm anuais) e poucos meses secos (0 a 4) (ANA, 2017).

Esses elementos climáticos são essências no controle do processo de pedogênese, que no alto vale é responsável pela formação de solos maduros e bem desenvolvidos a solos jovens e rasos. Desse modo, são encontrados nesse setor desde Latossolos (topo do Planalto) a Neossolos Litólicos e Quartzarênicos

(rebordos erosivos) e solos com ocorrência em áreas associados a maior umidade, a exemplo dos Gleissolos e Planossolos (INDE, 2018). Da síntese desse ambiente úmido, como solos maduros e áreas planas resulta uma cobertura vegetal de maior porte, a mata plúvio-nebular (no topo) e caatinga arbórea (depressão aplainada) e caatinga arbustiva (nos rebordos erosivos e depressão monoclinal).

4.2 Médio vale (setor B)

O médio vale é o segundo setor com maior área da Sub-bacia estudada, abrangendo 31,6% (2.434,5 km2) da SBHRP. Esse setor estende-se apenas pelo território piauiense, sobre o território dos seguintes municípios: Brasileira, Cocal, Cocal dos Alves, Domingos Mourão, Pedro II, Piracuruca e São João da Fronteira.

O médio vale, assim como o alto, assenta-se sobre geologia ligada ao Planalto da Ibiapaba, particularmente sobre o Grupo Serra Grande. Esse setor compreende, também, os médios cursos fluviais dos principais afluentes do rio Piracuruca. Diga-se, ainda, que esse setor é marcado pela presença de rios subsequentes, que aponta para um controle estrutural exercido pelas falhas ligadas ao lineamento transbrasiliano (CPRM, 2006b).

Ademais, na área do setor B encontra-se presente a Formação Pimenteiras – arenitos, siltitos e folhelhos – e os Depósitos Colúvio-Eluviais – sedimentos arenosos (CPRM, 2006b). Pode-se inferir que é o setor com maior fragilidade no que diz respeito à resistência das rochas aos processos de intemperismo. O médio vale é caracterizado por apresentar uma extensa área em processo de dissecação, além de formas erosivas e de acumulação, esta última está associada às planícies fluviais dos rios Catarina (Figura 4B), Pejuaba e Arabé.

O relevo nessa área exibe cotas altimétricas que variam de 105 a 665 m (USGS, 2017). Ressalta-se que essa variação é justificável pelo fato do setor em questão abranger parte dos rebordos erosivos do Planalto da Ibiapaba. Salienta-se que no relevo predomina declividade plana (0 a 3%), embora se possam encontrar áreas com relevo suave ondulado a ondulado (3 a 20%) (USGS, 2017).

O setor B apresenta níveis de precipitação com predomínio do intervalo de 860 a 1.360 mm anuais médios, que pode ser considerado, ainda, bastante chuvoso, quando considerado o baixo vale, que será analisado em seguida. Os outros elementos climáticos analisados apontam para uma área com rigor climático intermediário, pois exibe temperatura média de 24 a 26°C, evapotranspiração potencial de 1.303 a 1.503 mm anuais, excedente hídrico de 100 a 600 mm anuais, um déficit hídrico de 230 a 730 mm anuais e 3 a 7 meses secos (ANA, 2017).

No médio vale o processo de dissecação associado aos elementos climáticos contribuem para a formação de um mosaico de solos jovens e rasos (Neossolos Litólicos e Quartzarênicos) a solos situados em ambientes planos (Planossolos) e ambientes inundáveis (Gleissolos e Plintossolos), como também os Argissolos, derivados dos sedimentos coluviais (INDE, 2018). Desse modo, o produto da integração desses elementos da paisagem resulta em uma caatinga de fisionomias diversas, que varia de porte arbóreo a arbustivo aberto ou denso.

4.3 Baixo vale (setor C)

O baixo vale constitui o setor de menor área representativa da Sub-bacia, posto que se distribua por 30,7% (2.365,1 km2). O setor em questão abrange área dos municípios de Batalha, Brasileira, Caraúbas do Piauí, Cocal, Domingos Mourão, Piracuruca, Piripiri, São João da Fronteira e São José do Divino.

A delimitação do baixo vale da SBHRP foi realizada tomando-se como base que nesse setor encontra-se a foz dos quatro afluentes do rio Piracuruca. Nesse setor situa-se a represa da barragem de Piracuruca (Figura 4C), que foi responsável pela perenização do referido rio e constitui-se de suma importância no que diz respeito ao abastecimento do município homônimo, bem como para o desenvolvimento de projetos de aquicultura e de agricultura irrigada, particularmente ligada à fruticultura.

O setor C está assentado principalmente sobre quatro formações, a saber: Sardinha, Longá, Cabeças e Pimenteiras. As três últimas apresentam constituição sedimentar e são compostas por arenitos, folhelhos e siltito (CRPM, 2006b), logo exibem elevado potencial erosivo. Ao passo que a Formação Sardinha é constituída por rochas de natureza vulcânica, basalto e diabásio (CRPM, 2006b), já próximo a foz do rio Piracuruca, que apresentam elevado nível de impermeabilidade e forte resistência ao processo de dissecação.

O baixo vale apresenta as menores cotas altimétricas, estas situadas entre 25 a 185 m, ao passo que seu relevo constitui-se o mais plano dentre os três setores, cuja declividade encontra-se entre 0 a 8% (USGS, 2017). Esse setor, que possui baixas variações altimétricas e relevo plano, compreende áreas de inundação sazonal associadas ao vale do rio Piracuruca e seus afluentes, particularmente no período chuvoso, que se situa de janeiro a abril.

O baixo vale possui totais pluviométricos situados entre 1.160 a 1.360 mm anuais médios. Deve-se destacar que esse volume de chuva sofre influência do distanciamento em relação ao Planalto da Ibiapaba, visto que a proximidade a essa área resulta em elevados níveis de precipitação, produto das chuvas orográficas. Esse vale da SBHRP possui o maior rigor climático posto que as temperaturas médias sejam de 25 a 27°C, 1.403 a 1.643 mm anuais de evapotranspiração potencial, 300 a 600 mm anuais de excedente hídrico, um déficit hídrico de 330 a 430 mm anuais e 3 a 5 meses secos (ANA, 2017).

Essa configuração da paisagem, descrita, possibilita o desenvolvimento de pedogênese que resulta na formação de solos típicos de regiões úmidas, como os Plintossolos e Gleissolos, a solos jovens e não muito desenvolvidos, como os Neossolos e os Chernossolos, além dos Vertissolos, típicos de áreas planas e pouco movimentadas (INDE, 2018). Esse ambiente edáfico possibilita o crescimento de vegetação do tipo caatinga arbustiva aberta a densa, essa última situada principalmente próxima os cursos fluviais.

5. Considerações finais

A metodologia aplicada apresentou êxito, posto que tenha sido possível realizar a compartimentação da Sub-bacia do rio Piracuruca, particularmente em três setores, fato que possibilitou o conhecimento de forma integrada das principais componentes ambientais da paisagem, sendo possível, desse modo, a caracterização de cada setor.

Desse modo, observa-se que o alto vale está assentado sobre o Planalto da Ibiapaba, possui relevo de topo plano, cujos cursos fluviais correm perpendicularmente ao rio principal, apresenta condições climáticas amenas, solos profundos e bem desenvolvidos, recobertos por mata plúvio-nebular e/ou caatinga arbórea. Cita-se, ainda, a presença do açude Jaburu I, de suma importância para o desenvolvimento econômico e abastecimento da população dos municípios localizados no topo do Planalto.

Por sua vez, o médio vale está situado sobre o Planalto da Ibiapaba e os arenitos da Formação Pimenteiras, com rios controlados por falhas ligadas ao

lineamento transbrasiliano, relevo plano, solos jovens, recoberto por caatinga arbustiva densa e/ou aberta. Ao passo que o baixo vale localiza-se sobre litologia sedimentar e ígnea, relevo plano, abrange as principais fozes dos cursos fluviais, exibe condições climáticas mais severas, solos jovens e cobertura vegetal do tipo caatinga aberta arbustiva densa e/ou aberta e carnaubal. Nesse setor, situa-se o lago da barragem de Piracuruca, cujo recurso hídrico vem sendo utilizado para a prática de agricultura irrigada e piscicultura.

Frente o exposto, é possível perceber as potencialidades apresentadas por cada setor da Sub-bacia pesquisada e, ainda, as limitações ao uso. Ressalta-se que a partir das informações integradas por meio dessa pesquisa devem-se elaborar estratégias para o uso racional dos recursos disponíveis, por meio de rigoroso planejamento ambiental, na perspectiva de subsidiar o uso, bem como, a manutenção do equilíbrio dos sistemas presentes na área.

Referências

AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza do Brasil:** potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial. 2003.

BELTRAME, Angela da Veiga. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. A aplicação da abordagem em sistemas na geografia física. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.52, n.2, p.21-35, abr./jun. 1990.

_____. **Geomorfologia**. -- São Paulo: Editora Blucher, 1980.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Mapas estaduais de geodiversidade**: Ceará. Rio de Janeiro: CPRM. 2006a. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2014.

_____. **Mapas estaduais de geodiversidade**: Piauí. Rio de Janeiro: CPRM. 2006b. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2014.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, vol. 17, p.24-29. 2005.

INDE - INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPECIAIS. **Mapa de Solos da Folha SB.24**: Jaguaribe. Disponível em: <http://www.visualizador.inde.gov.br/>. 2014. Acesso em: 13 set. 2018.

MONTEIRO, C.A.F. Derivações Antropogênicas dos Geossistemas Terrestres no Brasil e Alterações Climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. In: SIMPÓSIO DA COMUNIDADE VEGETAL COMO UNIDADE BIOLÓGICA, TURÍSTICA E ECONÔMICA, 1978, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ACIESP, 1978, v.1, n.15, p.43-76.

NOVO, E.M.L.M. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos. 2008. p.219-246.

OLIVEIRA, J.G.B.; SALES, M.C.L. Usuais: programas para uso em análise ambiental. **Revista Equador**, Teresina, v.5, n.2, p.36-60, jan./jun. 2016.

RODRIGUEZ, J.M.M. **Geografía de los paisajes.** Ministerio de Educacion Superior. Universidad de la Habana / Facultad de Geografia. La Habana, 2000.

SANTOS, F.A. **Resiliência ambiental a secas e a inundações na Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca (CE-PI)**. 268p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2019.

STRAHLER, A.N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, Columbia, n.63, p.111-141, 1952.

GEOTECNOLOGIAS E MODELAGENS APLICADAS A ANÁLISE DE RELEVO

Romario Trentin
Universidade Federal de Santa Maria
Avenida Roraima, 1000 – Campus da UFSM – Prédio 17 – Camobi
CEP: 97105-900 – Santa Maria/RS
E-mail: romario.trentin@gmail.com
Luís Eduardo de Souza Robaina
Universidade Federal de Santa Maria
Avenida Roraima, 1000 – Campus da UFSM – Prédio 17 – Camobi
CEP: 97105-900 – Santa Maria/RS
E-mail: lesrobaina@yahoo.com.br

Resumo

As classificações automatizadas, cada vez mais potencializam o uso de ferramentas SIG para estudos geomorfológicos. O presente trabalho teve como objetivo estabelecer a definição de formas de relevo, elementos do relevo e formas das vertentes, através dos cruzamentos de parâmetros gerados a partir de classificação topográfica automatizada, e do uso de árvore de decisão, para a bacia hidrográfica do Rio Ibicuí, no oeste do estado do Rio Grande do Sul. Para a elaboração do trabalho, utilizou-se dados de radar do SRTM. A geração das formas de relevo foi definida através das variações de amplitude e declividade, a identificação dos elementos de relevo foi feita em ambiente virtual e, as formas das vertentes foram definidas através de cruzamentos das camadas de declividade e curvatura das vertentes. Através usos dos dados geomorfométricos foi possível estabelecer a compartimentação das formas e dos elementos do relevo, bem como das formas das vertentes da bacia hidrográfica do rio Ibicui.

Palavras-chave: Gemorfometria; *Geomorphons*; Unidades de relevo; Geoprocessamento.

1. Introdução

Com o crescente desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas e Geotecnologias, surgem cada vez mais, métodos de processamento de informações digitais possíveis de representação da superfície terrestre, os quais auxiliam a análise topográfica de uma zona de interesse, assim como o cálculo automatizado de uma série de variáveis relacionadas (VIDAL-TORRADO *et al*., 2005). Os parâmetros obtidos dos MDTs constituem descritores representativos de mensurações quantitativas do relevo por meio de equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica (Muñoz, 2009).

Estudos desenvolvidos para classificação de padrões de formas semelhantes do relevo foram realizados no Planalto de Poços de Caldas/MG (MINATEL TINÓS *et al*., 2014), para determinar formas do relevo do estado do Paraná (SILVEIRA; SILVEIRA, 2015) e da região central da Serra do Mar Paranaense (SILVEIRA; SILVEIRA, 2016).

Para análise dos elementos do relevo Trentin *et al* (2016) e Silveira *et al* (2017) utilizam o Índice de posição topográfica (IPT) para classificação. Ainda com esse mesmo objetivo, Jasiewicz e Stepinski (2013) estabeleceram uma classificação dos elementos de relevo (dez classes mais comuns) denominados *geomorphons* através do emprego de ferramentas de visão computacional, em substituição à combinação de variáveis extraíveis de um MDT. Essa proposta foi aplicada por Robaina *et al*. (2016) para compartimentação do estado do Rio Grande do Sul e Silveira (2018) para o Estado do Paraná.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar propostas de metodológicas empregadas na segmentação do espaço geográfico, com auxílio de elementos geomorfométricos para estabelecer uma classificação do relevo em ambiente de SIG. Utilizou-se como área de análise a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí que abrange importantes rios da região oeste do Rio Grande do Sul, drenando parcial ou totalmente a área de 31 municípios, sendo o Rio Ibicuí o maior afluente da Bacia do Rio Uruguai, dentro do território brasileiro. A BHRI está localizada (Figura 1) entre as coordenadas de latitude sul 29º01' e 31º20' e entre as longitudes oeste 56º47' e 53º29', englobando a área total ou parcial de 30 municípios. A área da bacia é de 46.602,58 km^2, o perímetro de 1268,76 km e o canal principal apresenta uma extensão de 1.302 km, desde a nascente do Rio Santa Maria até a foz quando o Rio Ibicuí deságua no rio Uruguai.

A área vem sendo alvo de pesquisas e trabalhos científicos de mapeamento temático da paisagem, como de Verdum (1997, 2005), De Nardin e Robaina *et al*. (2010), Trentin *et al*. (2012; 2013), Trentin & Robaina (2012), Sccoti *et al.* (2013) e Menezes *et al*. (2011; 2013).

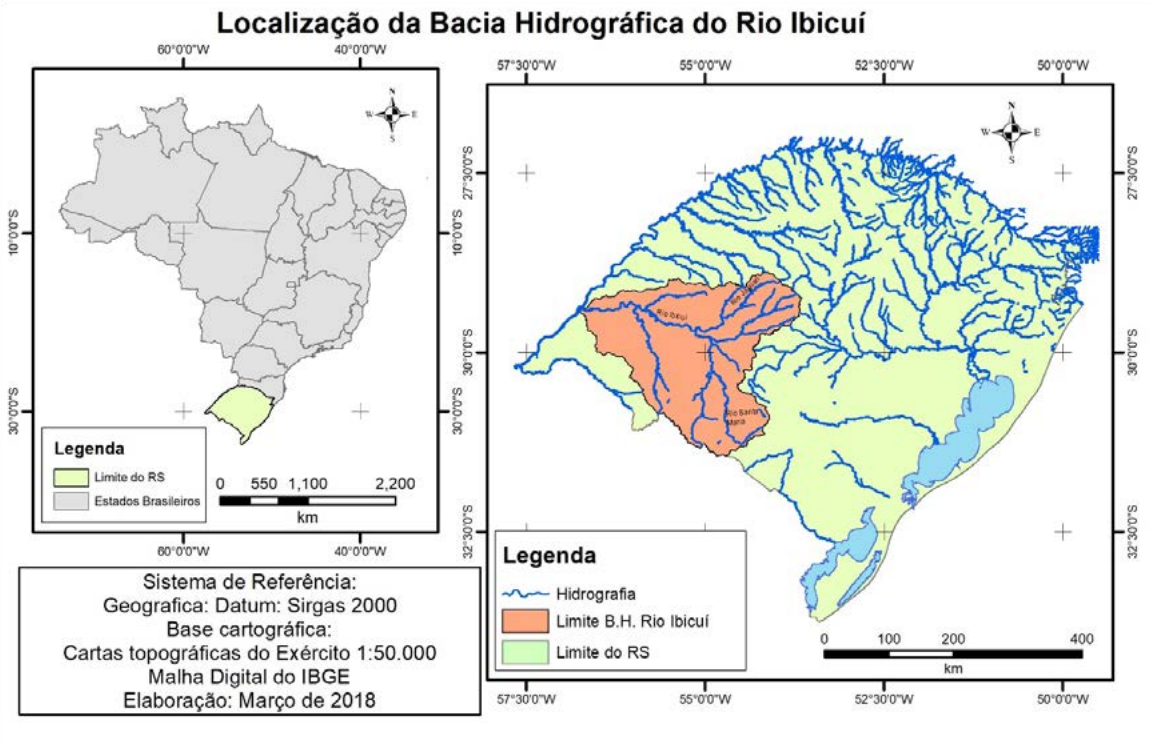


FIGURA 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí.
Fonte: Arquivo dos autores.

2. Metodologia

As bases cartográficas utilizadas são a Base Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000 (Hasenack e Weber, 2010), para definir os limites da área de interesse da pesquisa, bem como a análise de parâmetros morfométricos, relacionados a rede hidrográfica e, o Modelo Digital de Elevação, originado da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (KRETSCH, 2000), disponibilizado pelo United States Geological Survey (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2016), com resolução espacial de 3 arc-second (90 metros).

Os processamentos digitais, bem como o banco de dados foram organizados e gerenciados pelo SIG, ArcGIS 10.3®, com as ferramentas de análise espacial e de análise tridimensional. A organização das informações em bancos de dados possibilita menor margem de erros de processamento, bem como melhor organizações e tempo de processamento das mesmas.

Quanto as extrações dos dados geomorfométricos e definição de formas de relevo, podem ser apresentadas diferentes métodos de cruzamentos de dados e geração das classes de relevo, conforme aplicações a seguir.

A determinação das formas de relevo podem ser definidas como um primeiro nível de análise, e definem de forma geral as unidades geomorfológicas. A delimitação das formas de relevo em ambiente SIG inicia com as análises do Modelo Digital de Elevação. As formas definidas no presente trabalho seguem uma proposta adaptada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), que utiliza a amplitude altimétrica e a declividade do terreno.

A declividade é gerada em porcentagens através das ferramentas SIG de análise espacial sendo o produto, um mapa com quatro classes de declividade:

inferiores a 2% que representam as áreas planas, predominantemente representam as áreas de deposição junto aos cursos de água, porém podem representar situações de topos planos; a classe de declividade de 2 a 5% que representam as áreas levemente onduladas; a classe de declividade de 5 a 15% que representam as áreas onduladas e; a classe de declividade superior a 15 % que representam as áreas fortemente onduladas à escarpadas.

A amplitude é definida através da ferramenta de estatística focal do SIG que possibilita definir o gradiente de amplitude da área através da análise da diferença de altitude máxima e mínima dentro de uma janela móvel de tamanho e forma definida pelo usuário.

No presente trabalho utilizou-se a janela móvel circular com raio de 2 pixels. Após a definição do gradiente de amplitude se estabelece o limiar de variação da amplitude no círculo de análise, através da análise de perfis topográficos da área de estudo, os quais permitem definir a variação da amplitude altimétrica das vertentes em análise a fim de estabelecer a amplitude geral das vertentes maiores e menores que 100 metros. Após a definição das duas camadas base, a citar, declividade e amplitude, as mesmas são cruzadas espacialmente no SIG a fim de definir as unidades de formas do relevo.

Para a determinação dos elementos do relevo, aplicou-se a metodologia baseada na proposta de Jasiewicz & Stepinski (2013) com os *geomorphons* obtidos pela análise da similaridade textural do MDE, considerando a variação de níveis de cinza entre uma célula central e as células vizinhas. Se a célula central for maior, assume o valor de “1”, se é menor “-1” e se é igual, “0”. Esta informação é transferida para valores de elevação do terreno de maior, menor ou igual).

Conforme Jasiewicz e Stepinski, (2013), para caracterizar a superfície do relevo não basta a diferença de altura, sendo necessária a distância e o ângulo de direção dos pontos vizinhos em relação à célula central (ângulos zenith e nadir). Para esse cálculo, perfis são traçados para as principais direções a partir da célula central “lookupdistance” (L)., extraídos do Modelo Digital de Elevação.

Um ângulo de elevação é um ângulo entre o plano horizontal e a linha que liga a célula central com o ponto no perfil. Em uma elevação com ângulo negativo, o ponto no perfil é mais baixo que o central. Para cada perfil, é calculado o ângulo de elevação “DSL”, com “D” e “L” demonstrando a dependência da direção (D) e da distância (L).

O ângulo zenith do perfil é definido por “DϕL=900– DβL”, onde “DβL” é o ângulo máximo de elevação “DSL”. O ângulo nadir do perfil é definido como “DψL= 90o–DδL”, onde “DδL” é o ângulo mínimo de elevação “DSL”. Assim, o ângulo Zenith é um ângulo entre o Zenith e a “line-of-sight”, e o ângulo nadir é um ângulo entre o nadir e uma hipotética “line-of-sight”, que resulta da reflexão do perfil da elevação em relação ao plano horizontal. Ambos são positivos e definidos entre 0º a 180º.

Para a realização do processamento do MDE e a geração dos *geomorphons*, utilizou-se a aplicação online, disponibilizada no endereço eletrônico <<http://sil.uc.edu/geom/app>>. O código da aplicação também está disponível para baixar em http://sil.uc.edu/, podendo ser implementada no ambiente do software SAGA.

A aplicação exige um conjunto de dados raster e dois valores escalares, livres, como parâmetros. O arquivo de entrada para a varredura é uma MDE. Os dois parâmetros livres são lookup “L” (distância em metros ou célula unidades) e thresholdt (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres, aplicou-se valor de “L” igual a 20 pixels (1800 metros) e graus “t” igual a 2º.

As formas das encostas foram classificadas de acordo com a sua declividade e a sua curvatura no plano e em perfil. Utilizou-se como base o trabalho de Hugget (1975) que estabelece a combinação de formas de encostas relacionando a curvatura vista em perfil e em plano. As informações de declividades geradas a partir do MDE foram obtidas no presente trabalho por meio do polinômio de Horn (1981) e foram separadas em duas classes, cujo limite é de 5%.

O plano de curvatura da encosta corresponde à variação do gradiente de arqueamento na direção ortogonal (curvatura da superfície perpendicular à direção da inclinação) e refere-se ao caráter divergente/convergente do terreno, enquanto o perfil de curvatura é a taxa de variação do gradiente de arqueamento na direção de sua orientação (a curvatura da superfície no sentido do declive) e está relacionada ao caráter convexo/côncavo do terreno, sendo decisiva na aceleração ou na desaceleração do fluxo da água sobre o mesmo. Ambos foram obtidos a partir do MDE, por meio do emprego do polinômio de Zevenbergen e Thorne (1987).

O perfil das encostas, em ambiente SIG, é analisado de acordo com o seu valor de curvatura (histograma de frequência) e, teoricamente, encostas retilíneas têm valor de curvatura nulo, encostas côncavas têm positivos e convexas têm curvatura negativa (VALERIANO, 2004). Porém, encostas com valores nulos são muito raras na natureza, assim muito pouco do que se julga retilíneo apresenta valor de curvatura realmente nulo, mas valores pertencentes a um intervalo de tolerância na vizinhança desse valor.

A classificação do plano das encostas, em ambiente SIG, é analisada de acordo com o seu histograma de frequência que indica o valor da referida curvatura. Semelhante ao perfil, os valores nulos correspondem à inexistência de curvatura correspondendo à encosta plana, já os valores positivos representam curvatura divergente e os valores negativos correspondem à curvatura convergente. Através do cruzamento das informações, utilizando-se a árvore de decisão apresentada no fluxograma da Figura 2, foram identificadas 08 formas de vertentes.

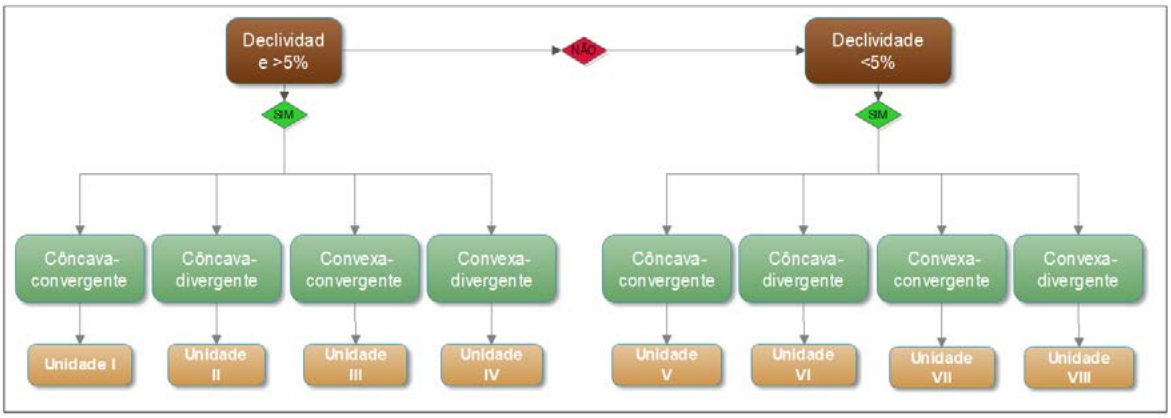


FIGURA 2: Árvore de decisão para classificação das encostas. Fonte: Arquivo dos autores.

3. Resultados e discussões

Geomorfologicamente a BHRI encontra-se inserida nas unidades geomorfológicas da Depressão Periférica do Rio Grande do Sul, do Planalto da Serra Geral e, ainda, uma pequena parte, a sudeste, do Escudo Sul-riograndense (ROBAINA *et al*. 2010). Conforme a hierarquização da drenagem de Strahler (apud CHRISTOFOLETTI, 1980) o canal principal do rio Ibicuí, apresenta como resultante a 8ª ordem, considerado o canal fluvial principal a partir do encontro com o Rio Santa Maria.

As altitudes, na bacia, variam de 60 m, na foz do Rio Ibicuí, junto ao rio Uruguai, à 540 m na porção nordeste, associado a área do Planalto da Serra Geral, com uma altitude média de 235 m e amplitude altimétrica de 480m.

O relevo da BHRI é marcado pela existência de três grandes feições de dissecação: o primeiro localizado ao norte e está representada pelo Planalto das Missões, o segundo, a sudeste, representado pelo Maciço Cristalino e, um terceiro, formando uma faixa centro-sul, denominado "Serra do Caverá" que representa porções elevadas do Planalto da Campanha.

Nas porções de maiores altitudes, acima de 300m, encontram-se cabeceiras de drenagem e a passagem das áreas de maior altitude do Planalto para as de baixa altitude da Depressão se dá por um relevo com presença de vales escarpados na região denominada de Rebordo do Planalto. As formas de colinas são as formas predominantes e são caracterizadas por declividade entre 5-15%, em média 8%, e amplitudes entre 40 m e 60 m. Em algumas áreas se observa processos erosivos lineares acelerados, que geram voçorocas, e em outras áreas processos de arenização.As áreas planas, caracterizadas por declividade inferior a 2%, ocorrem em aproximadamente 15% da bacia.

O substrato litológico que aflora na BHRI é representado, principalmente, por sequências vulcano-sedimentar da Bacia do Paraná, aflorantes na Depressão Periférica e no Planalto e, uma pequena porção, a SE da bacia, com afloramentos de rochas metamórficas e ígneas do Escudo Sul-riograndense. As rochas que constituem o Escudo Sul-riograndense, representam uma antiga área cratônica e uma associação de rochas que se formaram em cinturão montanhoso, relacionado a eventos da formação do Supercontinente da Gondwana (HOLZ e ROS, 2000).

No interior do Continente Gondwana depositaram as unidades sedimentares da Bacia do Paraná. As primeiras estão associadas às sequências depositadas no final do ambiente glacial e que com a deglaciação contribuíram na formação de depósitos deltaicos e marinhos (LAVINA *et al*., 1986) que afloram em uma faixa norte-sul a partir da borda do escudo, na Depressão Periférica.

Estes depósitos dão lugar, conforme Lavina (1988), a um complexo progradacional de redbeds litologicamente representados por arenitos e lamitos distribuídos ao longo de faixas laterais aos lamitos marinhos na porção SE da BHRI.

O avanço dos sistemas continentais é marcado por uma espessa sucessão flúvio-eólica (CPRM, 2006). De forma limitada na porção centro-leste da BHRI ocorrem lamitos fossilíferos da Formação Santa Maria (Bortoluzzi, 1974). Sobreposto e aflorando em espessos pacotes ocorre substrato rochoso caracterizado por canais fluviais e antiga planície de inundação, definida como Formação Caturrita por Medeiros (1980).

A partir do rio Jaguari, em direção a oeste, afloram rochas sedimentares de origem ligada a fluxos aquosos, abaixo da Formação Botucatu e sobrepostos a Formação Sanga do Cabral (Scherer *et al*. 2000). As rochas que encerram o ciclo deposicional da Bacia do Paraná, presentes na BHRI, são do Jurássico-Eocretácico, segundo Milani *et al*. (1994), compreendendo o intervalo do registro estratigráfico em que se posicionam os sedimentos eólicos da Formação Botucatu e as vulcânicas da Formação Serra Geral.

Os depósitos recentes formam os depósitos de canal e de transbordamento dos rios, que compõem a BHRI. Nos rios da margem direita, na porção mais de alto e médio curso, os depósitos são constituídos principalmente de cascalho e blocos predominantemente de rochas vulcânicas. Os sedimentos no baixo curso são constituídos principalmente de areias moderadamente classificadas que estão

sendo retrabalhadas. Os rios da margem esquerda escoam sobre substrato de rochas vulcânicas e formam pouco expressivos depósitos de canal, exceto o Rio Santa Maria que forma importante depósitos de barra de meandro e barra de pontal no baixo curso, que têm importante papel econômico pela extração de areia.

A análise das altitudes na bacia e caracterização das amplitudes e declividades das vertentes, permitiram definir 04 formas de relevo na bacia: áreas planas, as colinas e os morros e morrotes, figura 3. As áreas planas, que são caracterizadas por declividades inferiores a 2% e estão dominantemente associadas aos vales dos grandes rios da região.

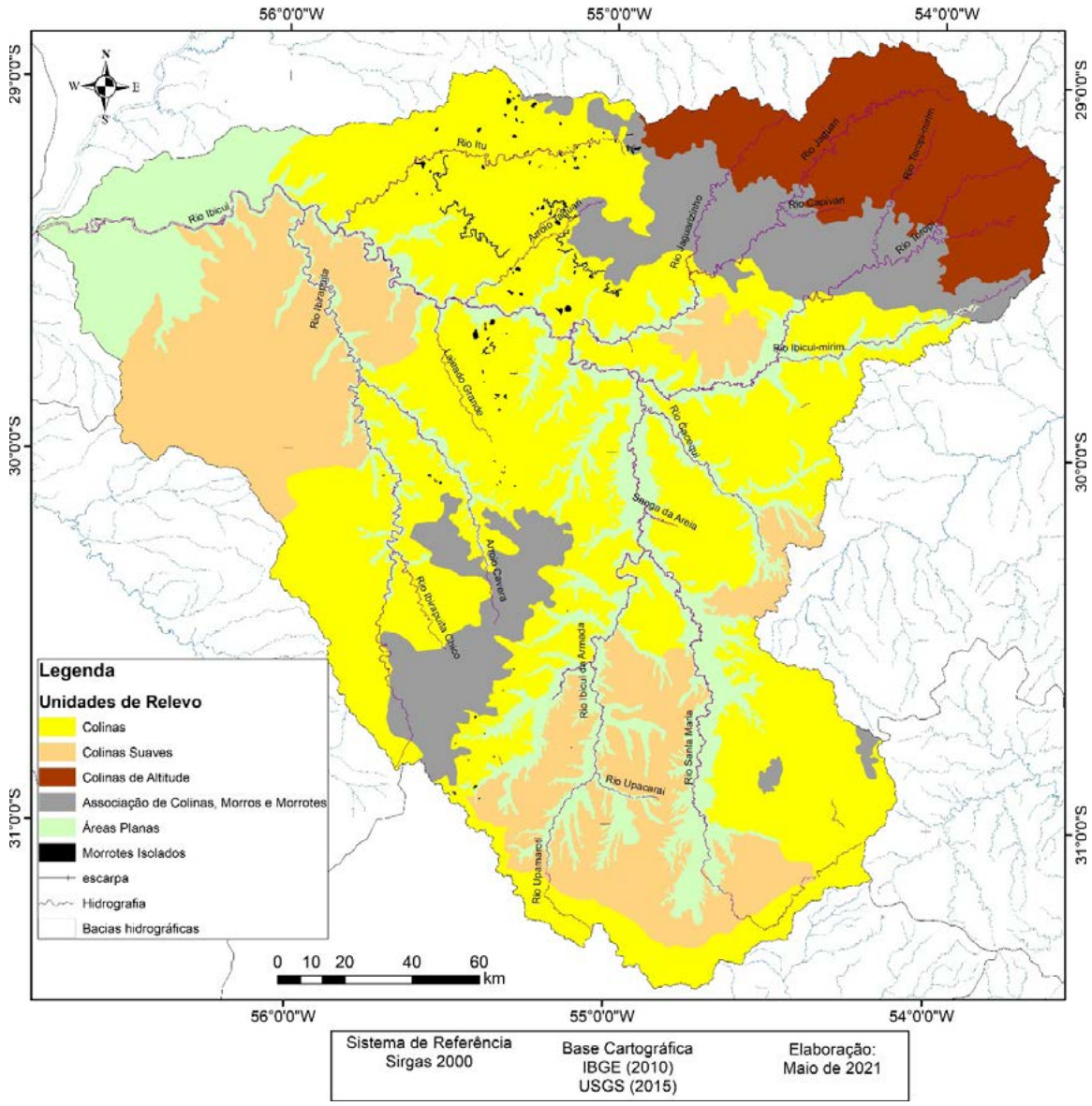


FIGURA 3: Mapa de unidades de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí.
Fonte: Arquivo dos autores.

As colinas, são as formas predominantes, e caracterizam-se por amplitudes entre 20 e 60m e por declividades variando de 2% a 15%. Foram divididas em: colinas de altitude, quando localizadas nas áreas de maior altitude (variando de 300 m a 546 m), localizadas no Planalto da Serra Geral; colinas suaves determinadas por declividade entre 2% e 5%; e as formas de colinas, propriamente ditas, com declividades entre 5% e 15%.

Os morros e morrotes são formas caracterizadas por declividades das encostas superiores a 15%, sendo diferenciados por amplitudes superiores a 100m nas formas de morros e inferiores nos morrotes. Ocorrem de forma isolada, marcando o recuo da escarpa do Planalto; formando um alinhamento estrutural denominado "Serra do Caverá", na região centro-sul da bacia e; na transição da Depressão Periférica para o Planalto, constituindo vales encaixados com importantes depósitos superficiais.

3.1 Distribuição dos elementos de relevo

A distribuição percentual dos elementos de relevo (*geomorphons*) da referida bacia hidrográfica está apresentada na figura 4 mostra a distribuição espacial dos *geomorphons*, representando os 10 elementos, conforme resultado do processamento digital do MDE.

As áreas onde os elementos de cristas (ridges) e vales (valleys) são muito significativos e marcam condições de relevo movimentado estão representadas por uma associação de morros e morrotes que formam um lineamento de direção nordeste, que divide as bacias do rio Santa Maria e do rio Ibirapuitã, na região conhecida como Serra do Caverá, e na passagem das colinas da Depressão Periférica para o Planalto da Serra Geral, formando um conjunto de elevações de direção leste-oeste que constituem o rebordo do Planalto.

A predominância dos elementos de áreas planas (flat), caracteriza um relevo pouco movimentado na bacia hidrográfica, em especial, na sua porção sul, compondo a bacia do rio Santa Maria, e na porção Oeste, no baixo curso do rio Ibicuí.

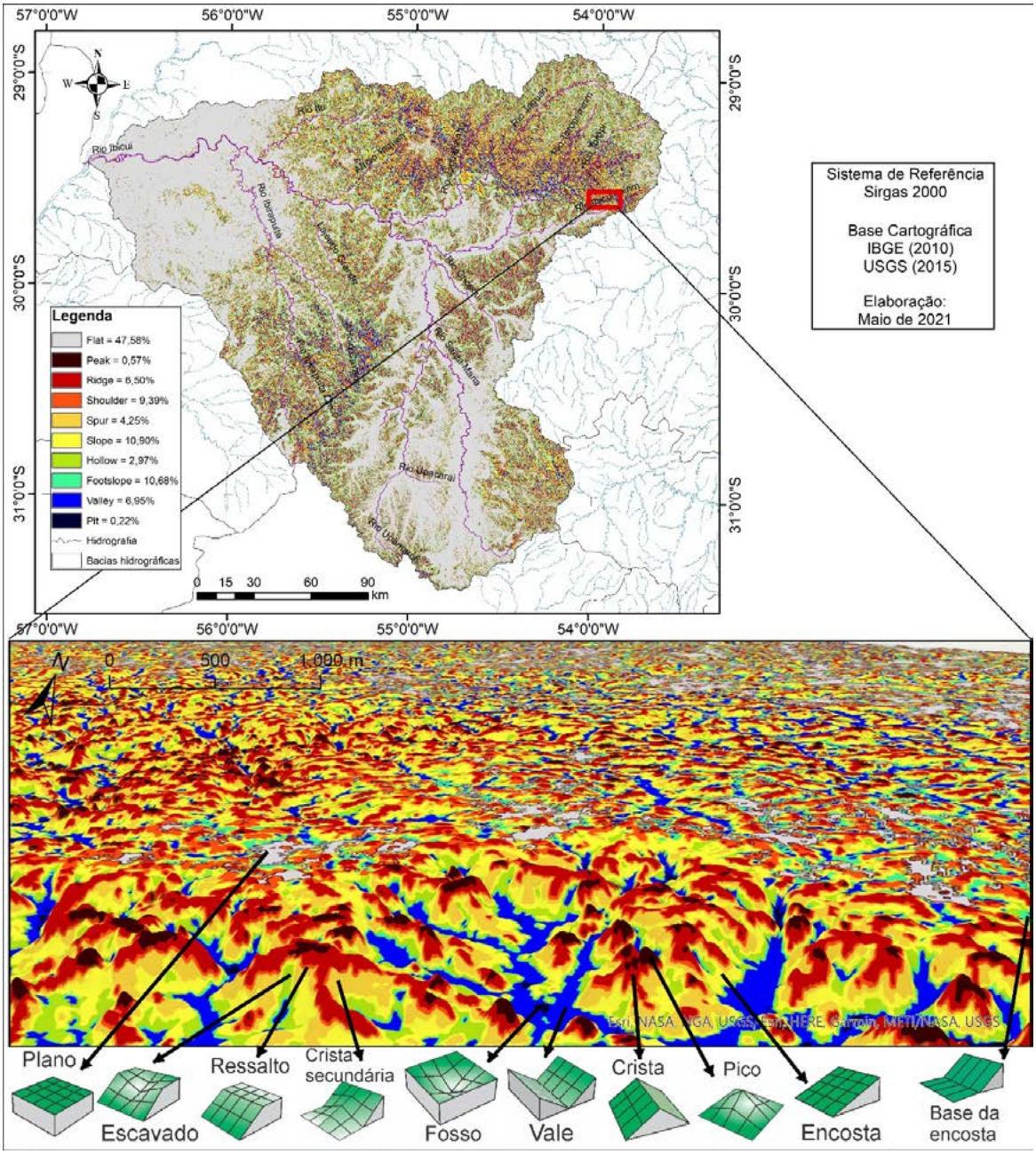


FIGURA 4: Distribuição espacial dos elementos de relevo (*geomorphons*) na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí.
Fonte: Arquivo dos autores.

3.2 Distribuição das formas de encosta

As Unidades de I a IV representam as áreas do médio e alto curso da bacia hidrográfica com altitudes superiores a 180m. Estas unidades fazem parte, conforme Robaina *et al*. (2010) do Planalto da Serra Geral. Na porção centro-nordeste da bacia, compostos por uma associação de colinas, morrotes e morros, forma as subunidades do Planalto das Missões e rebordo da Serra Geral. Na subunidade do Planalto da Campanha, forma um lineamento, no centro da bacia, de morros e morrotes de direção NE/SO, que divide duas das principais sub-bacias da margem esquerda do rio Ibicuí, composta pelo rio Santa Maria e Ibirapuitã. Ocorrem, também, na porção sudeste da bacia associada a rochas cristalinas do Escudo sul-riograndense e conforme RADAM (IBGE, 2003) constituem o Planalto Rebaixado Marginal.

A Figura 05 mostra a distribuição espacial das unidades geomorfométricas de forma geral na bacia hidrográfica e detalhadamente nas porções das vertentes. Nas unidades I e II os processos morfogenéticos de erosão e movimentos de massa são importantes, constituindo as porções dinamicamente mais ativas, sua maior concentração ocorre associado às áreas com maiores inclinações das vertentes presentes na área de Rebordo do Planalto que cobre uma faixa na porção centro-nordeste da BHRI.

A unidade I corresponde a um pouco mais de 7.8 % da bacia, área de 3.705 km^2, representando as porções das encostas onde o fluxo de água concentra, e com inclinações que favorecem processos morfogenéticos de erosão concentrada que avança a remontante. Ocorre nas porções de vertentes localizadas junto aos canais de drenagem. As características que definem esta unidade são as altitudes superiores a 180 m, a declividade superior a 5% e a curvatura côncava-convergente.

A unidade II cobre uma área de 3.429 km^2, próximo a 7,2 % da área da bacia. Representa as vertentes das áreas de alto curso da bacia, com fluxo difuso que favorece dinâmica de rastejo. As características que definem esta unidade são as altitudes superiores a 180 m, a declividade superior a 5% e a curvatura côncava-divergente.

A unidade III cobre 6.555km^2, correspondendo a 13,9% da área da bacia hidrográfica. Está representada no alto curso, formada por áreas inclinadas com convergência de fluxo constituindo áreas de nascentes. As características que definem esta unidade são as altitudes superiores a 180 m, a declividade superior a 5% e curvatura convexa-convergentes.

A unidade IV ocupa a segunda menor área, com 796km^2, correspondendo a 1,7% da área da bacia. Representa as porções de topo das vertentes localizadas nas maiores altitudes. As características que definem esta unidade são as altitudes superiores a 180 m, a declividade superior a 5% e curvatura convexa-divergente.

As unidades de V a VIII formam as áreas com menor inclinação na bacia hidrográfica do rio Ibicuí, correspondendo as áreas com altitudes predominantes, inferiores a 180m, como podem ser observadas na figura 5, onde é apresentada a distribuição espacial das unidades geomorfométricas e em detalhe apresentado a distribuição nas porções das vertentes, com modelo esquemático. As unidades V à VIII correspondem as vertentes onde os processos morfogenéticos são menos significativos, pois às declividades são inferiores a 5% o que dificultam a ocorrência de processos mofodinâmicos.

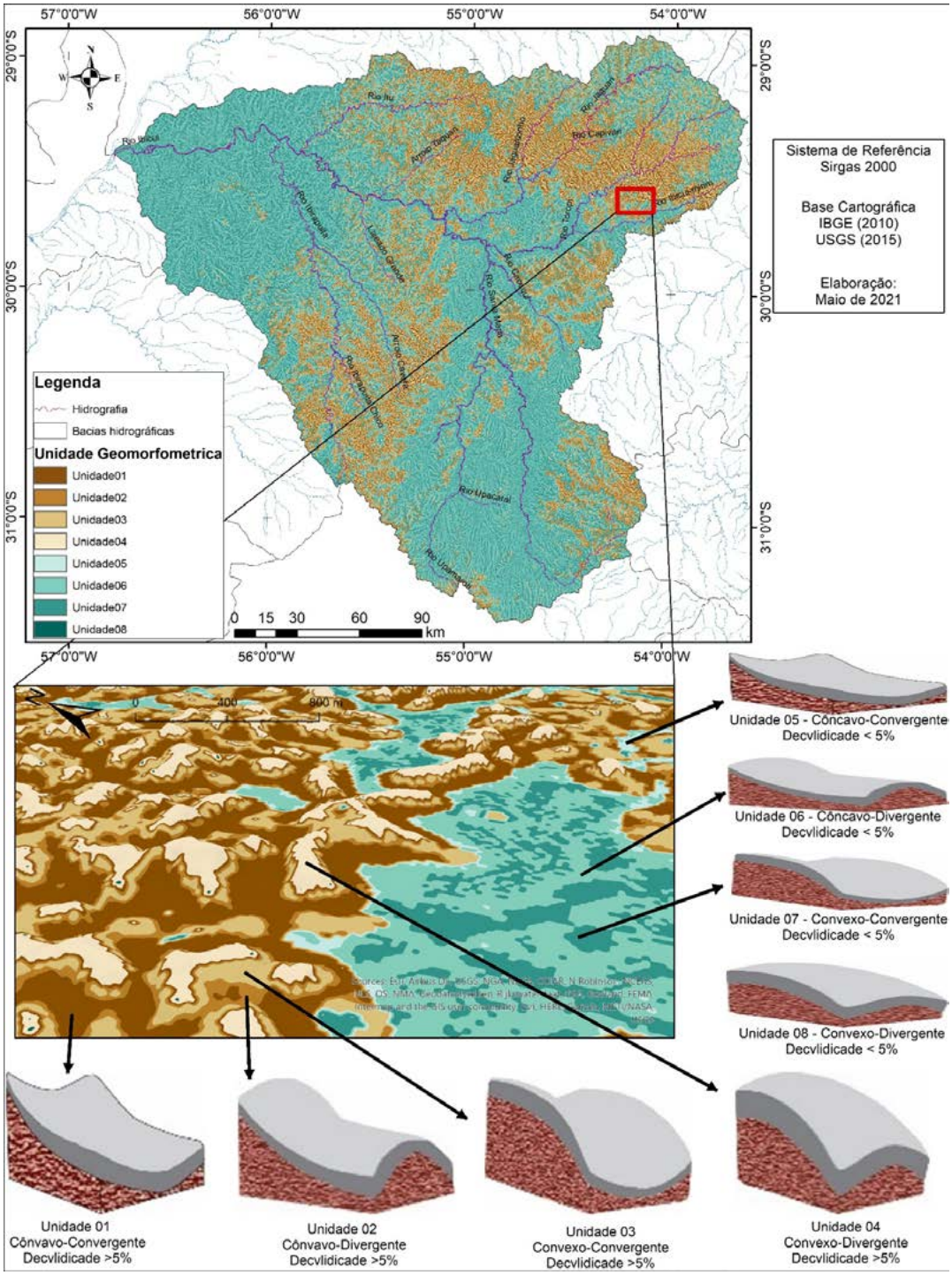


FIGURA 5: A figura apresenta as formas de encostas da Bacia do Ibicuí, com detalhamento da ocorrência na vertente. Fonte: Arquivo dos autores.

A unidade V concentra-se predominantemente em porções de baixa vertentes associadas aos cursos de água dos rios tributários de menor ordem. As características que as definem são altitudes inferiores a 180 m, declividades inferiores a 5% e curvatura côncava-convergentes. Esta unidade ocupa 2.243km^2, representando 4,7% da área total da bacia.

A unidade VI é a unidade de maior área espacial na bacia hidrográfica ocupa 15.783km² o que representa 33,5% da área total da bacia. Ocorre por toda a bacia hidrográfica associada à unidade V formando os fundos de vales associados aos cursos de água e planícies de inundação. As características que as definem esta unidade são as declividades inferiores a 5% e as curvaturas côncava-divergentes.

A unidade VII ocupa a segunda maior área com 14.626km², o que corresponde a 31% da bacia. Esta unidade forma porções levemente onduladas com fluxo acumulado que podem gerar pequenas e restritas bacias que representam áreas de nascentes no médio e baixo curso. As características que as definem esta unidade são declividades inferiores a 5% e curvaturas convexa-convergentes.

A unidade VIII corresponde menor área da bacia, representando menos de 1% da bacia, em uma área de apenas 0,54 km². Espacialmente são praticamente imperceptíveis As características que as definem esta unidade são as declividades inferiores a 5% e curvatura convexa-divergentes.

4. Considerações Finais

O estabelecimento de critérios com parâmetros fixos, utilização de MDTs para o cálculo de variáveis permite o mapeamento do relevo com rapidez e precisão, diminuindo a subjetividade para a identificação e delimitação das feições geomorfológicas.

Através do cruzamento das informações utilizando-se parâmetros morfométricos e cruzamentos de dados como a árvore de decisão com os parâmetros de altitude, declividade e plano das vertentes foram identificadas 8 unidades representativas das vertentes que caracterizam o relevo na bacia do rio Ibicuí.

A observação do produto cartográfico obtido permitiu considerar que a metodologia utilizada é adequada para caracterização das vertentes da área de estudo e a espacialização dos processos presentes, demonstrando grande potencial para suporte em trabalhos que relacionem as características do relevo com outros atributos ambientais e de uso do solo.

O estudo das unidades geomorfométricas está inserida no contexto de mapeamentos do oeste do Rio Grande do Sul, região que apresenta significativos processos de dinâmica superficial caracterizados pela erosão de sulcos e voçorocas, bem como os campos de areia. As unidades definidas através dos parâmetros físicos do relevo relacionados a partir de árvore de decisão apresenta um comportamento e distribuição espacial muito pertinente quando postos a identificação à campo.

Dentre os objetivos propostos para ações futuras estão os cruzamentos destas variáveis com outros parâmetros da paisagem como é o caso do substrato geológico, solos, uso e ocupação e feições superficiais, visando a definição de zoneamentos geoambientais om características de aptidões e restrições frente aos processos de dinâmica superficial relacionadas ao uso da referida bacia hidrográfica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPERGS, CNPQ e UFSM pelo apoio financeiro e de infraestrutura para o desenvolvimento dos trabalhos.

Referências

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Variáveis geomorfométricas locais e sua relação com a vegetação da região do interflúvio Madeira-Purus (AM-RO). **Acta Amazonica**, v. 39, n. 01, p-81-90, 2009.

CHAGAS, C. S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. Viçosa, 2006. 223p. (Doutorado -Universidade Federal de Viçosa - UFV.

DIKAU, R. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: RAPER, J. (Ed.). **Three-dimensional applications in geographic information systems**.New York: Taylor and Francis, p.51-77, 1989.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia** - Exercícios, Técnicas e Aplicações. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1996.

_____. **A questão ambiental** - Diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2003.

HAMMOND, E.H. **Analysis of properties in landform geography: an application to broad-scale landform mapping**. Ann. Assoc. Am. Geogr. 54, 11–19, 1954.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeto RadamBrasil**: Geomorfologia (Folha SH-21. Santiago e Alegrete). Rio de Janeiro, 2003.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas- IPT. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2, 1981. 130 p.

IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. **Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature.** Geomorphology 86(3-4): 409-440, 2007.

McBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3-52, 2003.

MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos**, 2009. 112p. (INPE-15796-TDI/1531). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MÜLLER FILHO, I. L. **Notas para o Estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1970.

ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E.W.; VERDUM, R.; DE NARDIN, D. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.11, n.2, p.11-23, 2010

SILVEIRA, C.T.; SILVEIRA, R.M.P. Classificação geomorfométrica de unidades morfológicas do relevo no estado do Paraná obtida de atributos topográficos e árvore de decisão. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Vitória/ES. 2013.

SILVEIRA, C. T. OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C; SIRTOLI, A. E.; SILVA. **Pedometria apoiada em atributos topográficos com operações de tabulação cruzada por álgebra de mapas**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.13, n.2, p.125-137, 2012.

SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MONTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; OKA-FIORI, C. **Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos**. Scientia agraria, v.9, n.3, p.317-329, 2008.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VELOSO, A. A importância do estudo das vertentes. **Geographia**, v. 4, n. 8, p 1-5, 2002.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital terrain analysis, chapter 1. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.

WOOD, J. **The geomorphological characterisation of digital elevation models.**Leicester, UK, 1996. 185p. PhD Thesis - Universityof Leicester. Disponível em: http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd.

ZEVENBERGEN, L.W.; THORNE, C.R. **Quantitative Analysis of Land Surface Topography. Earth Surface Processes and Landforms**, v.12, p.47-56, 1987.

GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO DE RAVINA A PARTIR DE IMAGEAMENTO COM DRONE

Lucas Jerszurki
Universidade Federal do Paraná
Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba - PR, CEP: 81530-000
E-mail: ljerszurki@ufpr.br
Irani dos Santos
Universidade Federal do Paraná
Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas, Curitiba - PR, CEP: 81530-000
E-mail: irani@ufpr.br

Resumo

A compreensão da dinâmica erosiva de ravinas é auxiliada pela aplicação de modelos computacionais de simulação de erosão, os quais geralmente se utilizam de modelos digitais do terreno (MDT) como entrada principal. O objetivo do presente trabalho foi gerar um modelo digital do terreno de uma ravina localizada em estrada não pavimentada na bacia experimental do Rio Saci, no município de Rio Negrinho/SC, a partir de imagens obtidas por voo de drone, equipamento cedido pelo Laboratório de Análise de Padrões Espaciais (LAPE-UFPR). Após o imageamento, procedeu-se com o geoprocessamento no software *Agisoft Metashape*. Os resultados demonstram que as imagens de drone podem fornecer resultados úteis para a modelagem de feições erosivas lineares. A aplicação do programa *Agisoft Metashape* apresentou uma metodologia rápida e fácil de retirada de ruídos do modelo digital de superfície (MDS), por meio da aplicação de filtros que eliminam a vegetação automaticamente associada com a extração manual.

Palavras-chave: Ravina, RPA, MDT, *Metashape*.

Introdução

A modelagem dos sistemas ambientais pode ser útil na caracterização da dinâmica erosiva que ocorre em determinados ambientes. Alguns modelos requerem a inserção de modelos digitais do terreno (MDT) para a as simulações, o que requer um levantamento da topografia da área de estudo (CHRISTOFOLETTI, 1999). Esses levantamentos podem ser feitos por meio da utilização de imageamento via RPA (*Remotely Piloted Aircraft*), principalmente os drones, sendo utilizados para diversas análises espaciais. Suas aplicações vêm se intensificando nos últimos tempos principalmente devido à redução de custos, ao tamanho dos equipamentos e à otimização dos recursos disponíveis (JORGE; INAMASU, 2014). Uma das possibilidades de uso desses equipamentos é a identificação e a avaliação de feições erosivas (LUZ; ANTUNES, 2015).

As ravinas são feições erosivas lineares que não possuem afloramento do nível freático em seu interior (OLIVEIRA, 2007, p.59), sendo erodidas principalmente devido à concentração do escoamento (SANTOS *et al.*, 2002; VITTE; MELO, 2007) da água da precipitação que não infiltra no solo (HORTON, 1933; WISCHMEIER; SMITH, 1958), representando a intensificação dos processos erosivos de uma área, agravando-se em locais com solo exposto e compactação (BURROUGHS; KING, 1989; VITTE; MELLO, 2007).

A caracterização de feições erosivas lineares tipo ravina geralmente é realizada através de medições empreendidas em campo, modelagem ou mesmo a partir de avaliações em imagens de satélite e/ou fotografias aéreas (TAKKEN et al., 1999; FERREIRA et al., 2014; KARYDAS; PANAGOS, 2020). Contudo, a baixa resolução impede que pequenas feições sejam mapeadas utilizando essas técnicas tradicionais, o que torna a busca pela produção de modelos do terreno com alta resolução espacial um destaque nas pesquisas atuais (HANCOCK et al., 2012).

A utilização de MDTs provenientes de drones para o cálculo de volume de ravinas pode oferecer resultados variados, de acordo com o grau de sobreposição das imagens e devido às condições de oclusão de pontos da nuvem produzida pelo equipamento, dependendo da altura de vôo (CUNHA, 2018). Contudo, o emprego da tecnologia RPA favorece a análise ao nível de detalhe devido à alta resolução espacial que apresenta, apesar de todos os possíveis fatores que podem alterar a qualidade das imagens, como a presença de vegetação e de sombras dos objetos imageados (HUNG et al., 2018).

Para a geração de um MDT a partir do modelo digital de superfície (MDS) produzido por um drone, é passível que sejam empregadas técnicas de filtragem e interpolação de dados em áreas cobertas por água, vegetação, carros ou edifícios. O software *Agisoft Metashape* realiza o alinhamento das fotos, densificação dos pontos de controle, filtragem de objetos e interpolação de zonas sem dados, que é empreendida através de duas metodologias: padrão, quando calcula círculos ao redor dos pontos da nuvem que cobre automaticamente os buracos na malha; e extrapolado, onde é criado um modelo para extrapolação dos dados da malha para além de seus limites (AGISOFT, 2019).

A geração de MDTs de ravinas/voçorocas a partir de imageamento com drone é recente (AIMON *et al.*, 2018; REIS *et al.*, 2020), e a bibliografia é ainda mais escassa quando se considera a necessidade de retirada da vegetação, configurando uma lacuna no saber científico sobre os procedimentos metodológicos existentes. O estudo das técnicas disponíveis e dos resultados da extração da vegetação do modelado computacional é primordial, pois fornece subsídios para a obtenção de MDTs em análises geomorfológicas que utilizam métodos semelhantes.

Considerando os aspectos citados anteriormente, o objetivo do presente trabalho foi gerar o modelo digital do terreno de uma ravina localizada em estrada não pavimentada desativada de zona de povoamento de *Pinus taeda*, na bacia experimental do Rio Saci, no município de Rio Negrinho/SC, a partir de imageamento de drone *Phantom 3 Professional*, aplicando-se as ferramentas do software *Agisoft Metashape*.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo compreende a bacia experimental do Rio Saci, localizada no município de Rio Negrinho/SC, em uma altitude média de 960 m (SANTOS, 2009). O clima segundo a classificação de Köppen para a área é Cfb, ou seja, temperado úmido sem estação seca e com temperatura média do mês mais quente inferior a 22ºC, com montante de chuvas em torno de 1500 mm anuais (THOMÉ *et al.*, 1999). A geologia é de origem sedimentar, constituída pela formação Itararé, originada entre o Carbonífero Superior e o Permiano Médio (CPRM, 2014). A classificação de solos predominante no local é de cambissolos háplicos (EMBRAPA SOLOS, 2004).

A principal atividade desenvolvida na área é a produção florestal de *Pinus taeda*, a qual promove a constituição de pequenas estradas não pavimentadas que são utilizadas somente em períodos de poda e extração dos troncos, permanecendo a maior parte do tempo abandonadas e sem manutenção (SANTOS, 2009; HUNG; SIEFERT; SANTOS, 2017).

Neste contexto, a ravina estudada está associada a uma dessas estradas internas, a qual foi desativada sem medidas de recuperação e passou a integrar o talhão de reflorestamento. Assim, a área do antigo leito da estrada, apesar de estar ocupada com árvores de *Pinus taeda,* ainda mantém as condições de compactação e concentração de escoamento, propiciando o desenvolvimento da ravina, conforme indica a Figura 1.



FIGURA 1: Fotos de ravina com cobertura de *Pinus* sobre seu leito: (A) com serrapilheira cobrindo a maior parte do solo e (B) com solo exposto no início do plantio do *Pinus*.
Fonte: Arquivo dos autores.

Foi empregado um imageamento realizado pelo Laboratório de Hidrogeomorfologia (LHG-UFPR) produzido com RPA para a área de estudo no ano de 2017 (Figura 2), utilizando-se de um drone *Phantom 3 Professional*, conforme descrito por HUNG *et al*., 2018, equipamento pertencente ao Laboratório de Análise de Padrões Espaciais (LAPE – UFPR). O voo foi realizado sem pontos de controle, com recobrimento longitudinal de 70% e transversal de 60%, sendo utilizadas apenas as coordenadas GNSS oferecidas pelo próprio equipamento. A distância focal da câmera é de 3,61 mm (HUNG *et al.*, 2018). A presença de vegetação sobre a ravina com *Pinus* ainda jovem determinou a aplicação de um voo baixo, de 20 metros, o que propiciou um tamanho de pixel de aproximadamente 1 cm.



FIGURA 2: Imagem produzida com voo de RPA sobre a ravina com *Pinus*.
Fonte: Arquivo dos autores.

A metodologia para a construção do MDT da ravina baseou-se na geração da nuvem de pontos, na densificação, no filtro e na interpolação via ferramenta *Classify Points* através do software *Agisoft Metashape Standart*, em sua versão de avaliação. Para a construção do MDT, foi considerada toda a área lateral à ravina obtida no imageamento, por isso, a retirada das árvores dos barrancos também foi necessária. O MDT foi exportado em formato *shapefile* para construção de perfis transversais no software QGIS através do plugin *Srface Terrain*.

3. Resultados e Discussão

Os procedimentos empregados permitiram a geração de MDT sem a presença de vegetação de grande porte, completamente eliminada pelos filtros automáticos e manuais aplicados. A Figura 3 mostra o perfil longitudinal com a ravina inserida na encosta, juntamente com o traçado da antiga estrada que tinha início no divisor de águas. A porção mais alta da encosta apresenta uma declividade reduzida, com a ravina iniciando a partir dos 60 m do divisor onde ocorre um aumento de declividade e desenvolvendo-se por cerca de 200 m ao longo da encosta.

No perfil longitudinal da Figura 3 consta a localização dos perfis transversais mostrados na Figura 4.

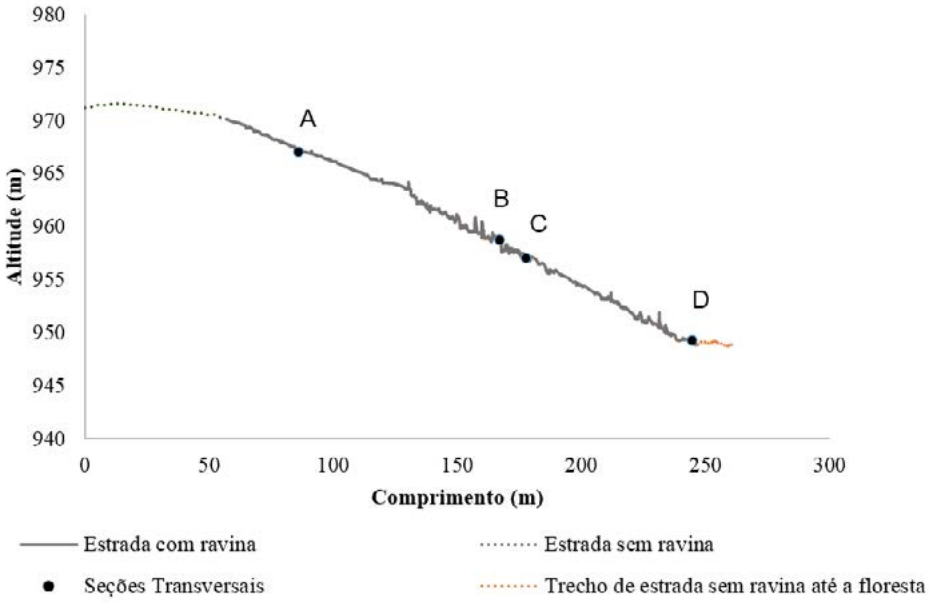


FIGURA 3: Perfil longitudinal da encosta, com localização da ravina e seções transversais.
Fonte: Arquivo dos autores.

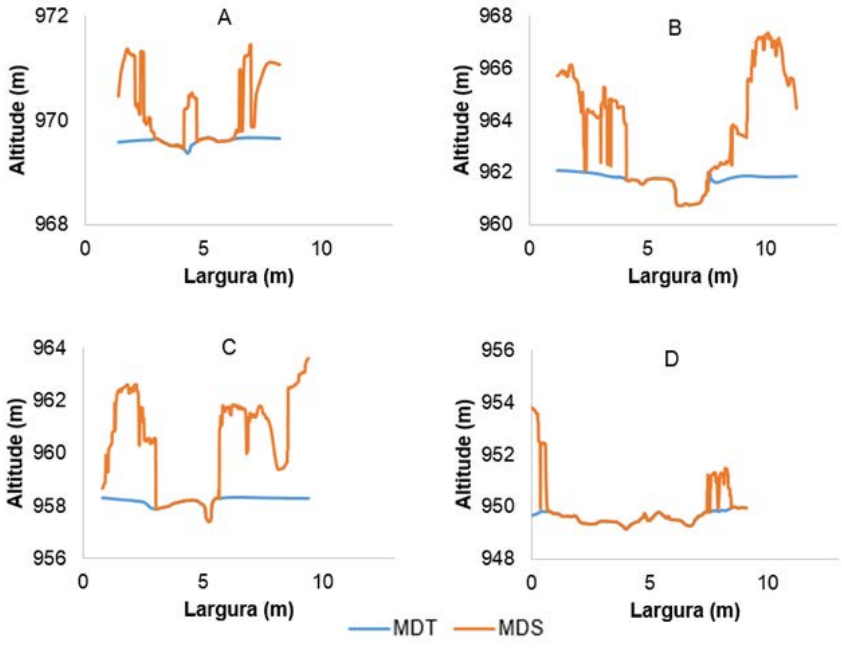


FIGURA 4: Perfis transversais A, B, C e D da ravina.
Fonte: Arquivo dos autores.

O modelo digital do terreno produzido conseguiu representar a ravina de maneira satisfatória, apesar das interpolações necessárias para o preenchimento da malha devido às falhas ocasionadas pela presença da vegetação. Os filtros automáticos aplicados sobre a nuvem de pontos no *Agisoft Metashape* não eliminaram completamente a vegetação, necessitando de uma limpeza manual. Observa-se que a vegetação alta composta de árvores de *Pinus* foi excluída, principalmente nos barrancos laterais à estrada.

Rodrigues (2016) analisou a utilização de imagens de drone para monitoramento de erosão urbana, concluindo que a utilização de pontos de controle altera as características do produto, reduzindo alterações de escala ou de posição do modelo. Foram analisadas feições erosivas semelhantes a voçorocas, as quais sofreram uma leve suavização na geração do modelado devido à ausência de pontos de controle. Além disso, o autor enfatizou o papel importante da vegetação na porção interna das feições erosivas, o que prejudicou a construção do MDT devido às dificuldades do software *Agisoft Metashape* para eliminar essa vegetação de menor altura. Alguns resquícios de vegetação também não foram removidos completamente da malha de pontos produzida para a ravina do presente trabalho, de modo que um processo manual de exclusão teve que ser realizado em vistas de melhorar a qualidade do modelado digital.

Cunha (2018) avaliou o produto obtido por drones em uma pequena área com presença de ravina, obtendo resultados ruins para o cálculo de volume negativo da feição erosiva, mesmo com voo de 40 m, uma vez que não foi realizada a captura de grande quantidade de pontos no interior do canal de pequenas proporções. A subestimação do volume da ravina foi indicada pelo autor como um ponto negativo para a aplicação de imageamentos com RPAs que objetivam a caracterização dessa variável.

Gupta e Shukla (2018) avaliaram os resultados da geração de modelo 3D a partir de voos de drone sobre deslizamentos de terra, validando as medições realizadas sobre o modelo com estação total em campo. Os resultados indicam boa precisão do modelo 3D em relação às medições em campo, com diferenças menores do que 5%. Os autores ressaltam que as imagens obtidas com RPAs combinadas com algoritmos de reconstrução 3D possibilitam o mapeamento preciso de processos erosivos semelhantes aos deslizamentos. Isso corrobora os resultados do presente trabalho, os quais indicam bons resultados com a utilização de RPA no mapeamento de ravinas.

Silva e Vieira (2020) realizaram voos de drone com o objetivo de mapear voçorocas urbanas, obtendo resultados com poucas divergências dos dados altimétricos obtidos com imagens de Radar. Além disso, os autores utilizaram o software *Agisoft Metashape* para tratamento das imagens, obtendo-se resultados que possibilitaram a caracterização altimétrica e a obtenção de dados morfométricos das voçorocas. Os resultados com o software *Agisoft Metashape* obtidos no presente trabalho também permitiram a caracterização morfométrica da ravina, fornecendo um MDT que permitiu a construção de perfil longitudinal e de perfis transversais, atuando como uma ferramenta útil em aplicações semelhantes.

Hung *et al.* (2018) construíram um modelo digital do terreno da bacia do rio Saci utilizando o mesmo drone citado na presente pesquisa, porém, com uma altura de voo de 60 metros. Os autores obtiveram resultados com diferenças entre o MDT e o levantamento topográfico convencional inferiores à 0,5 metros, com erro padrão de 0,29 m e um padrão de exatidão cartográfica de 0,49 m. Os autores indicam a necessidade de validação dos resultados de imageamentos com RPA.

Como orientação para futuros trabalhos, indica-se realizar testes com os dados obtidos via RPA para a confirmação da qualidade do MDT para a aplicação em ravinas, pois são necessárias mais avaliações de campo com medições da ravina *in situ* visando análises comparativas focadas principalmente nas estruturas internas dessas feições.

4. Considerações Finais

O imageamento via RPA possibilitou a construção de um MDS que, após a aplicação de filtros e eliminação automática e manual da vegetação no software *Agisoft Metashape*, possibilitou a construção de um MDT com facilidade e rapidez. Apesar disso, levantamentos morfométricos em campo são necessários

para a confirmação dos dados produzidos com o imageamento, servindo como base para a identificação da precisão fornecida tanto pelo drone quanto pelas interpolações empreendidas sobre os vazios da malha *raster*.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES que, por meio do Programa de Excelência Acadêmica (PROEX), auxiliou financeiramente a presente pesquisa.

Referências

AGISOFT. **Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition**. v. 1.5. AGISOFT LLC: 2019.

AIMON, J.G.S.; SILVA, R.V.; GOES, M.U.A.; SILVA, T.A.; TRENTIN, R. Geotecnologias Aplicadas para Mapeamento de Processos Erosivos: Estudo de Caso Voçoroca do Ijuízinho. In: **Anais do COBRAC 2018**. Florianópolis/SC: UFSC, out. 2018.

ARANA J.M. Estratégia para determinação da ondulação do geoide com uso do GPS/Nivelamento. In: KRUEGER, C.P.; RIBEIRO, S.R.A. **Série em Ciências Geodésicas**. v. 5. Curitiba: Imprensa Universitária UFPR, 2005. p. 111-122.

BATEIRA, C.; COSTA, A.; MENDONÇA, M.; FERNANDES, J. Elevada resolução de Modelos Digitais de Elevação - Modelação do fluxo interno e instabilidade de taludes em terraços agrícolas. In: **Anais do 8º Congresso Nacional de Geomorfologia**. Porto/Portugal: Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2017.

BURROUGHS, E.R.; KING, J.G. **Reduction of Soil Erosion on Forest Roads**. Ogden: Intermountain Research Station, Forest Service, United States Department of Agriculture, 1989. General Technical Report.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Büchler, 1999.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17996?show=full> Acesso em: 01 Set. 2020.

CUNHA, A.A. de. **Avaliação de Erosão por Imagens de Curta Distância**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFBA, 2018.

ELLISON, W.D. Some Effects of Raindrops and Surface-Flow on Soil Erosion and Infiltration. **Transactions of American Geophysical Union**, v. 26, n. 3, p. 415-429, Dez. 1945.

EMBRAPA SOLOS. **Solos do Estado de Santa Catarina. Embrapa: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 46**, 2004. Escala 1:250.000. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1172&Itemid=543> Acesso em: 01 Set. 2020.

FERREIRA, M.C.; GARÓFALO, D.T.; MESSIAS, C.; FERREIRA, M.M. Um modelo espacial baseado em método de classificação Fuzzy, aplicado ao mapeamento de risco à erosão. **Multidimensão e territórios de risco**, Coimbra, p. 95-100, 2014.

GUPTA, S.K.; SHUKLA, D.P. Application of drone for landslide mapping, dimension estimation and its 3D reconstruction. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 46, p. 903-914, 2018.

HANCOCK,G.R.; EVANS, K.G.; MCDONNELL, J.; HOPP, L. Ecohydrological controls on soil erosion and landscape evolution. **Ecohydrology**, v. 5, n. 4, p. 478-490, jul. 2012.

HUNG, M.N.W.B.; SIEFERT, C.A.C.; SANTOS, I. SIMULAÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA DA DINÂMICA DAS ÁREAS SATURADAS DA BACIA DO RIO CORREDEIRAS, RIO NEGRINHO - SC. **Revista Rae'ga - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 41, p. 208-227, ago. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/52423>. Acesso em: 27 jan. 2021.

HUNG, M.N.W.B.; SAMPAIO, T.V.M.; SCHULTZ, G.B.; SIEFERT, C.A.C.; LANGE, D.R.; MARANGON, F.H.S.; SANTOS, I. Levantamento com Veículo Aéreo Não Tripulado para Geração de Modelo Digital do Terreno em Bacia Experimental com Vegetação Florestal Esparsa. **Revista Rae'Ga**, Curitiba, v. 43, p. 215-231, 2018.

HORTON, R.E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. **Trans. Am. Geophys. Un**., v. 14, p. 446-460, 1933.

JORGE, L.A. de C.; INAMASU, R.Y. Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: **Agricultura de Precisão: Resultados de um Novo Olhar**. Brasília: Embrapa, 2014.

KARYDAS, C.; PANAGOS, P. Towards na Assessment of the Ephemeral Gully Erosion Potential in Greece Using Google Earth. **Water**, v. 12, n. 2, p. 1-17, fev. 2020

LUZ, C.C. da.; ANTUNES, A.F.B. Validação da Tecnologia VANT na Atualização de Bases de Dados Cartográficos Geológicos - Estudo de Caso: Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 67, v. 7, p. 1439-1452, 2015.

OLIVEIRA, M.A.T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

REIS, A.A.P.; OLIVEIRA, A.C.; NASCIMENTO JÚNIOR, J.M.; ROMUALDO, J.C.; ROMÃO, L.V.; OLIVEIRA, T.M.; CRUZ, V.M. Comportamento geotécnico de uma Voçoroca localizada no Campus Alto Paraopeba, em Ouro Branco, MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30060-30075, maio 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/10465/8750> Acesso em: 05 Ago. 2021.

RODRIGUES, A.A. **Uso de veículos aéreos não tripulados para mapeamento e avaliação de erosão urbana**. 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6646#preview-link0>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SAMUEL-ROSA, A.; ANJOS, L.H.C.; VASQUES, G.M.; ANTUNES, M.A.H.; DALMOLIN, R.S.D. Identifying and correcting oblique striping in the topodata digital elevation model. **Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Florianópolis/SC: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

SANTOS, C.A.; SOBREIRA, F.G.; COELHO NETO, A.L. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, Distrito de Ouro Preto – MG. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 55, n. 4, out./dez. 2002.

SANTOS, I. **Monitoramento e Modelagem de Processos Hidrogeomorfológicos: Mecanismos de geração de Escoamento e Conectividade Hidrológica**. Florianópolis: UFSC/CFH/GCN, 2009. 167 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHULTZ, G.B. **Conectividade Hidrossedimentológica em Bacias Experimentais Embutidas**. 2017. 118 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=10423&idprograma=40001016035P1&anobase=2017&idtc=1344> Acesso em: 16 Abril 2020.

SILVA, G.M.; VIEIRA, A.F.S.G. Mapeamento de voçorocas na cidade de Rio Preto da Eva (AM). **Revista Geosaberes**, Fortaleza, v. 11, p. 517-531, 2020.

TAKKEN, I.; BEUSELINCK L, NACHTERGAELE, J.; GOVERS, G.; POESEN, J.; DEGRAER, G. Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM). **Catena**, v. 37, p. 431-447, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00031-4>. Acesso em: 22 Ago. 2019.

THOMÉ, V.M.R.; ZAMPIERI, S.; BRAGA, H.J.; PANDOLFO, C.; SILVA JÚNIOR, V.P. da.; BACIC, I.; LAUS NETO, J.; SOLDATELI, D.; GEBLER, E.; ORE, J.D.; ECHEVERRIA, L.; MATTOS, M.; SUSKI, P.P. **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina.** v. 1000, p. 1000. Florianópolis: Epagri, 1999.

VITTE, A. C.; MELLO, J. P. D. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 2, p. 107-133, 2007.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning**. Washington: USDA Agriculture Handbook n. 537, 1978.

IDENTIFICAÇÃO DE FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS SENSÍVEIS À OCUPAÇÃO URBANA COM USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS

Fábio Luiz Mação Campos
UFES – Campus Goiabeiras/ Ifes – Campus Vitória
Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara, Vitória - ES, 29040-780
E-mail: fabiomacao@gmail.com
Roberto José Hezer Moreira Vervloet
IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Rodovia BR 262, KM 0 Pátio Porto Velho - Jardim América,
Cariacica - ES, 29140-130
E-mail: robertovervloet@gmail.com

Resumo

Os processos de ocupação urbana são uma realidade em praticamente todas as partes do planeta e é comum observar ocupações sem harmonia com o ambiente do entorno. Neste trabalho os conceitos de geomorfologia são aplicados ao planejamento da ocupação urbana e trazem importantes contribuições para a criação de um ambiente urbano mais seguro, evitando a ocupação de áreas instáveis. Para demonstração dessa possibilidade foi escolhida uma área localizada ao sul do município de Cariacica – ES. Nesta área foram mapeadas as áreas geomorfologicamente instáveis através dos dados da base cartográfica municipal e visitas de campo, apoiando-se nos conceitos da ciência geomorfológica. Por fim, produziu-se um mapa de fragilidade à ocupação que foi utilizado para compor a carta de geral de restrições. O trabalho introduz um modelo de produção de bases cartográficas que pode ser replicado e auxiliar as administrações municipais a evitar ocupações desordenadas em qualquer local do país.

Palavras-chave: Encosta, Planejamento Urbano, Sistemas de Informação Geográfica.

1. Introdução

O Brasil é um país que tem um grande histórico de ocupação urbana em áreas de relevo instável, o que ocasiona muitos eventos indesejáveis – sobretudo por ocasião de episódios de chuvas intensas. Grande parte disso se deve ao rápido processo de urbanização pelo qual o país passou principalmente entre as décadas de 1960 e 1980, no entanto, as cidades continuam se expandindo e novas áreas ainda vão sendo ocupadas de forma irregular e, com frequência, em locais de relevo instável.

O primeiro passo para combater a ocorrência de eventos indesejados é evitar que novas áreas sensíveis sejam ocupadas. Com o conhecimento geomorfológico e as geotecnologias disponíveis atualmente é possível, havendo ambiente político para isso, evitar a ocupação de áreas que futuramente poderão vir a apresentar problemas.

Visando contribuir com isso, neste trabalho é apresentado um estudo de caso onde os aspectos naturais de uma área de expansão urbana são analisados e, à luz dos conhecimentos geomorfológicos, são mapeadas as áreas que devem ter a atenção do poder público nas ações de fiscalização e nas emissões de autorizações para novas ocupações e construções.

A área a ser analisada neste estudo está localizada no município de Cariacica – ES e tem uma dinâmica de ocupação iniciada na década de 1970, com a implantação de loteamentos que se estenderam até a década de 2000. A área foi escolhida pela disponibilidade de dados em escala adequada (1:2000) e por tratar-se de uma área cujas características da ocupação assemelham-se àquelas com potencial de tornarem-se problemáticas para futuros eventos relacionados à alagamentos, movimentos de massa e aceleração de processos erosivos.

A fim de produzir uma carta que representasse todas as restrições de natureza técnica e legal à ocupação, os dados de altimetria e hidrografia foram utilizados no ambiente SIG para espacializar as áreas sensíveis à ocupação urbana e as informações foram utilizadas para compor um mapa de restrição à ocupação, que pode ser usado pelas administrações municipais para auxiliar na avaliação e aprovação de novas edificações.

2. Área de Estudo

O local estudado localiza-se na porção sul do município de Cariacica – ES e compreende uma área de 4 km², com a forma de um quadrilátero regular, formada pelas interseções dos paralelos UTM 7.748.000 e 7.746.000 e os meridianos 356.000 e 354.000 (Zona 24 S). Dentro da área encontram-se totalmente ou parcialmente os bairros de Campo Novo, Campo Belo, Jardim Campo Grande, Campina Verde, Vila Campo Grande, Chácaras Paraíso, Chácaras Cachoeirinha, Santa Paula, Santa Catarina, Padre Gabriel e Jardim dos Palmares (Figura 1).

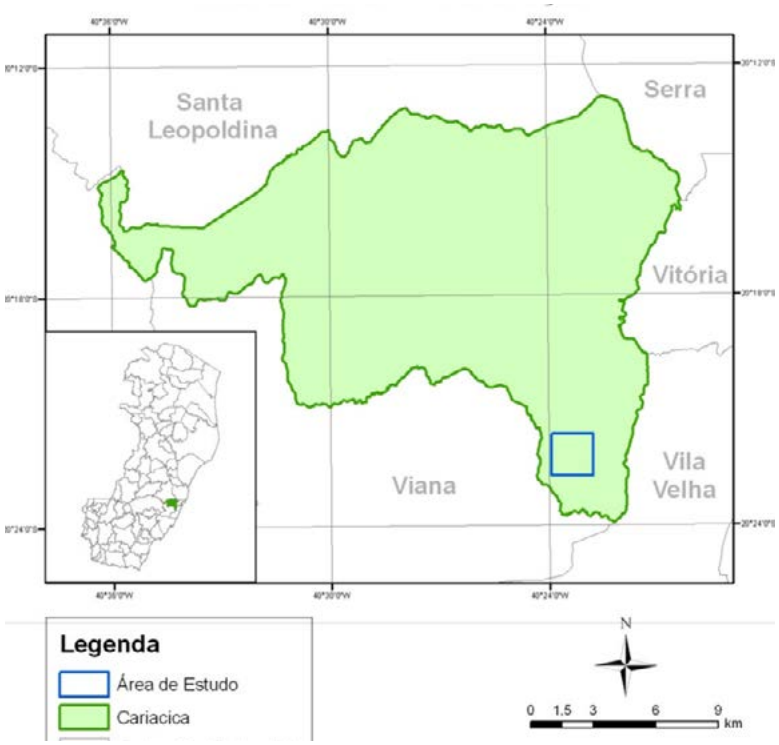


FIGURA 1: Mapa de Localização da área de estudo. Fonte: Arquivo dos autores.

Pela classificação geológica do projeto RADAMBRASIL (1983), a área encontra-se sobre a unidade denominada "Complexo Paraíba do Sul" e compõe o embasamento do Cinturão Móvel Atlântico, a cronoestratigrafia realizada nas rochas da região (predominantemente gnaisses) datam sua origem de aproximadamente 650 milhões de anos. O projeto relata ainda que as rochas dessa unidade são, em sua maioria, de coloração cinza-claro e granulação média a fina, localmente com pórfiros esbranquiçados.

Geomorfologicamente, pela a classificação do instituto de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), o local encontra-se na transição de duas unidades de relevo – Serras da Matiqueira / Caparaó e Tabuleiros Costeiros. Já o projeto RADAMBRASIL (1983), classifica o relevo da área por uma unidade denominada "Colinas e Maciços Costeiros" e destaca que esta unidade encontra-se desenvolvida sobre rochas de origem cristalina, além de afirmar que as colinas englobam fáceis de dissecação de densidade de drenagem fina e média com incisões entre 23 m e 62 m, e relata ainda que na região onde encontra-se a área de estudo, as colinas cristalinas tornam-se heterogêneas em seu comportamento espacial, refletindo diferentes modelados de dissecação com áreas poucos expressivas. Na descrição, as colinas têm forma convexa e/ou convexo-côncava e são separadas por depressões alveolares colmatadas e planícies aluviais.

Quanto à retirada e transporte de sedimentos na unidade, o projeto identificou a ocorrência de erosão laminar e de posição de cobertura coluvial, segundo o mesmo texto esses colúvios aparecem em maior espessura nas concavidades das bases das vertentes e diminuem gradativamente ao topo das colinas (RADAMBRASIL, 1983).

Todas as relações aqui citadas pela classificação do projeto RADAMBRASIL podem ser confirmadas em campo, porém na classificação do IBGE identificamos que apesar das características morfológicas e morfométricas guardarem semelhanças com os tabuleiros litorâneos e com as formações sedimentares do grupo barreiras, a estrutura geológica do local caracteriza-se pela presença de um estrato rochoso cristalino, tornando mais apropriada a classificação do

projeto RADAMBRASIL. As cotas altimétricas variam entre 3 m nos fundos de vale de maior incisão, até aproximadamente 56 m nos topos e as declividades raramente ultrapassam 30°.

Os solos, segundo o projeto Radambrasil (1983) são classificados como latossolos vemelho-amarelos podzólicos álicos, originário provavelmente da decomposição de gnaisse granodiorítrico, que apresenta textura muito argilosa e horizonte A moderado e muito friável.

Apesar de desenvolvido sob rochas cristalinas, a região encontra-se na transição com áreas de formação sedimentar e nas áreas mais baixas do terreno – onde encontramos as pequenas planícies aluviais e faces de exfitração – podemos encontrar estreitas manchas de solos hidromórficos.

No mapeamento da área foi possível perceber que, apesar das pequenas altitudes, a região caracteriza-se como um dispersor de águas, estando nela contida o limite entre as sub-bacias hidrográficas do Rio Marinho e do Rio Formate. Através da restituição aerofotogranométrica foram mapeadas 16 nascentes e 13.853 m de cursos d'água perenes. Mesmo não tratando-se de um única bacia hidrográfica efetuamos o cálculo da densidade de drenagem, cujo valor resultou em 2,4 km/km^2, o alto valor que caracteriza uma bacia bem drenada. Para Vilella e Mattos (1975) a densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial, isto indica pequenas áreas de contribuição para os cursos d'água ali existentes e ainda áreas bastante dissecadas pela erosão fluvial.

O clima tropical litorâneo atuante na região, caracteriza-se pelas elevadas temperaturas. A média pluviométrica anual, acima dos 1500 mm – mais abundantes no verão (TROPPMAIR, 2002), mas distribuídas de tal maneira que são capazes, mesmo sem a vegetação original, perenizar a maior parte das nascentes.

3. Metodologia

A primeira etapa para realização do trabalho foi a identificação das áreas de expansão urbana onde os processos de ocupação estão em estágio inicial ou pelo menos onde a maioria das áreas sensíveis não foram ocupadas. Normalmente essas áreas são facilmente encontradas nas frentes de expansão urbana das cidades, que são frequentemente alvo da implantação de condomínios e loteamentos urbanos. Para este trabalho foi também necessário identificar áreas onde havia disponibilidade de dados para realização das análises morfométricas e delimitações cartográficas necessárias.

Neste caso, foram adquiridos os dados geográficos da base cartográfica municipal, provenientes de uma restituição aerofotogranométrica em escala 1:2000, realizada em 1998 pela empresa MAPLAN Aerolevantamentos e gentilmente nos cedida pela Prefeitura de Cariacica. Esta restituição continha os seguintes atributos: Cursos d'água, curvas de nível (com equidistância de 1 metro) e logradouros públicos, linhas de transmissão e zoneamento do Plano Diretor Municipal.

Identificada a área, buscou-se consultar levantamentos pré-existentes do meio físico e a realização de trabalhos de campo para realizar uma caracterização fisiográfica da área estudada a fim de direcionar o escopo da pesquisa geomorfológica, aplicando-a à área de estudo.

Feito isso, uma atualização dos conceitos geomorfológicos e hidrológicos aplicáveis a este planejamento foi realizada. Como trabalhamos em escala de detalhe, estes conceitos foram descritos conforme 5º nível de taxonomia do relevo (ROSS, 1992), indicando-se assim os processos naturais atuantes na área de estudo e relevantes a ocupação urbana. E para simplificação da descrição dos processos – estudo do 6º taxon, compartimentamos o relevo em três unidades: topos, vertentes e fundos de vale.

Aliado a isso, foi feito também um levantamento da legislação urbanística e ambiental, onde foram destacados alguns aspectos inerentes à ocupação do solo urbano que poderiam ser aplicados ao trabalho.

Após essa revisão, partiu-se para fase de espacialização das feições geomorfológicas e dos processos atuantes cuja relevância foi identificada. Essa fase foi realizada com a ajuda de um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG), onde os dados obtidos foram inseridos e tratados. Assim, as áreas que apresentavam algum tipo de restrição e recomendação foram identificadas e foram produzidos os mapas identificando-as e localizando-as dentro da área de estudo.

Por fim, as recomendações para cada tipo de feição e processos foram realizadas e sumarizadas, demonstrando a contribuição da ciência geomorfológica para o planejamento urbano. O trabalho conclui-se unindo às recomendações com os aspectos legais que impõem algum tipo de restrição à ocupação ou parcelamento do solo.

4. Resultados e Discussões

Apesar da classificação genérica do projeto RADAMBRASIL (1983), atribuir a área nomeclatura 'colinas', as formas de relevo da região, por suas características morfométricas, podem ser descritas como morrotes, segundo classificação adaptada por Goulart (2001). Para identificação e descrição dos processos foram delimitadas três formas elementares de relevo: Os topos, os fundos de vales e as vertentes.

Os topos, situados em altitudes maiores que 40 m, apresentam formas planas, ligeiramente convexizadas e declividades leves, não ultrapassando 6 graus. Nos topos encontramos materiais formados in sito e solos relativamente bem desenvolvidos com mantos de alteração profundos e poucas marcas de processos erosivos.

Os fundos de vale estão situados em altitudes inferiores à 20 m e também possuem declividades suaves, tendo evolução morfológica fortemente ligada aos processos fluviais. Há forte presença de sedimentos transportados (colúvios e alúvios), e pode-se identificar a ocorrência de solos hidromórficos.

As vertentes, que fazem a ligação entre as duas feições já descritas, apresentam declividades variáveis, majoritariamente entre 6 graus e 40 graus. Nestas formas, encontramos maiores marcas de processos erosivos e maior presença de material coluvial, o que nos faz destacar que trata-se da feição mais dinâmica do relevo entre as descritas.

A área ocupada pelos topos, 316.100 m^2, representa 7,9% da área de estudo, enquanto que os fundos de vale ocupam apenas 94.480 m^2, equivalentes à 2,4% da área total. As vertentes, por fim, que ocupam aproximadamente 3,58 km^2 (89,7% do total), por se tratarem das feições mais dinâmicas e ocuparem a maior parte da área de estudo, serão o alvo de mais detalhadas investigações neste trabalho.

A análise a seguir, refere-se aos processos morfodinâmicos das vertentes, que propiciaram adiante um mapeamento das áreas de maior instabilidade frente aos processos erosivos e que, por conseguinte, serão úteis ao estabelecimento de diretrizes para o planejamento urbano.

Para análise desses processos adotaremos modelo de vertente normal ou típica (Figura 2), que pode ser descrita como uma vertente cujo topo tem declividades relativamente baixas que vão se acentuando e formando uma convexidade seguida por uma ruptura de declive que dá início a um segmento retilíneo e novamente outra ruptura que inicia a base da vertente, representada por uma concavidade.

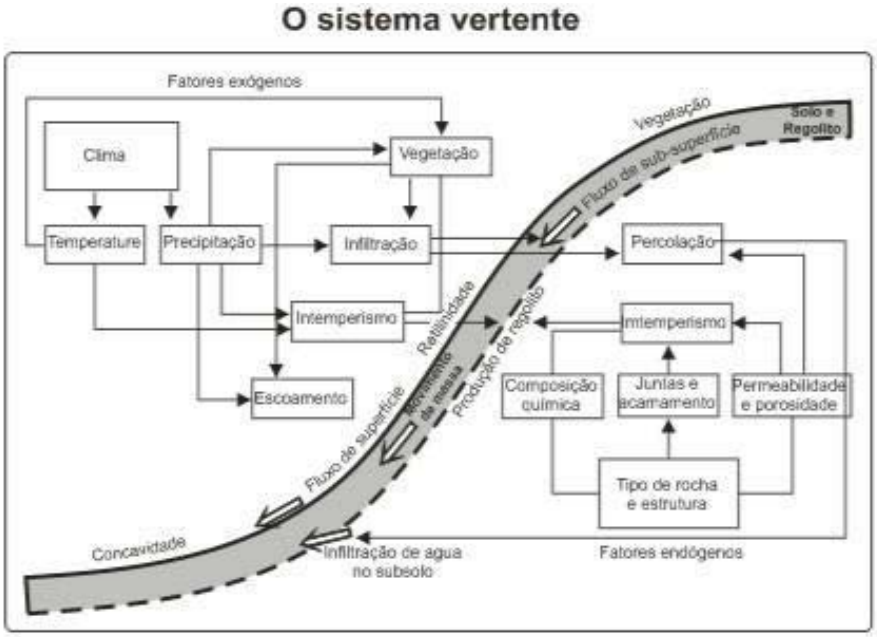


FIGURA 2: O sistema vertente. Fonte: Casseti, 2007.

Inicialmente, é importante identificar os processos pedogênicos nas vertentes, submetidas ao clima úmido do litoral capixaba. A formação do solo na área de estudo está fortemente ligada ao intemperismo químico, que age tanto na superfície quanto na subsuperfície decompondo a rocha matriz e criando um manto de alteração da rocha, que formará o solo. Porém, devido às diferentes declividades, áreas de contribuição e fluxo de material detrítico, nas vertentes, os processos são ligeiramente diferentes, variando de acordo com a configuração de cada trecho devido às diferentes dinâmicas do fluxo de água. Para Coelho Neto (1994), o solo

engloba os materiais do manto de alteração, os quais podem estar in situ (são chamados de solos residuais ou elúvio) ou já podem ter sido transportados de uma área a montante (são chamados solos transportados ou depósitos de encosta ou fluvial). Os materiais depositados nas encostas tendem a espessar-se em direção às zonas representadas por curvas de níveis côncavas, que correspondem aos fundos de vales. (p. 115)

Palmiere e Larach (2000), fizeram uma representação esquemática da influência do relevo na configuração do horizonte superficial dos solos numa vertente, que utilizaremos para nossa análise. Segundo os autores, os segmentos A e B da figura 3 representam os trechos da vertente que são bem drenados, onde a água que infiltra no solo é facilmente removida, o horizonte A do solo é orgânico mineral e pouco espesso. No segmento C o solo é moderadamente drenado, mas mantém características do horizonte A similares às dos segmentos A e B. O segmento D é imperfeitamente drenado e o horizonte A moderadamente espesso. Já os segmentos E e F apresentam solos mal drenados, com espessuras do horizonte superficial mais espessas e com acumulação de matéria orgânica, nesses últimos o lençol freático encontra-se próximo a superfície durante grande parte do ano.

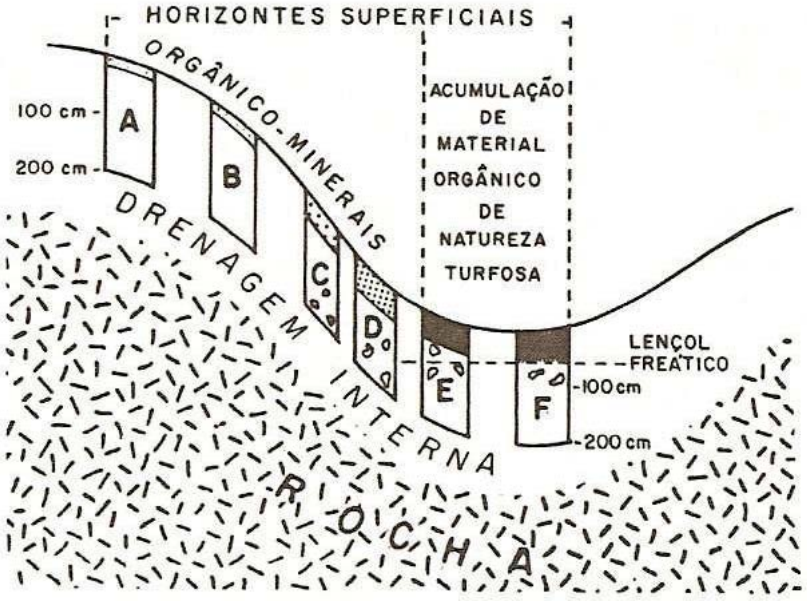


FIGURA 3: Mapa de Localização da área de estudo. Fonte: Arquivo dos autores. Fonte: Palmiere e Larach (2000)

É percebido que existem diferenças entre o balanço morfogenético em áreas mais planas e regiões de relevo mais aguçado, assim, conforme representação esquemática de Christofoletti (1980), nas partes mais altas do relevo (área de contribuição igual a zero) o balanço morfogenético (Bm) será a subtração da componente vertical (V) da componente paralela (P); (Bm = V – P).

A medida que se parte para jusante da vertente uma nova variável é acrescentada: a deposição dos detritos que são trazidos de montante (d); e então, Bm = (V + d) – P.

O balanço morfogenético será positivo sempre que os valores relacionados às componentes Verticais (ou perpendiculares) for maior que a ação das componentes paralelas. Assim, numa vertente regular, como as convexidades tendem a aumentar os ângulos de declividade, há a tendência que os balanços morfogenéticos sejam menores (ou mesmo negativos) enquanto que nas concavidades, onde há maior acúmulo de sedimentos devido à perda de velocidade do escoamento superficial das águas e consequentemente da capacidade de transporte da carga detrítica, existe a tendência de haverem maiores valores para o balanço morfogenético (CHRISTOFOLLETI,1980; COELHO NETO, 1994). É importante ressaltar que, em nossa análise, o fator controlador mais importante do balanço morfogenético são as componentes paralelas, ou seja, erosão e sedimentação, uma vez que a alteração da rocha é um processo mais lento, no qual não se pode influir significativamente. Por tanto as análises que se seguirão terão como objetivo principal o estudo dos efeitos erosivos no solo, sobretudo por que os processos de urbanização são potenciais causadores de movimentos de massa, notadamente na ocasião da construção de edificações e implantação do sistema viário. Corroborando com esta análise a publicação do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1991) que aborda a questão da ocupação de encostas, recomenda que se evite ao máximo as movimentações de terra em projetos de urbanização.

Outro fator importante a ser observado nas vertentes são as superfícies de denudação e agradação, para que possam ser recomendadas práticas de ocupação mais coerentes com a morfodinâmica local, uma observação de campo que chama atenção e precisa ser considerada são as marcas dos processos erosivos. Christofoletti (1980) afirma que os processos de escoamento concentrado têm "maior competência erosiva" que os processos de escoamento pluvial difuso e deixam marcas sensíveis na superfície topográfica, estes processos, portanto, são possíveis de serem identificados em campo e no SIG através dos dados de altimetria e podem indicar a tendência de denudação e agradação nos segmentos da vertente. Percebemos nas observações de campo que os processos de escoamento concentrado em ravinas são comuns em vertentes sem cobertura vegetal, porém não foram encontradas marcas significativas nas vertentes cobertas por vegetação.

Mais uma abordagem que precisamos identificar nos processos erosivos nas vertentes são os fluxos de água, ou seja, os aspectos hidrológicos da encosta. Confirmando a importância do estudo da hidrologia de encosta Coelho Neto (1994) afirma que

O conhecimento da vocação hidrológica de áreas sob distintas composições ambientais revela-se de aplicação direta para previsões relacionadas à recarga de mananciais de águas subterrâneas, às enchentes ou à propagação espaço-temporal de poluentes que convergem para os rios, entre outras, auxiliando na definição do uso mais adequado da terra e no manejo dos solos [...] (p. 133)

Para caracterizar os fluxos de água Coelho Neto (1994) os distingue entre "fluxos de chuva" e "fluxos de base", em relação aos primeiros a autora relata serem gerados depois de determinado tempo de chuva, ou seja, tratam-se de cursos d'água efêmeros; já os fluxos de base são definidos por Hewlett e Nutter (1969, apud COELHO NETO, 1994) "[...] como parte componente do fluxo canalizado que se mantém durante os períodos secos e são alimentados pela descarga da água subterrânea residente nos solos e rochas [...]" (pág. 134), portanto cursos d'água perenes.

Os dois tipos de fluxo têm importantes papéis na dinâmica de sedimentos de uma bacia, porém iremos focar nossa análise inicial nos fluxos de chuva. Esses fluxos frequentemente são encontrados nas vertentes, assumindo a função de canais efêmeros durante as precipitações mais volumosas, porém, por não concentrarem água durante os períodos secos, muitas vezes não são observados no planejamento e na ocupação do solo. Essas áreas, por abrigarem um escoamento pluvial concentrado, são trechos bastante dinâmicos das vertentes e tendem a entalhar seu talvegue, rebaixando-se até, por fim, tornar-se um canal de fluxo de base.

Assim, Coelho Neto (1994) analisando a os modelos quantitativos de Horton, confirma a importância da dinâmica erosiva dos fluxos de chuva (e consequentemente sua sensibilidade à ocupação urbana) quando afirma que

a erosão, inicialmente concentrada nas microdepressões da superfície do terreno, poderia evoluir vertical e, depois lateralmente, dando origem a um canal erosivo e, em seguida, alargando as paredes laterais (bordas); ao desenvolvimento deste canal se associaria a formação de vales pelo recuo das encostas. Nas novas encostas laterais ocorreria, então, a formação de canais tributários, que, por sua vez, dissecariam outros vales tributários, constituindo, assim, um sistema de drenagem com uma rede de canais interconectados em diferentes níveis hierárquicos. (p. 138).

Identificada a importância dos fluxos de chuva na dinâmica da paisagem passo seguinte é identificar as partes da topografia que estão em meio a este processo, notoriamente nessas partes é onde existem os canais de drenagem efêmeros, que podem ser facilmente identificados com o auxílio da restituição aerofotogranométrica e de uma imagem aérea e são mostrados no mapa (Figura 4).

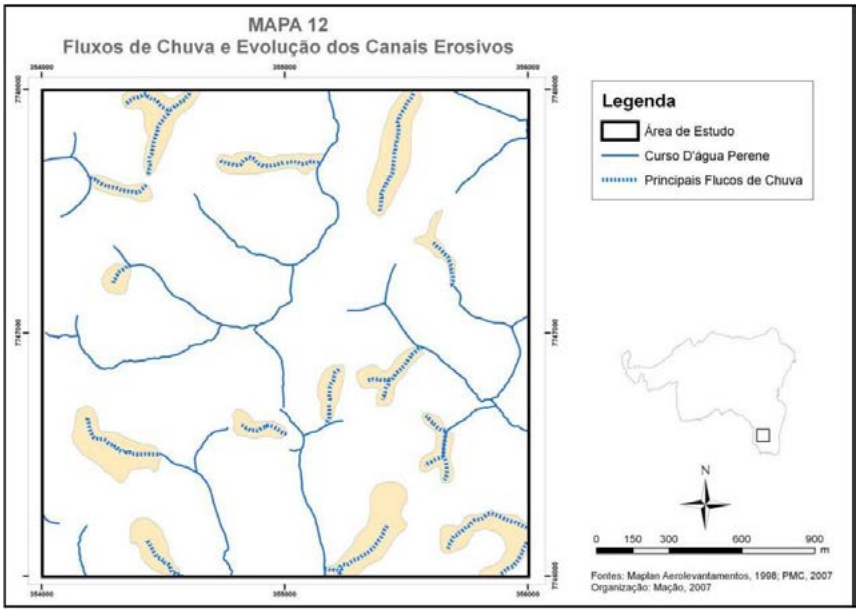


FIGURA 4: Fluxos de chuva e evolução dos canais erosivos. Fonte: Arquivo dos autores.

Foi realizada também uma análise dos aspectos hidrológicos da área, onde podemos perceber que ela desempenha uma importante função na recarga e perenização dos mananciais, assim, o primeiro aspecto restritivo que identificamos foi relativo à infiltração de água no solo. Se considerarmos que a água que infiltrará no solo após uma completa urbanização da área, será consideravelmente reduzida, visto as taxas de permeabilidade prevista no PDM (5% e 10%), a recarga de água no solo, a curto e médio prazo, tende a não manter-se a mesma, diminuindo até o desaparecimento total das nascentes. Neste sentido, os topos têm importante papel na recarga de mananciais e ao mesmo tempo tendem a estar disponíveis para ocupação urbana – tanto por sua localização fora das APP's quanto pela declividade pouco acentuada, por isso as indicações deste trabalho para este compartimento do relevo são que a taxa de permeabilidade nos topos seja, sempre que possível, maior que as taxas mínimas estabelecidas pelo PDM (5% e 10%) e também que sejam incentivados projetos de edificações que destinem a água precipitada nas áreas não-permeáveis dos lotes para as áreas permeáveis.

Essas fragilidades naturais foram mapeadas e unidas às restrições legais impostas pela legislação (Código Florestal, PDM do município, Lei de parcelamento do solo, etc.), para se produzir uma carta de fragilidade à ocupação urbana, que é apresentada na Figura 5.

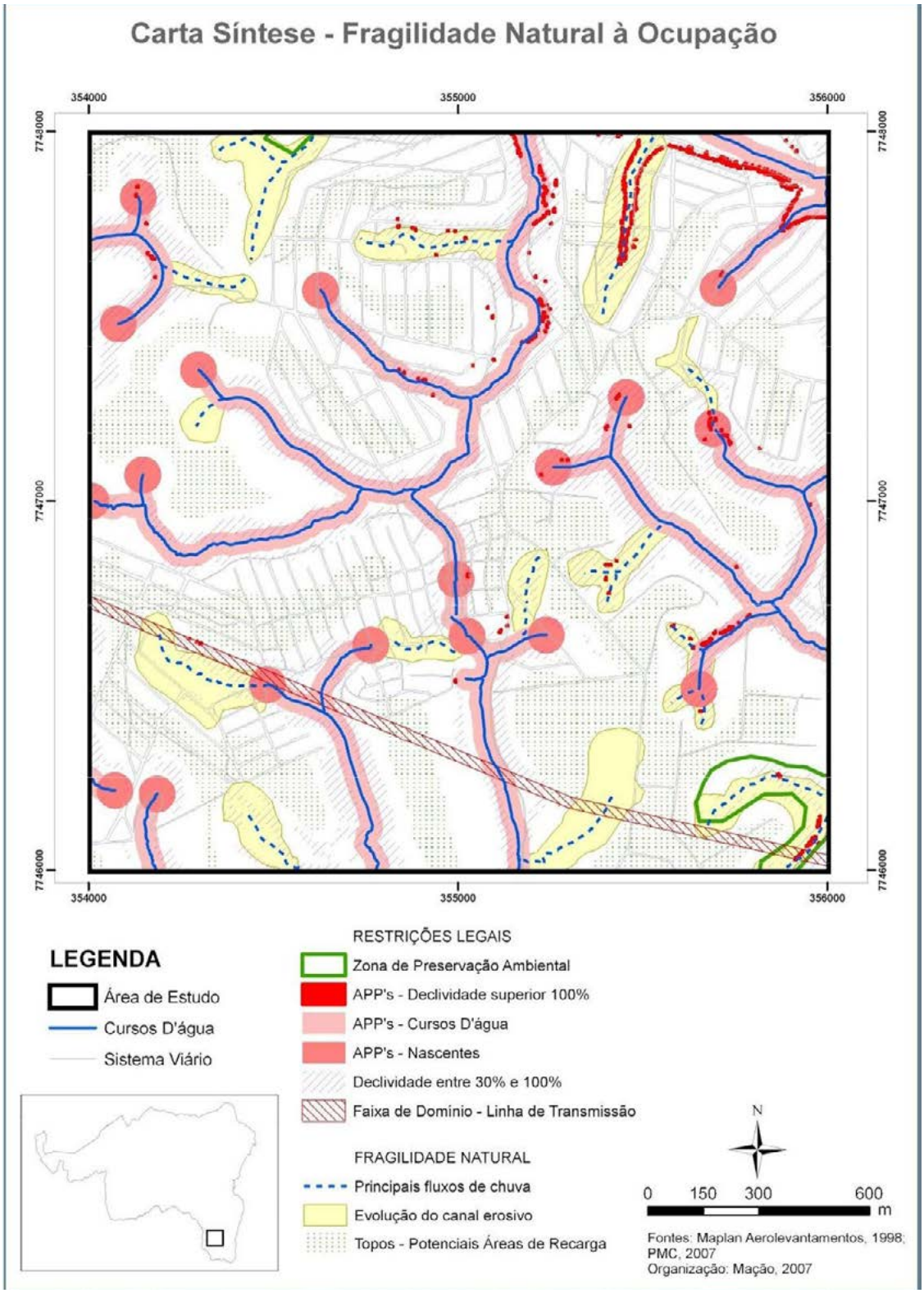


FIGURA 5: Carta síntese de fragilidade à ocupação. Fonte: Arquivo dos autores.

5. Considerações Finais

A carta gerada com a ajuda dos conhecimentos geomorfológicos fornece importantes subsídios para a gestão do território, as informações e restrições à ocupação e ao uso do solo, podem auxiliar nas tomadas de decisão e na avaliação de projetos pela administração municipal e pela iniciativa privada.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográficas no reconhecimento dos eventos naturais e na espacialização das restrições, mostrou-se muito eficaz e nos ajuda a entender a progressiva utilização desses sistemas como ferramenta de planejamento urbano e ambiental. Porém, cabe ressaltar que a existência de dados em escala de detalhe foi de suma importância para que a identificação das áreas pudesse ser realizada com a precisão que demanda o planejamento urbano.

Sendo respeitadas, as restrições e recomendações indicadas neste trabalho ajudarão a criar um espaço ambientalmente saudável e a mitigar os riscos naturais a população residente.

A legislação urbanística e ambiental indica diretrizes importantes para conservação dos recursos naturais. No entanto a legislação, por si só, não é capaz de identificar a dinâmica dos processos naturais na paisagem relativos ao relevo, sendo, por isso, limitada e demandando estudos como este.

Pensamos que as ações pró organização das cidades são de alguma forma válidas e reconhecemos que a realidade econômica, administrativa e principalmente política dos municípios deve ser levada em conta em qualquer esforço de planejamento urbano, no entanto nos limitamos as questões técnicas ligadas aos aspectos geomorfológicos com o intuito de delimitar o objeto deste trabalho.

Referências

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Institui o novo código florestal brasileiro. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> Acesso em: 15/10/2019

BRASIL. **Lei n° 6766/1979, 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/leis/L6766.htm> Acesso em: 15/10/2019

BRASIL. **Lei nº 10.257, 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil/LEIS/LEIS_-2001/L10257.htm> Acesso em: 15/10/2019

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL – Folha SF.23/24. Rio de Janeiro/Vitória; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potential da terra**. Rio de Janeiro, 1983.

CARIACICA. **Lei nº 546/1971**. Institui o Código de Obras e Posturas do Município de Cariacica, Estado do Espírito Santo. (Documento cedido pela Prefeitura Municipal)

CARIACICA. **Lei nº 018/2007**. Institui o Plano Diretor Municipal do Município de Cariacica, altera o perímetro urbano, define o zoneamento urbano e rural e dá outras providências. (Documento cedido pela Prefeitura Municipal)

CARIACICA. **Lei nº 05/2002. de 10 de outubro de 2002**. Cria o Sistema Municipal de Meio Ambiente, seus instrumentos e regulamentos de funcionamento, cria o Código Municipal de Meio Ambiente, cria o Conselho Municipal de Meio Ambiente e regulamenta o uso do Fundo Municipal de Conservação Ambiental. (Documento cedido pela Prefeitura Municipal)

CASTIGLIONI, Aurélia H. Estudos e Projetos: Processo de Crescimento da Grande Vitória. In: **Revista Instituto Jones**. Ano VII, n° 01. Vitória, 1994.

CASSETI, Valter. **Estudo dos efeitos morfodinâmicos pluviais no Planalto de Goiânia**. Tese de Doutorado. USP, S. Paulo,

1983.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blücher, 2ª ed., 1980.

COELHO NETTO, Ana Luiza. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, J. T. & CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 1994.

ESPÍRITO SANTO. **Lei n° 7.943/2004, 17 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre o parcelamento do solo para fins urbanos e dá outras providências. Disponível em < http://governoservico.es.gov.br/scripts/portal180.asp?pagAtual=1> Acesso em: 15/10/2019.

GOULART, Ântonio Celso de Oliveira. **Relevos e Processos Dinâmicos: Uma proposta metodológica de cartografia geomorfológica**. Revista Geografares, nº 2, 2001.

GUERRA, J. T. & CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 1994.

IBGE. **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil.** Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/relevo_2006.pdf> Acesso em: 15/10/2019.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Ocupação de encostas. Coord. Cunha, M.A. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

PALMIERI, Francisco; LARACH, Jorge Olmos Iturri; Pedologia e Geomorfología. In: GUERRA, Antonio Jose Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia e meio ambiente.** 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

ROSS, Jurandyr L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento.** São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, Jurandyr. L. S**. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo.** São Paulo. Revista do Departamento de Geografia da USP, n. 6. 1992.

TROPPMAIR, Helmut. **Biogeografia e Meio Ambiente**. 5ª Edição. Rio Claro: Ed. Divisa, 2002.

VILELLA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

INTERAÇÕES BIOGEOMORFOLÓGICAS NA PENÍNSULA FILDES, ANTÁRTICA MARÍTIMA

Carina Petsch
Universidade Federal de Santa Maria
Avenida Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: carinapetsch@gmail.com
Cleiva Perondi
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: cleivaperondi@gmail.com
Rafaela Mattos Costa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: raffaellamattos@hotmail.com
Kátia Kellem da Rosa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: katiakellem@gmail.com
Luiz Felipe Velho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Porto Alegre
Rua Coronel Vicente, 281, CEP 90030-040, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: luiz.velho@poa.ifrs.edu.br
Maria Eliza Sotille
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil
E-mail: sotille@gmail.com
Rosemary Vieira
Universidade Federal Fluminense
Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n, Campus da Praia Vermelha, Boa Viagem - Niterói/RJ, Brasil
E-mail: rosemaryvieira@id.uff.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é relacionar a presença de vegetação na península Fildes, Antártica Marítima, com sua fixação nas formas de relevo. A vegetação foi mapeada com base em uma imagem Sentinel-2 de 2018 e os mapas de feições geomorfológicas são de 4 artigos já publicados. Os resultados indicaram predomínio da vegetação nas porções de praias, solos em padrão e de plataformas marinhas. O vale Klotz concentra praticamente toda cobertura de vegetação mapeada da porção proglacial, devido à presença de água líquida e coberturas deposicionais com sedimentos finos. Para a zona proglacial, nas morainas de avanço há cobertura de líquens e musgos, demonstrando sinais de estabilização da atividade de retrabalhamento paraglacial em algumas porções. Diante da possível continuidade da retração das geleiras, ligadas às mudanças climáticas, é importante avançar em estudos sobre a atividade biogeomorfológicas e suas interconexões.

Palavras-chave: processos paraglaciais, retração de geleiras, paisagem glacial.

1. Introdução

A Península Antártica (PA) passou por uma das fases mais rápidas de aquecimento da Terra nas últimas décadas (MULVANEY et al. 2012), na ordem de 3,0°C na temperatura média do ar, entre 1961 e 2000 (STEIG et al., 2009). Como consequência das mudanças climáticas, de acordo com Lee et al. (2017), as áreas sem cobertura permanente de gelo na PA podem aumentar em mais de 17.000 km² até o final deste século, devido à retração de geleiras - um aumento de 25% sobre a área atual no pior cenário do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC) (RCP 8.5). Com a crescente retração de geleiras na PA, documentada por alguns autores (COOK et al. 2005, 2016; SEEHAUS et al. 2018), percebe-se uma transformação na paisagem, principalmente em relação ao aumento de vegetação em áreas recentemente expostas (SMITH, 2001; CONVEY e SMITH, 2005; POELKING et al. 2011; AMESBURY et al. 2017; LEE et al. 2017) e mudanças nos padrões de erosão e deposição (BALLANTYNE, 2002a).

Com o aumento das áreas livres de gelo surgem questionamentos em relação a como as paisagens nessas áreas evoluem, como os processos geomorfológicos ocorrem após a retração da geleira, e, ainda, qual o papel da sucessão vegetal no ajuste paraglacial (MATTHEWS, 1992; BALLANTYNE, 2002a; MOREAU et al. 2008). Vários autores (BALLANTYNE, 2002b; SLAYMAKER, 2009; BENN e EVANS, 2010) definem o termo paraglacial como o período de tempo em que ocorre o ajuste ambiental, iniciado com a exposição de uma área livre de gelo. A partir do momento em que ocorre a retração de uma geleira, os processos paraglaciais passam a atuar, incluindo fluxos de detritos, ravinamentos e retrabalhamento de material nas vertentes das morainas (EICHEL et al. 2016). Processos hidrológicos que ocorrem no subsistema glaciofluvial contribuem de forma significativa para o retrabalhamento das formas (IRVINE-FYNN et al. 2011) e fatores como a topografia, derretimento da neve, exposição da vertente, declividade e tamanho dos sedimentos estão inter-relacionados (RAFFL et al. 2006). Os processos paraglaciais irão variar em área e em intensidade, de acordo com o tempo de exposição da superfície, relacionado à retração das geleiras (MOREAU et al. 2008; MERCIER et al. 2009) sendo modificados e intensificados pelas mudanças climáticas (CANNONE et al. 2008).

Os fatores bióticos, por sua vez, também possuem ligação com os processos geomorfológicos (VILES, 2003), porém atuam na estabilização da paisagem. A diminuição da atividade paraglacial na zona proglacial tem ligação com a sucessão vegetal, que irá atuar na estabilização dos sedimentos glaciais (BALLANTYNE, 2002b), por exemplo, em encostas do vale, depósitos de detritos paraglaciais e depósitos glaciofluviais (KLAAR et al. 2015).

Destaca-se que estudos abordando os processos geomorfológicos e ecológicos - biogeomorfologia - associados à estabilização da zona proglacial são mais abundantes para geleiras alpinas e árticas (RAFLL et al. 2006; MOREAU et al. 2008; MERCIER et al. 2009; EICHEL et al. 2013), sendo poucos os trabalhos desenvolvidos nesta temática para a Antártica. As pesquisas voltadas ao Hemisfério Norte também investigam as vertentes das morainas de avanço da Pequena Idade do gelo, onde ocorrem processos geomorfológicos como fluxo de detritos, ravinamento e solifluxão (BLAIR, 1994; JÄGER e WINKLER, 2012). Eichel et al. (2016), por exemplo, ao investigarem a geleira Turtman, Suíça, elaboraram um modelo conceitual relacionando a magnitude dos processos, frequência e resiliência a distúrbios biogeomorfológicos, considerando a sucessão vegetal; enquanto Eichel et al. (2018) fizeram um estudo espaço-temporal das morainas utilizando uma combinação de dados geomorfológicos e ecológicos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é investigar a relação entre a localização espacial da vegetação na área livre de gelo da Península Fildes, Ilha Rei George (Península Antártica) e sua relação com as formas de relevo. Previamente, Petsch et al. (2019c) procuraram entender quais eram os fatores físicos responsáveis pela presença de vegetação na Península Fildes, contudo não havia preocupação com a indicação de formas de relevo e questões de estabilização e processos decorrentes. Sendo assim, há a demanda de continuar investigando essas relações e, também, de utilizar imagens de satélite de melhor resolução espacial.

2. Área de estudo

As ilhas Shetland do Sul estão localizadas em uma área da região marítima da Antártica, onde as porções continentais são cobertas por geleiras e campos de neve permanentes - embora algumas penínsulas, como a Península Fildes, na Ilha Rei George (IRG), e Byers, na Ilha Livingstone, são áreas livre de gelo no verão (WATCHAM et al. 2011).

A IRG (Figura 1) é a maior das Shetland do Sul, está localizada no extremo norte da PA, com área total de aproximadamente 1250 km², dos quais mais de 90% estão cobertos por neve e gelo (OSMANOGLU et al. 2013) e se divide em vários domos de gelo conectados (SIMÕES et al., 1999). Rückamp e Blindow (2012) apontam para uma espessura média do gelo de aproximadamente 240 m, com valor máximo de 422 m, e elevação máxima de 720 m acima do nível do mar, na porção central da ilha (RÜCKAMP et al. 2011). Na maioria das áreas livres de gelo na IRG, a água de derretimento flui das geleiras para pequenos canais que alimentam os lagos, que se formam principalmente perto das margens de gelo da geleira ou em superfícies planas elevadas de plataformas de abrasão marinha (MÄUSBACHER, 1991; HOCHSCHILD e STAEBLEIN, 1998).

Para a IRG, destaca-se que o aquecimento regional tem resultado em rápidas mudanças ambientais, como a deglaciação, que representa uma grande ameaça para o ecossistema local (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 2003). Nesse sentido, vários estudos evidenciam a retração de geleiras, especificamente na IRG, relacionada ao aumento da temperatura do ar na região da PA (ROSA et al. 2009; RÜCKAMP et al. 2011; SIMÕES et al. 2015; PERONDI, 2018; PERONDI, ROSA e VIEIRA, 2019; ROSA et al. 2020; GONÇALVES, 2018). Assim como também se observa o aumento do número de lagos para a área de estudo (ROSA et al. 2020; OLIVEIRA et al. 2021).

O último avanço da geleira Collins, localizada no extremo sul da IRG (Figura 1), ocorreu na Pequena Idade do Gelo (PIG), formando uma moraina de avanço, segundo datação por radiocarbono de Hall (2007). As morainas de avanço da PF se caracterizam pela continuidade e altura em relação às demais feições de deposição da área proglacial. A crista morâinica se apresenta com uma altura média de 10 m acima do nível atual do gelo, e parte dela pode ter sido formada por processos de empurrão durante a fase de avanço, o que explica a alta declividade em alguns pontos.

Atualmente, a geleira Collins é sensível às variações climáticas, pois é uma massa de gelo próxima ao ponto de fusão sob pressão (SIMÕES et al. 2015). Seu atual processo de retração produz diferentes ambientes na parte norte da Península de Fildes, com fluxos de derretimento da geleira criando lagos e alagados com dois tipos de drenagem: um voltado para a passagem de Drake e outro voltado para a baía de Maxwell (SIMÕES et al. 2015). Em ambientes periglaciais - que compreendem a porção central, em direção ao sul da Península Fildes - predominam neste ambiente, por exemplo, erosão não glacial, movimento de massa nas encostas, ação do vento; e verifica-se o papel da água de fusão da neve e da água de fusão do *permafrost*, e também da precipitação líquida (VIEIRA et al. 2015).

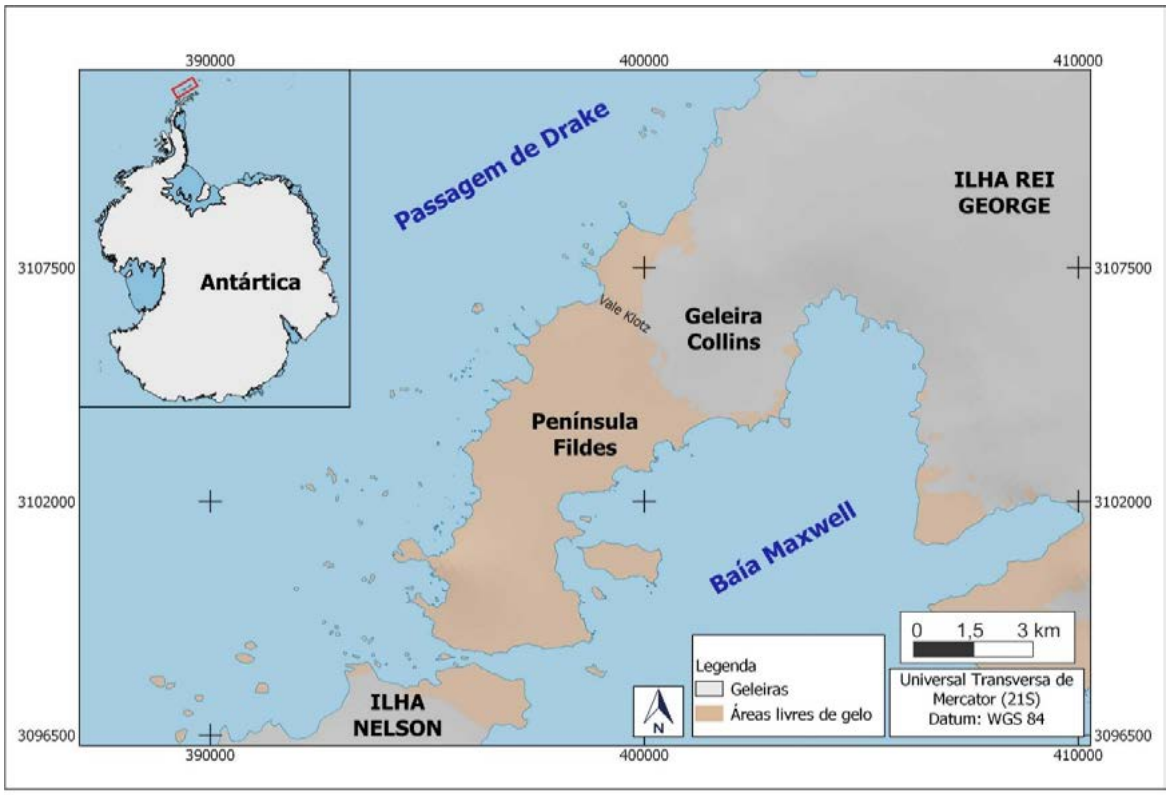


FIGURA 1: Localização da península Fildes, no extremo sul da IRG. O quadro em vermelho no mapa da Antártica indica as ilhas Shetland do Sul. Base de dados: ADD (2021)

3. Materiais e métodos

Esta é uma pesquisa descritiva, de caráter quali-quantitativo, que visa a interpretação de dados do meio físico e do meio biótico para a compreensão da estabilização da paisagem. Os métodos empregados em cada etapa, bem como os materiais utilizados, são descritos nas subseções a seguir.

3.1 Processo de mapeamento da vegetação

3.1.1 Imagem de satélite e trabalhos de campo

Para validação dos dados de vegetação e descrição do ambiente foram realizados dois trabalhos de campo, em 2014 e 2015 na península Fildes. Na ocasião, foram registradas fotografias em toda a Península, com marcação de pontos utilizando um GPS (Global Positioning System) Garmin. Um total de 133 pontos foram registrados para identificação de feições de relevo e porções vegetadas.

Foi utilizada uma imagem Sentinel 2B, sensor MSI, de 10/03/2018, nível L1C para classificação da vegetação. A correção atmosférica foi realizada utilizando o *Semi-Automatic Classification Plugin* (CONGEDO, 2016) no SIG QGIS 3.16, convertendo os números digitais para valores de reflectância de superfície usando o método *Dark Object Subtraction 1* (DOS1) (CHAVEZ, 1996).

3.1.2 Índice de vegetação

Para a identificação da vegetação na península Fildes, foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) (ROUSE, 1973). A escolha pelo NDVI se deu em função da utilização do mesmo em diversos trabalhos elaborados para diferentes áreas da Antártica Marítima (FRETWELL et al. 2011; POELKING et al. 2011; ANDRADE et al. 2018; PETSCH et al. 2019c; SOTILLE et al. 2020).

O NDVI foi elaborado usando a adaptação da expressão matemática de Rouse et al. (1973) para as bandas espectrais disponíveis no sensor MSI, conforme expressão abaixo:

NDVI = Banda 8 - Banda 4/ Banda 8+Banda 4

O NDVI foi classificado de acordo com a probabilidade de presença de vegetação em áreas livres de gelo na Antártica, conforme proposto por Sotille et al. (2020). Para tanto, foram calculados a média e o desvio padrão do índice, cujos valores são 0,01825 e 0,13788, respectivamente. Assim, conforme Sotille et al. (2020), as classes de probabilidade de presença de vegetação foram definidas com os seguintes intervalos: (1) Improvável: entre 0,01825 e 0,15613; (2) Provável: entre 0,15613 e 0,29401; (3) Muito provável: entre 0,29401 e 0,43189; e (4) Fortemente provável: acima de 0,43189.

3.2 Relação entre geoformas e vegetação

3.2.1 Bibliografias consultadas referentes à geoformas na Península Fildes

As formas de relevo foram consultadas nos trabalhos de Petsch et al. (2019a), Michel et al. (2014), López-Martínez et al. (2012) e Petsch et al. (2019b). Michel et al. (2014) mapearam as seguintes classes para o mapa geomorfológico: (1) cristas; (2) picos; (3) cursos de água; (4) lagos; (5) geleiras; (6) rocha (contorno); (7) gelo (contorno); (8) declive estrutural; (9) formas glaciais erosivas; (10) morainas; (11) formas de relevo de crioturbação e gelifluxão (solo em padrão, detritos de colúvio, colúvios de gelifluxão, linhas de rocha); (12) geleira de rochas; (13) lóbulo de protalus; (14) plataformas marítimas; e (15) praias elevadas do Holoceno.

López-Martínez et al. (2012) consideraram as seguintes classes para realizar o mapeamento geomorfológico: (1) crista (m); (2) fluxo sazonal (curso d'água); (3) lagos; (4) plataformas marinhas descobertas; (5) geleiras; (6) vale com fundo plano; (7) terreno padronizado; (8) colúvios de gelifluxão; e (9) geleira rochosa. Petsch et al. (2019a) mapearam a geomorfologia baseados em parâmetros morfométricos de duas unidades morfoesculturais: planaltos e depressões. O mapeamento de Petsch et al. (2019b) classificou a zona proglacial em setores, com as seguintes geoformas: *flutings*, morainas de recessão e morainas de empurrão.

3.2.2 Processo de inserção das geoformas em ambiente SIG

Os quatro mapeamentos analisados (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al. 2012; MICHEL et al. 2014; PETSCH et al. 2019a; PETSCH et al. 2019b) foram inseridos no ambiente do QGIS 3.16 e foi realizado o georreferenciamento das informações. A partir da classificação realizada com o NDVI, os vetores com valores acima de 0,29 foram considerados como vegetação (classes de vegetação "muito provável" e "fortemente provável"), e então sobrepostos aos arquivos raster de mapeamentos prévios de geoformas. Posteriormente, foi calculado o valor de área total de vegetação e a área de vegetação associada a cada geoforma. Especificamente para as morainas da porção proglacial, foi realizada uma seção descrevendo os resultados obtidos em campo.

4. Resultados e Discussões

4.1 Mapeamentos prévios de toda PF e a presença de vegetação

Michel et al. (2014) indicam que as plataformas marinhas são um dos elementos do relevo mais expressivos na PF. Ainda segundo os autores, as plataformas superiores e intermediárias são limitadas por falésias e praias, com colinas de topo plano. Outra feição relevante são as praias elevadas do Holoceno, que se

formam entre as falésias e a linha de costa, sendo mais desenvolvidas na costa oriental do que na costa ocidental onde a plataforma de abrasão é maior (Michel et al. 2014). Segundo Petsch et al. (2019a), podem ser observados vários vales em U que demarcam a posição e direção de fluxo de gelo no passado. Os autores destacam que um dos maiores vales, o Klotz, recebe atualmente o escoamento de água de degelo da porção noroeste da geleira Collins com deposição de sedimentos finos.

Quanto aos dados obtidos, algumas ressalvas são necessárias tendo em vista que as formas mapeadas não são as mesmas nos 3 trabalhos. O mapeamento geomorfológico de Petsch et al. (2019a) considerou apenas as morfoesculturas da PF (Figura 2A), sem haver maiores detalhamentos. Os outros dois estudos possuem níveis de escala e detalhes similares, porém com a ausência e união de algumas formas. López-Martínez et al. (2012) não mapearam as áreas de praias. Michel et al. (2014) uniram várias formas em uma classe denominada de "formas de relevo de crioturbação e gelifluxão" enquanto López-Martínez et al. (2012) delimitaram uma classe especificamente para solos em padrão. Avaliando essas diferenças, faz-se necessário desenvolver um novo mapeamento geomorfológico, considerando os trabalhos prévios e também buscando avançar em padronização de escala espacial.

Avaliando a presença de vegetação em diferentes geoformas mapeadas por 3 artigos distintos que consideram toda área da PF (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al. 2012; MICHEL et al. 2014; PETSCH et al. 2019a), têm-se a prevalência justamente em porções de depressão com superfícies aplainadas, localizadas principalmente em plataformas marinhas, praias holocênicas e solos em padrão (Figura 2A, B e C). Em relação ao mapeamento de Petsch et al. (2019a), têm-se a predominância de mais de 98% da vegetação nas porções de depressão, com destaque para a depressão Klotz, que abriga grandes vales em U e extensas superfícies aplainadas. Comparando com o trabalho de Michel et al. (2014), verifica-se que a vegetação predomina nas porções de praias holocênicas soerguidas (33%), com maior concentração nos vales em U voltados para a passagem de Drake (Figura 2B). Cerca de 22% da vegetação ocorre em porções de plataformas marinhas. A Figura 2 demonstra somente a vegetação nessas geoformas. Em relação ao mapeamento geomorfológico de López-Martínez et al. (2012), 23% da vegetação se concentra em porções de plataformas marinhas soerguidas (Figura 2C) e 26% em solos em padrão.

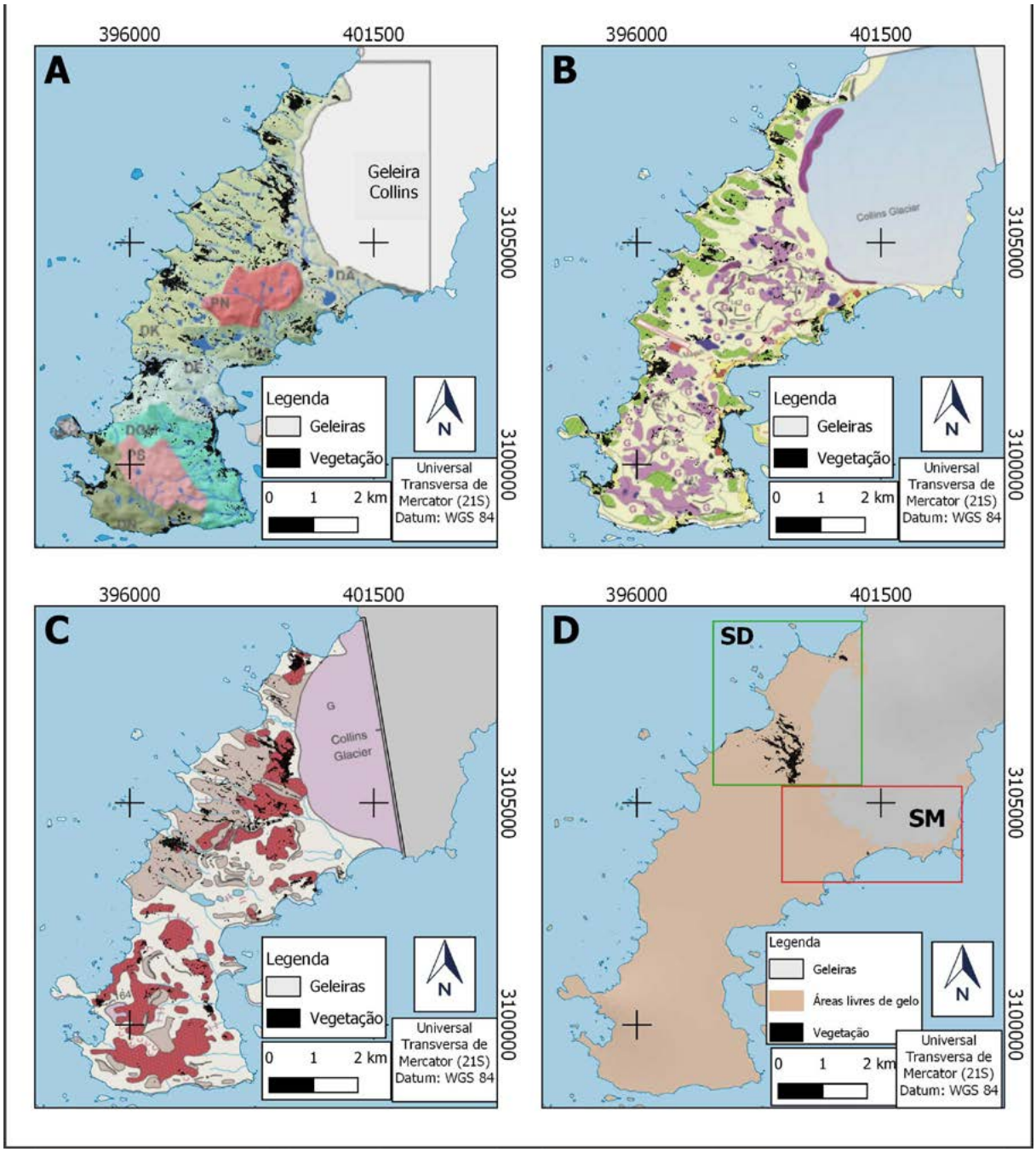


FIGURA 2: Localização da vegetação na Península Fildes - A-Mapeamento de Petsch et al. 2019a; B-Mapeamento de Michel et al. (2014); C-Mapeamento de López-Martínez et al. (2012); D-Setores de Petsch et al. (2019b). As formas de relevo que não estão inseridas na legenda podem ser consultadas nos trabalhos originais.

Observa-se que o acúmulo de água, assim como o depósito de materiais finos, contribui para a fixação das briófitas, principalmente nesses compartimentos de praia ou plataformas marinhas soerguidas. Além disso, são compartimentos com pouca declividade e distantes da geleira Collins. O mesmo padrão foi observado na península Keller, onde a predominância de vegetação ocorre em locais menos propensos ao congelamento e descongelamento e mais estáveis (FRANCELINO et al. 2006). Na península Warszawa foram identificadas áreas com vegetação próximas à linha de costa, distais a atual frente das geleiras, e sobre afloramentos rochosos (PERONDI, ROSA e VIEIRA, 2019), verificando uma sucessão ecológica.

Um vale em particular, o Klotz, abriga grande parte da vegetação. Uma observação importante sobre esta unidade é realizada por Petsch et al. (2019): "a maior parte dos vales em 'U' localizados no Compartimento de Depressão Klotz está passando por um processo de diminuição do grau de entalhamento" (Petsch et al. 2019a, p. 804). Isso ocorre porque são porções que drenam as maiores bacias de drenagem glacial da PF, além do fato do vale Klotz receber aporte de sedimentos e água de degelo da geleira Collins, levando à acumulação sedimentar, sendo um ambiente propício para o desenvolvimento da vegetação.

Observando a presença da vegetação em geoformas predominantemente voltadas para a Passagem de Drake, verifica-se que outros parâmetros físicos são essenciais para o crescimento e desenvolvimento de vegetação na PF. Petsch et al. (2019c) ressaltam que a presença de briófitas nos vales voltados para a Passagem de Drake ainda pode ter associação microclimática devido ao vento predominante Noroeste e Oeste, que traz umidade do mar no verão. Ademais, Andrade et al. (2018) ressaltam que a quantidade de radiação incidente é um elemento determinístico no desenvolvimento da vegetação para a PF. Ainda, a porção voltada para a Passagem de Drake apresenta mais animais em relação às praias da baía Maxwell. Destaca-se também que as praias desta última porção abrigam as Bases da PF, o que também torna difícil a permanência de animais e acaba por prejudicar o crescimento de briófitas.

4.2 A presença de vegetação na zona proglacial

Em relação ao mapeamento de Petsch (2019b), aproximadamente 15% da vegetação classificada por NDVI se localiza na porção proglacial (Figura 2D). Não há formação de vegetação em grande parte da porção proglacial, devido justamente à remobilização constante de material. Somente 0,11% se localiza na praia voltada para a baía Maxwell, e o restante da vegetação proglacial está na porção voltada para a passagem de Drake.

Por sua vez, o vale Klotz (Figura 3) abriga praticamente toda a vegetação da porção proglacial, conforme já debatido na seção anterior. Ballantyne (2002a) destaca que pode haver um período de ajustamento do sistema que termina quando ocorre a diminuição da influência hidrossedimentológica da geleira, o que nesse caso pode estar relacionado à distância da geleira (Figura 3). No fundo do vale Klotz a energia de fluxo da água é menor, portanto a seleção de material é maior.

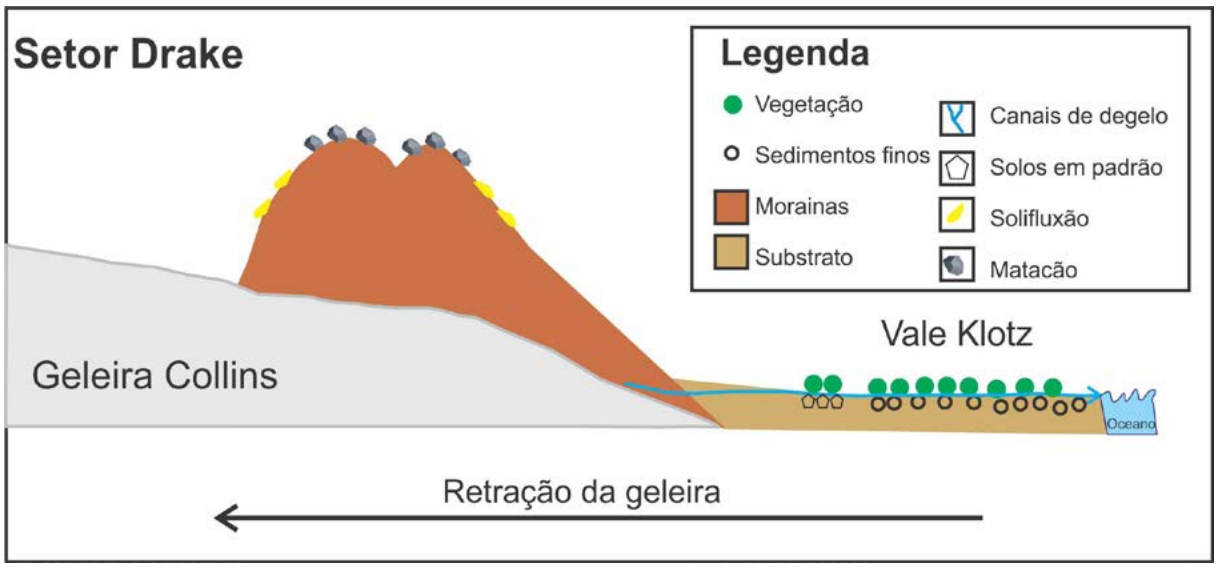


FIGURA 3: Perfil esquemático demonstrando a localização da vegetação na porção proglacial (Setor Drake). Fonte: elaborado pelos autores.

Destaca-se que a instabilidade associada aos processos geomorfológicos da zona proglacial se explica pelas altas cargas de sedimentos provenientes da geleira e de feições por ela formadas, como morainas, *flutings* e planícies de lavagem. Os processos que envolvem a modificação das morainas de avanço são movimentos de massa, ação de degelo e recongelamento, processos fluviais, entre outros. A ação de processos como fluxos de detritos, fluxos de lama, deslizamentos de terra, avalanches de rochas, incisão de canais glaciofluviais, crioturbação, nivação, etc., tanto no ambiente proglacial quanto periglacial, irão dificultar a colonização da vegetação nas formações superficiais, conforme Ruiz-Fernández et al. (2017).

4.2.1 A presença de vegetação nas morainas de avanço da PF: relato de campo

Conforme Petsch et al. (2019b), é possível distinguir as morainas de avanço em dois setores, sendo um voltado para a Passagem de Drake (foram chamadas de SD) e outro para a Baía Maxwell (SM) (Figura 4). Isso foi observado em campo. Na porção SD não foram encontradas grandes áreas com presença de vegetação (Figura 4 - Fotografia A), quando comparada àquela próxima à baía Maxwell (SM). Para o SM, foram encontradas áreas com presença de líquens na crista da moraina (Figura 4 - Fotografia D); na vertente voltada para a Península Fildes ocorrem áreas de musgos nos setores de menor declividade (Figura 4 - Fotografia B); enquanto na porção voltada para a geleira Collins (setor Maxwell), com maior declividade não foi encontrada vegetação (Figura 4 - Fotografia C).

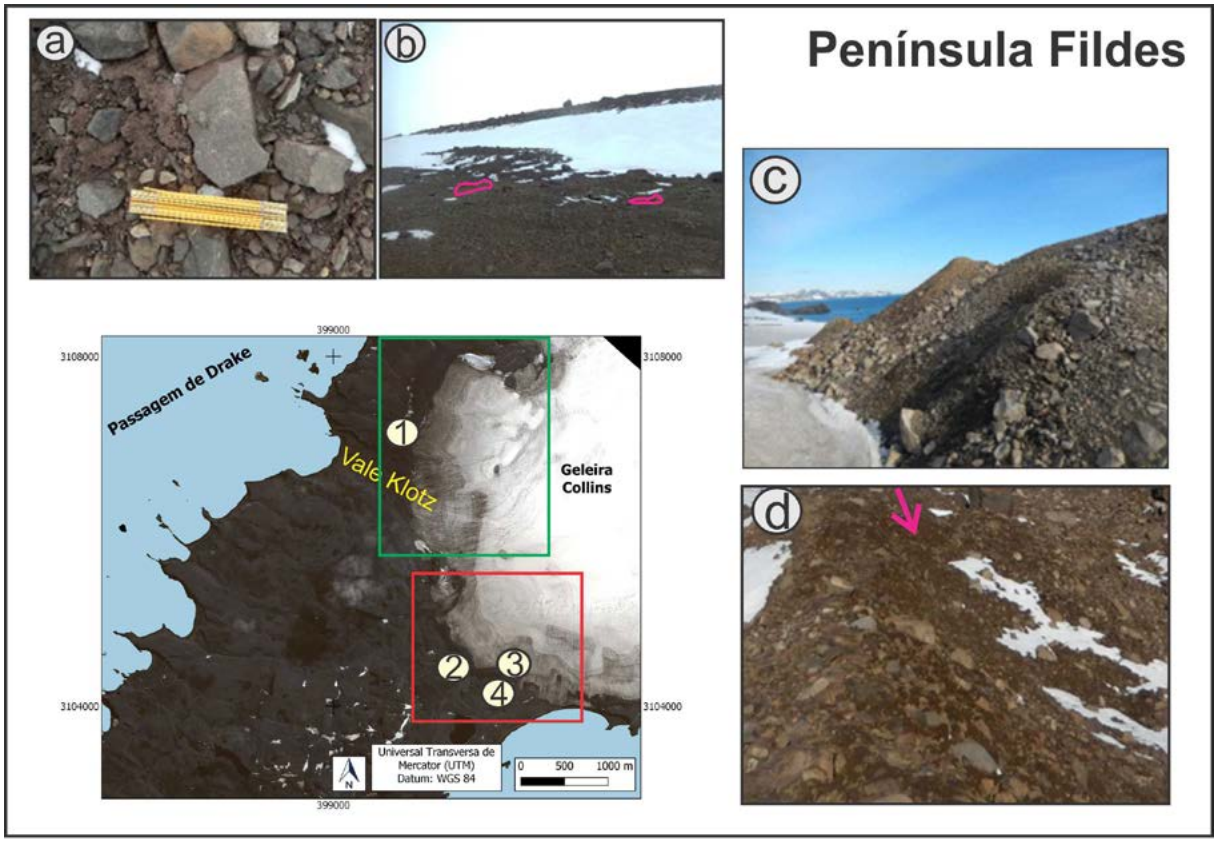


FIGURA 4: Fotografia A demonstra material sedimentar encontrado nas morainas do setor Drake; Fotografia B mostra briófitas crescendo na base da moraina (em rosa), SM; Fotografia C evidencia a declividade acentuada nas cristas morâinicas em SM; Fotografia 4 mostra vegetação fixada na crista da moraina de avanço (seta em rosa).
Fonte: Arquivo dos autores.

Um dos fatores que explica a fixação da vegetação nas vertentes das morainas está ligada à própria variação de declividade, que contribui para menor remobilização de material. A declividade é menor em alguns setores do SM, entre 20-30% (Figura 4 - Fotografia B), enquanto na SD há áreas com inclinação maior que 30%. Quando a inclinação da moraina atinge um ângulo limite de 30%, o processo de solifluxão aumenta e ocorre o retrabalhamento dos depósitos sedimentares, que foi confirmado em campo pela presença de feições indicadoras de processos erosivos pela água de degelo na zona marginal ao gelo no SD. Considerando que o avanço da geleira Collins e a formação das morainas tenham ocorrido por volta de 1800 (HALL, 2007), nesses 200 anos algumas áreas já mostram maior estabilização, enquanto as encostas íngremes ainda mantêm a remobilização sedimentar.

O mapeamento da vegetação por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto permanece limitado no ambiente antártico, principalmente devido à heterogeneidade de sua cobertura superficial e às comunidades vegetais ali existentes, segundo Sotille et al. (2020). Isso é observado para a porção morâinica, na qual, em campo, foi evidenciada a presença de vegetação (Figura 4 B e D), porém não na classificação utilizando a imagem Sentinel 2. Dada a resolução espacial do sensor MSI (10 m), a mistura espectral existente nos pixels referentes à vegetação esparsa acaba por dificultar a identificação de determinadas áreas vegetadas, visto que essas estão caracterizadas por um valor muito baixo de NDVI. Seria necessário fazer o mapeamento utilizando um Veículo Aéreo Não Transportado, a fim de obter uma melhor resolução espacial, minimizando a mistura espectral e promovendo uma melhor identificação das comunidades vegetais. Além disso, com um Modelo Digital de Elevação de alta resolução, poderiam ser obtidos parâmetros morfométricos que auxiliam a compreender a relação entre a fixação da vegetal e a atividade paraglacial na forma de relevo.

Considerando que as paisagens glaciais e paraglaciais são altamente sensíveis às mudanças climáticas, devido ao efeito dos regimes de temperatura e precipitação, e por meio da mudança de albedo, que altera o balanço energético (KNIGHT e HARRISSON, 2014), é importante avançar no debate sobre os estágios de evolução do ambiente e de intensidade de atividade paraglacial, assim como o monitoramento dessas áreas. Rosa *et al*. (2016) afirmam que a evolução do ambiente proglacial possui estágios quanto à estabilidade da paisagem, fluxo de sedimentos e água de degelo e aos processos próprios dos ciclos biogeoquímicos.

Destaca-se que também é relevante a realização de um monitoramento no SM, porção marginal da Collins - em frente à moraina de avanço. Trata-se de uma porção com uma sequência de três lagos e formação de alagados, que poderão contribuir para a fixação da vegetação. Os lagos proglaciais alteram a dinâmica sedimentar deste ambiente, interrompendo a passagem da água de degelo de uma geleira e reduzindo a velocidade de fluxo de água, causando sedimentação de material erodido (CARRIVICK e TWEED, 2013). O vale Klotz, devido a alta concentração de núcleos de vegetação, também merece destaque em futuros estudos biogeomorfológicos na PF.

5. Considerações finais

A vegetação pode atuar como indicadora da estabilidade da paisagem, visto que sua fixação está ligada às questões geomorfométricas e de processos geomorfológicos e glaciais. Na PF observou-se a predominância da vegetação em plataformas marinhas, praias holocênicas e solos em padrão. Para a porção proglacial, a vegetação se concentrou no vale Klotz, devido à presença de sedimentos selecionados e água de derretimento da geleira Collins. Contudo, observa-se a necessidade de alguns avanços no mapeamento geomorfológico e na identificação de vegetação para o desenvolvimento de estudos biogeo-

morfológicos na PF, como: obtenção de imagens ópticas e MDE com melhor resolução espacial, padronização das geoformas nos mapeamentos e obtenção de parâmetros morfométricos.

Futuras mudanças climáticas irão impactar o sistema glacial da geleira Collins e a porção livre de gelo, o que demanda continuidade no debate desta temática. Destaca-se a importância da água líquida, já que pode contribuir para mobilizar sedimentos, principalmente na porção proglacial, aumentando a interconexão da paisagem e propiciando ou dificultando o crescimento da vegetação, de acordo com a distância em relação à geleira. O vale Klotz, é um exemplo dessa situação, pois já possui uma porção vegetada e tem conexão hidrológica com a geleira Collins, podendo receber maior aporte de água de degelo e sedimentos no futuro.

Como trabalho futuro pode-se focar na identificação de quais são as espécies que ocupam essa área vegetada classificada pelo NDVI visando entender temporalmente como ocorreu a sucessão vegetal. Diferenças na taxa e nas espécies de plantas que colonizam são bioindicadores da dinâmica paraglacial (MOREAU et al. 2008) ou de intensidade de processos de movimentação de material. Por fim, destaca-se a necessidade de realizar estudos determinando em classes distintas os líquens e musgos, visto que ocupam geoformas diferentes em função da quantidade de água e posição topográfica, além de aprofundar discussões acerca da mudança de albedo da superfície em função da expansão da vegetação.

Agradecimentos

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) apoiou este estudo. Agradecemos também ao Projeto 465680/2014-3 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (INCT da Criosfera); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referências

AMESBURY, M. J.; ROLAND, T. P.; ROYLES, J.; HODGSON, D. A.; CONVEY, P.; GRIFFITHS, H.; CHARMAN, D. J. Widespread Biological Response to Rapid Warming on the Antarctic Peninsula, **Current Biology,** v. 27, n. 11, p. 1616-1622, 2017.

ANDRADE, A. M., MICHEL, R. F. M., BREMER, U. F., SCHAEFER, C. E. R. G.& SIMÕES, J. C. Relationship between solar radiation and surface distribution of vegetation in the Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. **International Journal of Remote Sensing**, 39, 2238–2254, 2018.

BALLANTYNE, C. K. A. A general model of paraglacial landscape response. **The Holocene**, v. 12, p. 371–376, 2002a.

BALLANTYNE, C. K. Paraglacial geomorphology. **Quaternary Science Reviews**, v. 21, p. 1935–2017, 2002b.

BLAIR, R. W. Moraine and valley wall collapse due to rapid deglaciation in Mount Cook National Park, New Zealand. **Mountain Research and Development**, v. 14, p. 347–358, 1994.

BRAUN, M.; GOSSMANN, H. Glacial changes in the area of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, Antarctica. *In*: BEYER, L.; BÖLTER, M. **Geoecology of Terrestrial Antarctic Oasis**. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, p. 75–89, 2002.

CANNONE, N., DIOLAIUTI, G., GUGLIELMIN, M., SMIRAGLIA, C. Accelerating climate change impacts on alpine glacier forefield ecosystems in the European Alps. **Ecological Applications**, v. 18, p. 637–648, 2008.

CARRIVICK, J. L.; TWEED, F. S. Proglacial lakes: character, behaviour and geological importance. **Quaternary Science Reviews**, v. 78, p. 34–52, 2013.

CHAVEZ, P. S. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 9, p. 1025–1036, 1996.

COOK, A.J.; HOLLAND, P.R.; MEREDITH, M.P.; MURRAY, T.; LUCKMAN, A.; VAUGHAN, D. G. Ocean forcing of glacier retreat in the western Antarctic Peninsula. **Science**, v. 353, n. 6296, p. 283-286, 2016.

COOK, A.J.; FOX, A.J.; VAUGHAN, D. G.; FERRIGNO, J.G. Retreating Glacier Fronts on the Antarctic Peninsula over the Past Half-Century. **Science**, v. 308, p. 541-544, 2005.

CONGEDO, L. **Semi-automatic classification Plugin documentation.** Release 6.0.1.1. Technical Report, 203 p., 2016.

CONVEY, P.; SMITH, R.I.L. Responses of terrestrial Antarctic ecosystems to climate change. In: Rozema J., Aerts R., Cornelissen H. (eds) Plants and Climate Change. **Tasks for vegetation science**, v. 41. Springer, Dordrecht, 2005.

CURRY, A. M.; CLEASBY, V.; ZUKOWSKY, P. Paraglacial response of steep, sediment-mantled slopes to post-'Little Ice Age' glacier recession in the central Swiss Alps. **Journal of Quaternary Science**, v. 21, p. 211–225, 2006.

EICHEL, J.; CORENBLIT, D.; DIKAU, R. Conditions for feedbacks between geomorphic and vegetation dynamics on lateral moraine slopes: a biogeomorphic feedback window. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 41, p. 406-419, 2016.

EICHEL, J.; DRAEBING, D.; MEYER, N. From active to stable: Paraglacial transition of Alpine lateral moraine slopes. **Land Degradation and Development**, v. 29, p. 4158–4172, 2018.

EICHEL, J.; KRAUTBLATTER, M.; SCHMIDTLEIN, S., DIKAU, R. Biogeomorphic interactions in the Turtmann glacier forefield, Switzerland. **Geomorphology**, v. 201, p. 98–110, 2013.

FRANCELINO, M.R.; SCHAEFER, C.; FERNANDES, F.; PEREIRA, A.B.; SÁ, M. Relação entre geoforma e a cobertura vegetal: um estudo de caso na península Keller, ilha Rei George, Antártica. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Goiânia-GO, p. 6-10, 2006.

FRETWELL, P. T., CONVEY, P., FLEMING, A. H., PEAT, H. J. & HUGHES, K. A. Detecting and mapping vegetation distribution on the Antarctic Peninsula from remote sensing data. **Polar Biology**, v. 34, p. 273–281, 2011.

GONÇALVES, M. A. **Processo de retração nas geleiras do campo de gelo Kraków, Ilha Rei George, Antártica.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 55p, 2018.

HALL, B. Late-Holocene advance of the Collins Ice Cap, King George Island, South Shetland Islands. **The Holocene**, v. 17, p. 1253–1258, 2007.

HOCHSCHILD, V.; STAEBLEIN, G. Geomorpholgische Kartierung der Potter Halbinsel (King George Island) mitoptischen Fernerkundungsdaten und ERS-1-SAR-Daten. In: Goßmann H (Eds.), **Patagonien und Antarktis** –Geofernerkundungmit ERS-1- Radarbildern. Gotha: Perthes, p. 101–117, 1998.

IRVINE-FYNN, T. D. L.; BARRAND, N. E.; PORTER, P. R.; HODSON, A. J.; MURRAY, T. Recent high-Arctic glacial sediment redistribution: a process perspective using airborne lidar. **Geomorphology,** v. 125, p. 27–39, 2011.

JÄGER, D.; WINKLER, S. Paraglacial processes on the glacier foreland of Vernagtferner (Ötztal Alps, Austria). Zeitschrift für Geomorphologie, **Supplementary Issues**, v. 56, p. 95–113, 2012.

KLAAR, M. J.; KIDD, C.; MALONE, E.; BARTLETT, R.; PINAY, G.; CHAPIN, S.; MILNER, A. Vegetation succession in deglaciated landscapes: implications for sediment and landscape stability. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, p. 1088–1100, 2015.

KNIGHT, J.; HARRISON, S. Mountain glacial and paraglacial environments under global climate change: lessons from the past, future directions and policy implications. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, v. 96, p. 245–264, 2014.

LEE, J. R.; RAYMOND, B.; BRACEGIRDLE, D.; CHADES, I.; FULLER, R. A.; SHAW, J. D.; TERAUDS, A. Climate change drives expansion of Antarctic ice-free habitat. **Nature**, v. 547, p. 49–54, 2017.

LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; SERRANO, E.; SCHMID, T.; MINK, S.; LINÉS, C. 2012. Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region), **Geomorphology**, v. 155–156, p. 62–79, 2012.

MATTHEWS, J. A. Disturbance regimes and ecosystem response on recentlydeglaciated terrain. In: Walker, L. R. (Ed.), **Ecosystems of Disturbed Ground**. Ecosystems of the World. Elsevier, Amsterdam, p. 17-37, 1999.

MATTHEWS, J. A. **The Ecology of Recently-deglaciated Terrain:** A Geoecological Approach to Glacier Forelands. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

MÄUSBACHER R. Die Jungkvartare Relief – und KlimageschichteimBereich der Fildeshalbinsel, Süd-Shetland-Inseln, Antarktis: Heidelberger. **Geog Arbeiten**. 89: 207, 1991.

MERCIER, D.; ÉTIENNE, S.; SELLIER, D.; ANDRÉ, M. 2009. Paraglacial gullying of sediment mantled slopes: a case study of Colletthøgda, Kongsfjorden area, West Spitsbergen (Svalbard). **Earth Surface Processes and Landforms,** v. 34, p. 1772–1789.

MICHEL, R. F. M.; SCHAEFER, C. E. G. R., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; SIMAS, F. N. B.; HAUS, N. W.; SERRANO, E.; BOCKHEIM, J. G. Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**, v. 225, p. 76–86, 2014.

MOREAU, M.; MERCIER, D.; LAFFLY, D.; ROUSSEL, E. Impacts of recent paraglacial dynamics on plant colonization: A case study on Midtre Lovénbreen foreland, Spitsbergen (79°N). **Geomorphology**, v. 95, p. 48-60, 2008.

MULVANEY, R.; ABRAM, N. J.; HINDMARSH, R. C. A., ARROWSMITH, C., FLEET, L., TRIEST, J., SIME, L.C., ALEMANY, O. FOORD, S. 2012. Recent Antarctic Peninsula warming relative to Holocene climate and ice-shelf history. **Nature,** v. 489, p. 141–144, 2012.

OLIVEIRA, M. A. G.; PETSCH, C.; ROSA, K. K.; VIEIRA, R.; COSTA, R. M.; PERONDI, C.; SIMÕES, J. C. Inventário de lagos glaciais nas Ilhas Nelson e Rei George, Antártica Marítima. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n.80, p. 119–132, 2021.

OSMANOGLU, B.; BRAUN, M.; HOCK, R.; NAVARRO, F. Surface velocity and ice discharge of the ice cap on King George Island, Antarctica. **Annals of Glaciology**, v. 54, n. 63, p. 111–119, 2013.

PERONDI, C. **Análise da evolução do ambiente proglacial das geleiras Ecology, Sphinx, Baranowski, Tower e Windy, Ilha Rei George, Antártica**. Dissertação (Mestrado) UFRGS, Porto Alegre, p. 123, 2018.

PERONDI, C.; ROSA, K.K.; VIEIRA, R. 2019. Caracterização geomorfológica das áreas livres de gelo na margem leste do campo de gelo Warszawa, ilha Rei George, Antártica Marítima. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, 2019.

PETSCH, C. COSTA, R. M.; ROSA, K. K.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J. C. 2019a. Geomorfologia Glacial e Contexto Paleoglaciológico da Península Fildes, Ilha Rei George, Antártica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 4, p. 795-809, 2019a.

PETSCH, C. COSTA, R. M.; ROSA, K. K.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J. C. Identificação e mapeamento em Mesoescala da Zona Proglacial Da Geleira Collins, Ilha Rei George, Antártica. Quaternary and Environmental Geosciences, v. 10, n.1/2, p. 18-39, 2019b.

PETSCH, C.; SOTILLE, M. E.; COSTA, R. M.; ROSA, K. K.; SIMÕES, J. C. Cambios climáticos y aumento de la vegetación en la Península Fildes, Antártica. **Investigaciones Geográficas**, v. 57, p. 18-31, 2019c.

POELKING, E. L.; ANDRADE, A. M. SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; FERNANDES FILHO, E. I. Vegetation Map of Potter Peninsula, Maritime Antarctica.XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, 2011.

RAFFL, C., MALLAUN, M., MAYER, R., ERSCHBAMER, B. Vegetation succession pattern and diversity changes in a glacier valley, central Alps, Austria. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, v. 38, p. 421–428, 2006.

RAKUSA–SUSZCZEWSKI, S. Functioning of the geoecosystem for the west side of Admiralty Bay (King George Island, Antarctica): Outline of research at Arctowski Station. **Ocean and Polar Research**, v. 25, n. 4, p. 653–662, 2003.

ROSA, K. K., VIEIRA, R., FERRANDO, F.; SIMÕES, J. Erosional landforms and deposition processes product of the degla-

ciation evolution at Wanda Glacier, King George Island. **Pesquisas em Geociências**, v. 36, n. 3, p. 315-326, 2009.

ROSA, K. K.; PETSCH, C.; CAMPANA, A. S.; SIMÕES, C. L.; GONÇALVES, M. A.; VIEL, J. A. Evolução de ambientes proglaciais em resposta às mudanças climáticas. **Anais do XI Simpósio Nacional de Geomorfologia**, SINAGEO. Maringá, PR, 2016.

ROSA, K.K.; PERONDI, C.; VEETTIL, B.K.; AUGER, J.D.; SIMÕES, J.C. Contrasting responses of land-terminating glaciers to recent climate variations in King George Island, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 32, n. 5, p. 398–407, 2020.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Earth Resources Tecnology Satellite** - 1 Symposium, 3. Proceedings. Washington, v. 1, Sec. A, p. 309-317, 1973.

RÜCKAMP, M.; BLINDOW, N. King George Island ice cap geometry updated with airborne GPR measurements. **Earth System Science Data**, v. 4, p. 23–30, 2012.

RÜCKAMP, M.; BRAUN, M.; SUCKRO, S.; BLINDOW, N. Observed glacial changes on the King George ice cap, Antartica, in the last decade. **Global and Planetary Change**, v. 79, p. 99–109, 2011.

SEEHAUS, T.; COOK, A.J.; SILVA, A.B.; BRAUN, M. Changes in glacier dynamics in the northern Antarctic Peninsula since 1985. **Cryosphere**, v. 12, p. 577–594, 2018.

SIMAS, F.N.B.; SCHAEFER, C.; MELO, V. F.; ALBUQUERQUE, M.R.; PEREIRA, M.V.V.; GOMES.M.R.M.; COSTA.L.M. Ornithogenic Cryosols from Maritime Antarctica: phosphatization as a soil forming process. **Geoderma**, v. 138, p. 191–203, 2007.

SIMÕES, C. L.; ROSA, K. K.; CZAPELA, F.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J. C. Collins Glacier retreat process and regional climatic variations, King George Island, Antarctica. **Geographical Review**, v. 105, p. 462–471, 2015.

SIMÕES, J. C.; BREMER, U. F.; AQUINO, F. E.; FERRON, F. E. 1999. Morphology and variations of glacial drainage basins in King George Island ice field, Antarctica. **Annals of Glaciology**, v. 29, p. 220-224.

SMITH, R. I. L. Plant colonisation response to climate change in the Antarctic. **Folia Facultatis Scientiarium Naturalium Universitatis Masarykianae Brunensis**, **Geographia,** v. 25, p. 19-33, 2001.

SOTILLE, M. E.; BREMER, U. F.; VIEIRA, G.; VELHO, L. F.; PETSCH, C.; SIMÕES, J. C. Evaluation of UAV and satellite-derived NDVI to map maritime Antarctic vegetation. **Applied Geography**, v. 125, 102322, 2020.

STEIG, E. J.; SCHNEIDER, D. P.; RUTHERFORD, S. D.; MANN, M. E.; COMISO, J. C.; SHINDELL, D. T. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. **Nature**, v. 457, p. 459-462, 2009.

VIEIRA, R.; MAROTTA, H.; ROSA, K.K.; JAÑA, R.; SIMÕES, C.L.; SOUZA-JÚNIOR, E.; FERREIRA, F.; SANTOS, L.R.; SANTOS, J.V.; PERRONI, M.A.; GONÇALVES, M.; SANTOS, J.P.F.; RODRIGUES, R.I.; GALVÃO, J.C.M.; FELIZARDO J.S. Análisis Sedimentológico y geomorfológico de áreas lacustres en la Península Fildes, Isla Rey Jorge, Antártica Marítima. **Investigaciones Geograficas**, v. 49, p. 3-30, 2015.

VILES, H. A. Biogeomorphology. In: Goudie, A. (Ed.), **Encyclopedia of Geomorphology**. Routledge, London, p. 83–86, 2003.

WATCHAM, E.P.; BENTLEY, M.J.; HODGSON, D.A.; ROBERTS, S.J.; FRETWELL, P.T.; LLOYD, J.M.; LARTER, R.S.; WHITEHOUSE, P.L.; LENG, M.J.; MONIEN, P.; MORETON, S. G. A new Holocene relative sea level curve for the South Shetland Islands, Antarctica. **Quaternary Science Review**, v. 30, p. 21–22, 2011.

MAPA GEOMORFOLÓGICO DO MUNICÍPIO DO RIO DE jANEIRO (ESCALA 1:25.000): O DESAFIO DE CARTOGRAFAR O TECNÓGENO

Marcelo Eduardo Dantas
Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Av.Pasteur, 404,Urca, Rio de Janeiro, RJ – CEP: 22290-240
E-mail: marcelo.dantas@cprm.gov.br
Loury Bastos Mello
Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Av.Pasteur, 404,Urca, Rio de Janeiro, RJ – CEP: 22290-240
E-mail: loury.mello@cprm.gov.br

Resumo

A geomorfologia do município do Rio de Janeiro revela um mosaico de paisagens condicionado pela tectônica Cenozoica e pela variação do nível relativo do mar onde destacam-se maciços costeiros circundados por baixadas fluviomarinhas e planícies marinhas junto ao litoral. Os pressupostos metodológicos para a elaboração do mapa geomorfológico são descritos em Dantas (2013), com base no emprego de Biblioteca de Padrões de Relevo (Dantas, 2016). Para definição dos padrões de relevo, foram adotados os 3º e 4º táxons da metodologia de Ross (1992), com base em interpretação de mosaico de ortofotos digitais acopladas com modelo digital de terreno em escala 1:25.000. Também foram individualizadas as unidades morfoestruturais e morfoesculturais. Por fim, é necessário mapear as alterações impressas na paisagem física, "criando" espaço propício para a expansão urbana. Em síntese, o mapeamento do Tecnógeno é de suma importância para o próprio mapeamento geomorfológico do município do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Mapeamento Geomorfológico; município do Rio de Janeiro; Tecnógeno.

1. Introdução

A cidade do Rio de Janeiro ocupa um sítio urbano peculiar "espremido" entre o mar e a montanha (Bernardes e Segadas-Soares, 1987), apresentando uma notável diversidade geológico-geomorfológica (Guerra, 1965; Novaes Pinto, 1965). Todavia, os espaços planos e bem drenados são relativamente exíguos. Desde meados do século XIX e ao longo de praticamente todo o século XX, quando a cidade experimenta um vertiginoso crescimento populacional, setores excluídos da sociedade são impelidos a ocupar as vertentes íngremes dos sopés dos maciços costeiros ou dos terrenos embrejados das baixadas fluviomarinhas (Segadas-Soares, 1965). A ocorrência de desastres sociais (não naturais) decorrentes de chuvas intensas têm sido registrados no município do Rio de Janeiro desde o início do século XX (Brandão, 1992).

Historicamente, o processo de crescimento da malha urbana envolveu obras de conquista do espaço urbano via retificação e canalização de rios, aterramento de mangues e lagoas; cortes de encostas e abertura de túneis; e mesmo mudanças mais radicais como remoção e arrasamento de morros e grandes aterros sobre a baía de Guanabara. Entretanto, a Geomorfologia da cidade do Rio de Janeiro tem uma importância tão relevante na configuração da sociedade carioca que, de certa forma, influenciou na segregação socioespacial da cidade desde os fins do século XIX, onde as camadas mais abastadas da população seguiram as linhas de bonde em direção à Zona Sul e a população mais humilde e os setores excluídos da sociedade seguiram os trilhos das linhas de trem, em direção à zona Norte (Abreu, 1987). O maciço da Tijuca impôs-se como um imponente limite natural entre as duas distintas frentes de expansão urbana e como um importante entrave para a expansão da metrópole em direção à Baixada de Jacarepaguá até a década de 1970.

Assim sendo, num cenário de um território drasticamente alterado para a implantação da metrópole carioca, há a necessidade de se ressaltar e mapear as profundas alterações antropogênicas impressas na paisagem física que produziram o sítio urbano propício para a expansão da cidade. Em síntese, o mapeamento do Tecnógeno é de suma importância para o próprio mapeamento geomorfológico do município do Rio de Janeiro, com destaque para a cartografia dos aterros sobre a Baía de Guanabara; dos aterros sanitários; das frentes de lavra de mineração (principalmente pedreiras e saibreiras para suprimentos de agregados para construção civil) e de esplanadas de desmonte de morros (com destaque para as esplanadas do Castelo, de Santo Antônio, da Cruz Vermelha, situadas na área central da cidade e do Inhangá, esta última, em Copacabana).

O mapa geomorfológico do município do Rio de Janeiro, que abrange uma área de 1.255 km2, foi cartografado em escala de 1:10.000 para atender às demandas de mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa e inundação com um nível de precisão cartográfica de grande detalhe que fosse compatível com o grande acúmulo de conhecimento gerado por instituições municipais do porte da Geo-Rio e Rio Águas e de diversas universidades públicas, tais como a UFRJ, a UERJ, a UFF e a Universidade Rural. Sendo assim, este mapeamento foi concebido para ser o mais detalhado produto de cartografia geomorfológica do município do Rio de Janeiro, visando ser aplicável para os mais diversos estudos de gestão ambiental e planejamento territorial.

2. Área de estudo

A geomorfologia do município do Rio de Janeiro, assim como a de sua hinterlândia, apresenta uma notável herança advinda de uma tectônica Cenozoica, fato este já observado desde os estudos de Ruellan (1944), visto que o famoso catedrático francês já ressaltava, com os rudimentares recursos cartográficos

de sua época, os expressivos desnivelamentos topográficos existentes entre os maciços costeiros, a Baixada Fluminense e a serra do Mar, além das reentrâncias representadas pelas baías da Guanabara e de Sepetiba. Ruellan afirmava então que a serra do Mar consistia numa frente dissecada de bloco de falha.

Posteriormente, estudos de geologia e estrutural estabelecidos no âmbito do Projeto Remac (Asmus e Ferrari, 1978) contextualizava o relevo da fachada atlântica da região metropolitana do Rio de Janeiro como um sistema de blocos falhados em *horsts* e *grabens* de uma margem passiva da Placa Sul-Americana. Ferrari (1990, 2003) aprimora essa contextualização tectônica e enquadra grande parte da região metropolitana do Rio de Janeiro no denominado Gráben da Guanabara, embutido entre os maciços costeiros e o front da serra do Mar. No município do Rio de Janeiro, destacam-se, os maciços costeiros da Tijuca e da Pedra Branca, sustentados por rochas ígneo-metamórficas de idade neoproterozoica da Faixa Ribeira; o maciço do Mendanha-Gericinó, constituído por um plúton cretácico de rochas alcalinas; e, a partir desses terrenos montanhosos, se espraiam as baixadas fluviomarinhas da Guanabara, de Jacarepaguá e de Sepetiba, todas pontilhadas de relevos residuais, tais como colinas, morros e pequenas serras isoladas; e por fim, as planícies marinhas que orlam toda a linha de costa, do Leme à restinga da Marambaia. Os processos de entulhamento dessas baixadas fluviomarinhas, assim como a formação dos terraços marinhos estão intimamente associados às flutuações hidroeustáticas do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior (Amador, 1997; Muehe e Valentini, 1998; Fernandez e Rocha, 2015).

3. Metodologia

O mapa geomorfológico do município do Rio de Janeiro foi produzido em escala de semidetalhe (1:25.000) (figura 01) com base na identificação e compartimentação do município do Rio de Janeiro em unidades morfoestruturais, unidades morfoesculturais e unidades geomorfológicas, seguindo metodologia preconizada por Ross (1992). A cartografia geomorfológica é, por sua vez, baseada numa compartimentação morfológica e morfométrica de unidades homólogas, com emprego de Biblioteca de Padrões de Relevo, enfatizando uma mensuração sistemática de amplitudes de relevo, declividade das vertentes e densidade de drenagem (Dantas, 2013 e 2016). A análise morfológica foi obtida a partir da avaliação empírica dos diversos conjuntos de formas e padrões de relevo posicionados em diferentes níveis topográficos, por meio de observações de campo e análise de sensores remotos (Ortofotos e MDE com resolução espacial de 5 metros - IBGE,2010).

Com o intuito de melhorar a visualização dos terrenos, procurou-se realçar as áreas de planícies, bem como as áreas de topo das elevações. Através das ferramentas do GlobalMapper 7.0 aplicou-se uma sobreposição do Modelo Digital de Elevação (MDE), pseudo iluminado (slope shader), com as ortofotos gerando maiores contrastes nessas duas posições do relevo, resultando em uma maior facilidade na separação dessas unidades, principalmente nas áreas de baixadas e fundos de vale (Shinzato et al., 2012). As unidades geomorfológicas foram digitalizadas em tela, utilizando-se o software ArcGis 10.2. Os produtos gerados a partir do tratamento digital das imagens e do MDE foram: declividade; hidrografia; curvas de nível com equidistância de 5 metros); relevo sombreado com duas direções de visada – NE e NW; e hipsometria, conforme já proposto por Dantas et al, 2014.

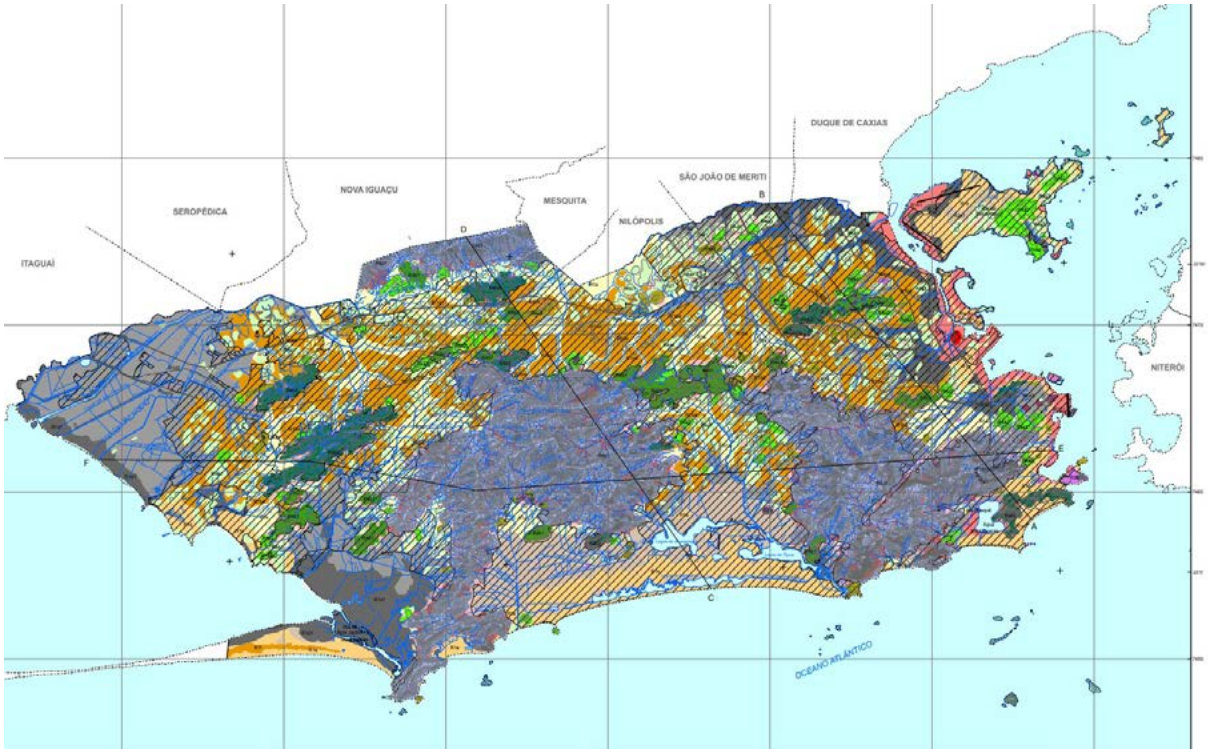


FIGURA 1: Mapa geomorfológico do município do Rio de Janeiro.
Fonte: Meio digital, shapefile em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21211.

Por fim, ressalta-se uma abordagem metodológica peculiar para proceder a reconstituição histórica da transformação do espaço físico carioca decorrente das sucessivas e cumulativas intervenções humanas executadas em função da expansão da metrópole. Assim sendo, o mapeamento de uma área densamente urbanizada e transformada ao extremo pela ação humana ao longo de cinco séculos requer novas abordagens, que foram introduzidas para a elaboração desse mapa geomorfológico, destacando-se:

a) o uso intensivo do Google Earth, Google Maps e Street View.

b) o emprego de uma minuciosa pesquisa bibliográfica e cartográfica acerca do município do Rio de Janeiro, com ênfase nos seguintes autores: Maia et al. (1984); Elmo Amador (1997); Maurício de Abreu (1989); Roncarati e Neves (1976), Roncarati e Barrocas (1978), IPP (2008); Pereira et al. (2012) e o mapa pedogeotécnico da Embrapa (Mendonça-Santos et al., 2009).

c) o emprego de fotografias, imagens e mapas históricos para reconstituição dos ambientes naturais, anteriormente às radicais transformações empreendidas por sucessivos eventos de urbanização.

d) a utilização de plataformas de mapas históricos e animações gráficas que permitem reconstituir a evolução histórica do sítio urbano e as transformações ambientais decorrentes do processo de urbanização da cidade do Rio de Janeiro (Figura 02).

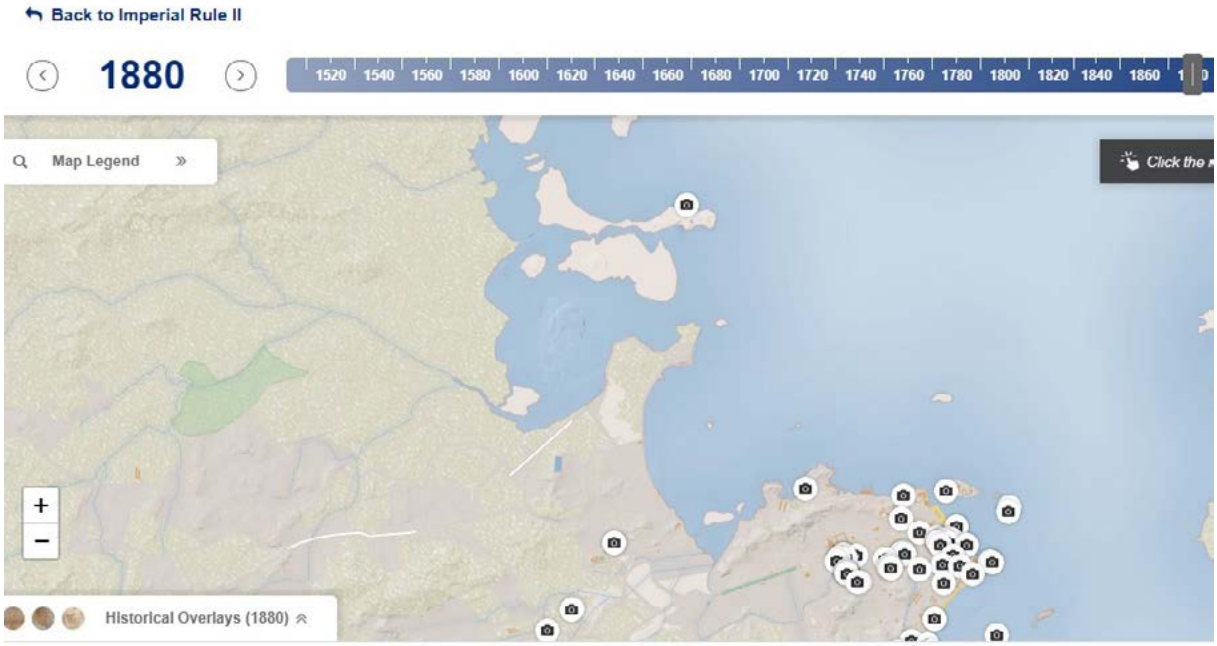


FIGURA 2: Utilização da Plataforma ImagineRio com imagem remontando a 1880 para reconstituição da configuração original da enseada de Inhaúma e do Saco de São Diogo, em fase anterior ao processo de aterramento desses segmentos da orla da baía de Guanabara.
Fonte: Meio digital https://imaginerio.org/?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com.br#en/1939/16/-22.904028215313716/-43.1879210472107/all/

4. Resultados e Discussões

O município do Rio de Janeiro está compartimentado em sete unidades geomorfológicas que serão descritas sistematicamente, enfatizando padrões de relevo dominantes, sua gênese e evolução morfogenética e as transformações tecnogênicas:

4.1 Maciço da Tijuca

O maciço da Tijuca ocupa a porção centro-leste do município e consiste num imponente maciço montanhoso, circundado pelas baixadas da Guanabara, de Jacarepaguá e da Zona Sul. Está sustentado por um substrato geológico diversificado composto por paragnaisses, ortognaisses e rochas granitoides de idade Neoproterozoica (Heilbron et al., 2016). Os picos mais elevados, (Pico da Tijuca, 1.021 metros; Pico do Papagaio, 989 metros; Pedra da Gávea, 842 metros) são constituídos por pontões ou lacólitos graníticos que se sobressaem em meio ao relevo acidentado e florestado de vertentes íngremes, frequentemente recobertas por depósitos de colúvios e tálus. Ressalta-se uma rede de canais de canais de alta densidade de drenagem e marcante controle estrutural, tal como observado ao longo dos vales dos rios da Cachoeira e Maracanã, ambos condicionados por um lineamento de direção NE-SW.

Este maciço divide as zonas sul, norte e oeste, atuando como zona dispersora de águas entre as baixadas da Guanabara e de Jacarepaguá e caracteriza-se por alinhamentos de cristas de direção WSW-ENE, tais como a Serra da Carioca onde se situa o pico do Corcovado (704 metros). Destacam-se ainda pequenos alinhamentos serranos associados, tais como o alinhamento Morro dos Cabritos (379 metros) – Pão de Açúcar (395 metros), disposto paralelamente à serra da Carioca. Prolongamentos em direção a NE, junto aos bairros de Santa Teresa e Glória, ressaltam o aspecto bastante dissecado desse maciço, já desfeito em um relevo de morros alinhados. (Dantas, 2000).

Praticamente toda a área do Maciço da Tijuca foi devastada no início do século XIX, para plantação de cafezais, e reflorestada por volta de 1860, devido a sérios problemas ambientais decorrentes do desflorestamento. Destacam-se, nesse contexto: a erosão das encostas, o assoreamento dos rios e a subsequente escassez de água para o abastecimento urbano. Essa floresta secundária de 150 anos de existência é palco de muitos estudos de cunho geomorfológico e geoecológico, que demonstram a importância da estrutura e funcionalidade da cobertura florestal na regularização da hidrologia das encostas e no controle dos movimentos de massa (Coelho Netto, 1992, 2005; Rocha Leão 1997, Fernandes et al., 2006; Negreiros et al., 2006, dentre outros).

Assim como os outros maciços costeiros, o maciço da Tijuca apresenta um alto potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão e movimentos de massa. Durante os eventos extremos de 1966/67 e 1988, foram registrados nas bacias dos rios da Carioca e Maracanã (Mousinho & Silva, 1968); em 1996, foram registrados nas bacias dos rios Quitite e Papagaio, em Jacarepaguá (Cruz *et al.*, 1998; Fernandes *et al.*, 2001; Vieira e Fernandes, 2004); e em 2010, as encostas de Santa Teresa foram as mais atingidas (Coelho Netto et al., 2012). Deste modo, bairros situados no sopé de suas vertentes íngremes, tais como Jardim Botânico, Humaitá, Cosme Velho, Santa Teresa, Tijuca, Grajaú e Freguesia, além de comunidades como a Rocinha e o Vidigal estão sujeitas a sofrer o impacto de enxurradas, deslizamentos e corridas de massa de grande magnitude provenientes das encostas do maciço montanhoso.

Devido ao fato de o maciço estar junto ao núcleo histórico da metrópole carioca, este sofre uma intensa pressão urbana por todos os setores, resultando na degradação da cobertura vegetal. Esse processo se desenvolve por meio de desmatamentos, queimadas ou favelização, com maior intensidade na vertente norte (expansão da malha urbana dos núcleos urbanos da Tijuca e do Méier) e, mais recentemente, na vertente oeste (expansão da malha urbana de Jacarepaguá) (Fernandes *et al.*, 1998).

A despeito da expressiva transformação humana sobre a paisagem natural do Maciço da Tijuca, tais alterações não foram suficientes para gerar formações tecnogênicas.

4.2 Maciço da Pedra Branca

O maciço da Pedra Branca situa-se na Zona Oeste do município e, assim como o Maciço da Tijuca, consiste num imponente maciço montanhoso, circundado pelas baixadas de Sepetiba e de Jacarepaguá. Está sustentado, predominantemente, por rochas granitoides tarditectônicas de idade Cambriana (Heilbron et al., 2016). Destaca-se nesse maciço o ponto culminante do município do Rio de Janeiro (Pico da Pedra Branca, 1.024 metros) que se salienta como um pontão granítico em meio às vertentes íngremes e florestadas. Seu prolongamento a sudoeste consiste num extenso alinhamento de direção SW-NE, que atinge diretamente o oceano, junto às localidades de Grumari e Barra de Guaratiba. Destacam-se também os alinhamentos serranos isolados das serras do Cantagalo (254 metros) e da Paciência (202 metros), de direção WSW-ENE, sendo contrafortes do Maciço da Pedra Branca no interior da Baixada de Sepetiba (Dantas, 2000).

Extensas áreas do Maciço da Pedra Branca foram desmatadas em prol do ciclo do carvão durante o século XIX, destinado a prover a cidade de carvão vegetal (Oliveira & Fraga, 2011). A partir de 1960, o maciço da Pedra Branca passa a sofrer o incremento da pressão urbana em suas baixas encostas, com alta suscetibilidade a movimentos de massa e enxurradas, principalmente em suas vertentes leste (Jacarepaguá) e norte (Realengo, Bangu e Campo Grande). Na vertente norte, a floresta foi completamente substituída por vegetação de gramíneas.

Frentes de lavras de pedreiras para fornecimento de brita são registrados no sopé das vertentes íngremes do maciço da Pedra Branca o que denota, localmente, uma radical alteração da paisagem natural, representando formações tecnogênicas mapeáveis em escala de 1:25.000 (figura 03). Estas pedreiras, ativas ou abandonadas, também ocorrem em menor expressão no maciço da Tijuca e em outras pequenas serras e morros. A virtual expansão urbana em direção a esplanadas de pedreiras abandonadas pode acarretar na geração de novas áreas de risco.

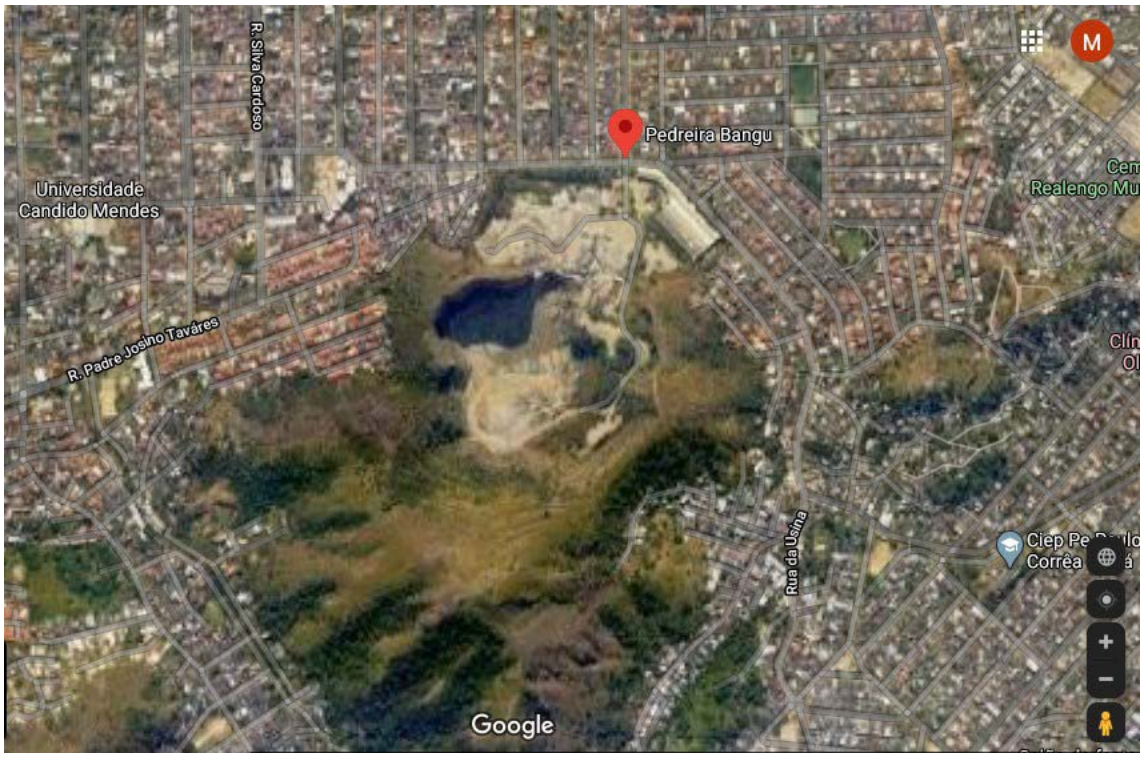


FIGURA 3: Identificação de frentes de lavra de pedreira na vertente norte do maciço da Pedra Branca com utilização do programa Google Earth.

4.3 Maciço do Gericinó

O maciço do Gericinó ocupa uma porção do norte do município, perfazendo limites com os municípios de Mesquita e Nova Iguaçu. Consiste num maciço montanhoso intrusivo e isolado, com formato dômico, alongado na direção WSW-ENE, atingindo 940 metros de altitude e delimita-se abruptamente com as baixadas fluviomarinhas circunjacentes, pontilhadas por colinas e morrotes isolados (Dantas, 2000). Está sustentado por um plúton de rochas ígneas de composição alcalina de idade Neocretácica (Heilbron et al., 2016). O Morro de Marapicu (620 metros) integra essa unidade e consiste numa intrusão localizada um pouco a sudoeste do corpo intrusivo principal, apresentando uma morfologia de um neck subvulcânico, preservando estruturas anelares. A unidade apresenta um alto potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, sendo estes, diversas vezes, desencadeados pela degradação da cobertura florestal, inicialmente, em virtude do aproveitamento agrícola e, posteriormente, devido à crescente pressão urbana a que o maciço é submetido. Esse processo verifica-se em sua vertente sul (expansão das malhas urbanas de Bangu e de Campo Grande), onde vem se acentuando o desmatamento das baixas encostas.

4.4 Baixada de Sepetiba e Restinga da Marambaia

A baixada de Sepetiba, situada na Zona Oeste do município, abrange sua porção ocidental a oeste do maciço da Pedra Branca, sendo gerada por eventos deposicionais cumulativos de idades pleistocênica e holocênica, que preencheram o recôncavo da baía de Sepetiba. Tal processo de formação desta vasta baixada gerou um complexo mosaico de ambientes deposicionais que incluem planícies de maré (mangues); planícies fluviomarinhas (brejos) e planícies de inundação (várzeas), além das baixadas alúvio-coluvionares das bacias dos rios Guandu, da Prata, Guandu do Sena, Piraquê e do Portinho. A baixada de Sepetiba consiste numa extensa superfície plana com nível freático raso a subaflorante, estando pontilhada de colinas, morros baixos isolados, além de morrotes alinhados e pequenas cristas serranas entre os bairros de Pedra de Guaratiba e Sepetiba a Santa Cruz e Campo Grande.

A baixada de Sepetiba experimenta, a partir de meados do século XX um acelerado processo de expansão da malha urbana, acarretando na instalação de bairros em áreas de risco à inundação, sendo Jardim Maravilha, o exemplo mais emblemático. A despeito desse processo de franca urbanização, extensos manguezais e apicuns remanescem no fundo de baía de Sepetiba, entre Pedra e Barra de Guaratiba e a porção interna da Restinga de Marambaia. Esta extensa restinga, que consiste numa unidade geomorfológica singular, caracteriza-se por um extenso cordão litorâneo que separa a baía do oceano, apresentando áreas com campos de dunas resultantes de remobilização eólica da barreira arenosa.

4.5 Baixada de Jacarepaguá

A baixada de Jacarepaguá ocupa a porção meridional da Zona Oeste do município, entre os maciços da Tijuca e da Pedra Branca. Assim como para as demais planícies fluviomarinhas, os eventos de regressão e transgressão do nível relativo do mar são determinantes para sua configuração morfológica original. Assim sendo, a baixada de Jacarepaguá exibe um mosaico diversificado de ambientes deposicionais onde se destaca, próximo à linha de costa, correspondendo à Barra da Tijuca, um sistema lagunar com duas barreiras arenosas ancoradas entre as pontas do Joá e da Prainha, intercaladas planícies lagunares (brejos) que representam baixadas inundáveis resultantes da colmatação de parte das atuais lagunas. A sua retaguarda, em Jacarepaguá, desenvolve-se uma baixada alúvio-coluvionar composta pelos rios Camorim, Grande, Anil, Arroio Pavuna e Arroio Fundo, pontilhada de colinas e morros baixos isolados.

A baixada de Jacarepaguá experimenta, a partir de 1970 um acelerado processo de expansão da malha urbana, sendo caracterizado como o principal vetor de crescimento da cidade do Rio de Janeiro. A expansão urbana desordenada gerou graves problemas socioambientais em comunidades como Cidade de Deus e Rio das Pedras, implantados em áreas suscetíveis à inundação. Também despontam os graves problemas geotécnicos ocorridos na construção de conjuntos de edifícios sobre os “solos moles” da planície lagunar expressos por meios de recalques e afundamentos. Entretanto, são os corpos lagunares que sofrem o processo de degradação mais intenso na região, devido ao lançamento de grandes quantidades de esgoto e detritos, associado à baixa capacidade de renovação de suas águas (Dantas, 2000).

4.6 Baixada da Guanabara

A baixada de Guanabara, situada na Zona Norte do município, abrange sua porção oriental a norte do maciço da Tijuca, sendo também gerada por eventos deposicionais quaternários que preencheram o recôncavo da baía de Guanabara. Os ambientes deposicionais que modelam a baixada da Guanabara são repre-

sentados por planícies de maré (mangues); planícies fluviomarinhas (brejos) e planícies de inundação (várzeas) dos rios Sarapuí, Pavuna, Acari, Irajá, Faria-Timbó e Maracanã. No entanto, ressalta-se como a feição morfológica dominante as extensas áreas recobertas pelas baixadas alúvio-coluvionares. Estes terrenos consistem de superfícies deposicionais de origem mista que preenche os setores rebaixados do gráben da Guanabara (Ferrari, 1990), nas baixadas de Sepetiba, da Guanabara e que se estende pela Baixada Fluminense (Dantas, 2000) podendo ser correlacionáveis à Formação Caceribu, descrita por Amador (1980). A baixada da Guanabara apresenta-se pontilhada de colinas, morrotes e morros baixos isolados, além de pequenas cristas e morros alinhados como a serra do Engenho Novo (180 a 210 metros) que divide as bacias dos rios Maracanã e Faria-Timbó e a serra da Misericórdia (170 a 250 metros), onde estão implantados os complexos do Alemão e da Penha.

Vastos aterros sobre a baía de Guanabara foram implantados desde o início do século XX, destacando-se o desaparecimento da antiga enseada de Inhaúma, da praia de Maria Angu e da criação da Ilha do Fundão e do aeroporto do Galeão, representando depósitos tecnogênicos mapeáveis em escala de 1:25.000.

De modo geral, todas essas baixadas fluviomarinhas apresentam um estágio avançado de degradação socioambiental, apresentando graves problemas decorrentes do expressivo "inchaço populacional" verificado nas últimas décadas. A degradação instalada é proveniente da má disposição de resíduos sólidos, da falta de saneamento básico, do desmatamento das encostas, do assoreamento dos canais e da ocupação inadequada do solo, dentre os principais problemas (Dantas, 2000).

4.7 Baixadas do Centro e da Zona Sul

As baixadas situadas no Centro e na Zona Sul do município, densamente urbanizadas e objeto de maior valorização imobiliária, sofreram as mais profundas alterações em seu espaço geográfico. Devido a isto, o mapeamento geomorfológico destes terrenos torna-se muito penoso devido a extrema dificuldade de reconstituir os ambientes deposicionais pretéritos. Destacam-se planícies de maré (mangues); planícies fluviomarinhas (brejos); planícies de inundação (várzeas) dos rios Carioca e dos Macacos; e planícies marinhas dos arcos praiais do Flamengo, Leme-Copacabana e Ipanema-Leblon.

Importantes aterros sobre o espelho d'água da baía de Guanabara foram implantados desde o início do século XX, destacando-se o desaparecimento do Saco de São Diogo e a construção do Aterro do Flamengo (figura 04), do Cais do Porto, do bairro da Urca e do entorno da lagoa Rodrigo de Freitas, além da obra de engorda da praia de Copacabana. Tais aterramentos foram construídos a partir do desmonte dos antigos morros do Centro constituídos de espessos regolitos de rocha alterada de biotita-gnaisse (Castelo, Santo Antônio e Senado) (figura 05). Atualmente, existem esplanadas utilizadas para a expansão urbana no próprio centro da cidade. Todas estas formações tecnogênicas também são mapeáveis em escala de 1:25.000.



FIGURA 4: Reconhecimento do Aterro do Flamengo implantado sobreo espelho d'água da baía de Guanabara com utilização do aplicativo Google Street View.

5. Considerações finais

O município do Rio de Janeiro apresenta uma notável diversidade geomorfológica representada por imponentes maciços costeiros com vertentes íngremes e predominantemente florestadas, sustentados por litologias de distintas composições, assim como por extensas planícies fluviomarinhas e marinhas constituídas por um complexo mosaico de ambientes deposicionais quaternários podendo apresentar gêneses gravitacional, aluvial, marinho ou transicional.

Todavia, a execução de um mapeamento geomorfológico em uma metrópole densamente urbanizada que apresenta um acúmulo secular de sucessivas intervenções humanas sobre o meio físico revela-se extremamente difícil, sendo necessário o emprego de novas e algumas inusitadas ferramentas de análise, tais como: a utilização de programas e aplicativos como o Google Earth, e o Street View; e o resgate histórico do processo de transformação do espaço natural com emprego de fontes históricas (cartográficas ou documentais), fotografias antigas e, se possível, de plataformas de mapas históricos.

A reconstituição do meio físico original do município do Rio de Janeiro e a determinação e mapeamento de suas formações tecnogênicas são de grande relevância para dar suporte para estudos de gestão ambiental e planejamento territorial, incluindo o Plano Diretor Municipal. A partir dessa reconstituição, é possível determinar áreas com maior propensão a eventos de inundação e movimentos de massa ou áreas de maior fragilidade ambiental, bem como fornecer subsídios para estudos de geologia de engenharia para expansão ou consolidação da malha urbana.



FIGURA 5: Fotografia da esplanada do morro do Castelo em 1930, poucos anos após seu desmonte, onde se destaca o imenso vazio urbano em meio ao casario do século XIX e início do século XX. Esta esplanada posiciona-se entre 5 a 8 metros acima do nível de base das planícies em seu entorno. Observa-se, à esquerda, uma extensa área recém-aterrada junto à Baía de Guanabara.
Fonte: **Holland, S.H.** Esplanada do Castello, Mercado Municipal, Baia de Guanabara etc. Rio de Janeiro: [s.n.], [1930?]. 1 fotografia, p&b. Disponível em: <http://brasilianafotografica.bn.br/brasiliana/handle/bras/2855>. Acesso em: 04 maio 2016.

Referências

ABREU, M. A. **Evolução Urbana do Rio de Janeiro**. Instituto Pereira Passos – IPP, Rio de Janeiro, 1987.

AMADOR, E. S. Unidades sedimentares cenozóicas do Recôncavo da baía da Guanabara. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, IBGE, vol. 52, n.4, p. 742-762, 1980.

AMADOR, E. S. **Baía da Guanabara e ecossistemas periféricos**: homem e natureza. Ed. Reproarte Gráfica e Editora, Rio de Janeiro, 1997.

ASMUS, H. E.; FERRARI, A. L. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região Sudeste do Brasil. In: PETROBRAS. Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste e Sudeste do Brasil (*Série Projeto REMAC*, **4**), Rio de Janeiro, p. 75-88, 1978.

BERNARDES, L. M. C.; SEGADAS SOARES, M. T. **Rio de Janeiro – cidade e região**. Biblioteca carioca, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Secretaria Municipal de Cultura, Departamento Geral de Documentação e Informação Cultural, 1987.

BRANDÃO, A. M. P. M. As Alterações Climáticas na área Metropolitana do Rio de Janeiro: uma provável influência do crescimento urbano. In: ABREU, M. A. (org.) **Natureza e Sociedade do Rio de Janeiro**, Biblioteca Carioca, Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esportes, Rio de Janeiro, p.143-200, 1992.

COELHO NETTO, A. L. O geoecossistema da floresta da Tijuca In: ABREU, M. A. (org.) **Natureza e Sociedade do Rio de Janeiro**, Biblioteca Carioca, Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esportes, Rio de Janeiro, p.104-142, 1992.

COELHO NETTO, A. L. A Interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no maciço da Tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, FFLCH-USP, p. 46-60, 2005.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; SATO, A.M.; DIAS, M. A.; SCHLEE, M. B.; NEGREIROS, A. B. Vulnerabilidade em geoecossistemas montanhosos e desastres causados por deslizamentos na interface Floresta-urbana: controles geológicos, geomorfológicos e geoecológicos. In: LACERDA, W. A.; PALMEIRA, E. M.; COELHO NETTO, A. L.; EHRLICH, M. (eds.). **Desastres naturais: suscetibilidade e riscos, mitigação e prevenção, gestão e ações emergenciais**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012. v. 1, p. 63-80.

CRUZ, E. S.; VILELA, C. L.; AZEREDO, M.; COELHO NETTO, A. L. Influência da geomorfologia e da vegetação nas cicatrizes geradas por movimentos de massa no maciço da Tijuca-RJ. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2, 1998, Florianópolis, ***Anais...*** Florianópolis: UGB, 1998, p.359-363.

DANTAS, M. E. Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro. In: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. Brasília, CPRM, 2000. Mapa. CD-ROM. 63p.

DANTAS, M. E. Análise de padrões de relevo: um instrumento aplicado ao mapeamento da Geodiversidade. In: Bandeira I.C.N. (ed.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão**, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, cap. 10, Teresina, p. 133-140, 2013.

DANTAS, M. E. Biblioteca de padrões de relevo: carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação. Rio de Janeiro: CPRM, 67p., 2016. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16589>. Acesso em: 06/03/2020.

DANTAS M. E., SHINZATO E., RENK J. F. C., MORAES J. M., MACHADO M. F., NOGUEIRA A. C. O emprego da geomorfologia para avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação – Mimoso do Sul/ ES. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, vol.4, n.2, p. 23-42, 2014.

FERNANDES, M. C.; ROSAS, R. O.; COELHO NETTO, A. L. Análise dinâmica do uso e cobertura do solo do maciço da Tijuca-RJ: subsídios ao entendimento dos vetores de transformação. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2, 1998, Florianópolis, ***Anais...*** Florianópolis: UGB, 1998, p. 304-307.

FERNANDES, M. C.; AVELAR, A.S.; COELHO NETTO, A. L. Domínios geo-hidroecológicos do Maciço da Tijuca/RJ. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 122-148, 2006.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, vol. 2, n. 1, (Jan-Mar), p. 51-71, 2001.

FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B. Barreiras costeiras holocênicas: geomorfologia e arquitetura deposicional no litoral do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, vol.16, n.2, (Abr-Jun) p.301-319, 2015.

FERRARI, A. L. A geologia do "rift" da Guanabara (RJ) da sua porção centro-ocidental e sua relação com o embasamento Pré-Cambriano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal, ***Anais...*** Natal, v.6, SBG, 1990, p.2858-2871.

FERRARI, A. L. **Evolução tectônica do gráben da Guanabara**. 2001. 412 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2001.

GUERRA, A. T. Paisagens físicas do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, IBGE, vol. 27, n.4, (Out-Dez), p. 539-568, 1965.

HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. (Org.). **Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM, 2016. 1 mapa. Escala 1:400.000. Programa geologia do Brasil. Mapas geológicos estaduais. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18458>. Acesso em: 03/03/2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Modelo Digital de Elevação do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

IPP. Instituto Pereira Passos. Áreas da cidade passíveis à alagamentos pela elevação do Nível do Mar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Instituto Pereira Passos, Rio de Janeiro, 2008, 53 p.

MAIA, M. C. A. C.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M. Evolução holocênica da planície costeira de Jacarepaguá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro, ***Anais...*** Rio de Janeiro, v.1, SBG, 1984, p. 105-118.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; ANTUNES, F.S.; CALDERANO, S.; SANTOS, H. G.; POLIVANOV, H. CAMPOS, T. M. P.; ZARONI, M. P.; DONAGEMMA, G. K.; AMARAL, C. P. **Correlação pedológico-geotécnica do município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. Embrapa Solos (Série Documentos EMBRAPA), 2009, 42p.

MOUSINHO M. R., XAVIER DA SILVA J. Considerações geomorfológicas a propósito dos movimentos de massa ocorridos no Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, IBGE, vol. 30, n.1, (Jan-Mar), p.55-72, 1968.

MUEHE, D.; VALENTINI, E. **O Litoral do estado do Rio de Janeiro**: uma caracterização físico-ambiental. Rio de Janeiro. FEMAR- Fundação de Estudos do Mar, 1998, 123p.

NEGREIROS, A. B.; BARRETO, M. L.; MIGUEL, F. L. C. G.; COELHO NETTO, A. L. Reestruturação florestal e resultante hidrológica em clareira de deslizamento: alto vale do rio dos Macacos, Parque Nacional da Tijuca, RJ. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. ***Anais...*** Goiânia: UGB, 2006. 11 p.

NOVAES PINTO, M. A cidade do Rio de Janeiro: Evolução física e humana. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, IBGE, vol. 27, n.2, (Abr-Jun), p. 191-232, 1965.

OLIVEIRA, R. R.; FRAGA, J. S. Metabolismo social de uma floresta e de uma cidade: paisagem, carvoeiros e invisibilidade social no Rio de Janeiro dos séculos XIX e XX. **GEOPUC – Revista do Departamento de Geografia da PUC-Rio** v.4, n.7, p. 1-18, 2011.

PEREIRA, E.; BRAGA, P. M. C.; MENDES, C. T.; BERGAMASCHI, S. Sedimentação Quaternária na planície costeira de Jacarepaguá e Guaratiba (estado do Rio de Janeiro). In: Rodrigues, M. A. C.; Silvia, D. P.; Santos, S. B. (eds.) **Baía de Sepetiba: Estado da Arte**. Editora Corbã, Rio de Janeiro, p.63-82.

ROCHA LEÃO, O. M. **Potencialidades e limitações da revegetação no controle da hidrologia e erosão superficial, maciço da Tijuca –RJ**, Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 142p.

RONCARATI, H. & BARROCAS, S. L. S. **Projeto Sepetiba:** estudo geológico preliminar dos sedimentos recentes superficiais da baía de Sepetiba - Municípios do Rio de Janeiro, Itaguaí e Mangaratiba - RJ. PETROBRAS-CENPES-DEXPRO Rio de Janeiro, 1976, 35 p.

RONCARATI, H.; NEVES, L. E. **Projeto Jacarepaguá**: estudo geológico preliminar dos sedimentos recentes superficiais da baixada de Jacarepaguá, Município do Rio de Janeiro – RJ. PETROBRAS-CENPES-DEXPRO Rio de Janeiro, 1976, 89 p.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH-USP, vol. 6, p.17-29, 1992.

RUELLAN, F. Evolução geomorfológica da baía de Guanabara e das regiões circunvizinhas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, IBGE, vol. 4, n.4, (Out-Dez), p. 455-508, 1944.

SEGADAS-SOARES, M. T. Fisionomia e estrutura do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, IBGE, vol. 27, n.3, (Jul-Set), p. 329-387, 1965.

SHINZATO E., RENK J. F. C., DANTAS M. E., TEIXEIRA W. G., VARGAS L. Geotecnologia 3D na compartimentação geomorfológica das bacias hidrográficas dos rios Macacu e Caceribu - Recôncavo da Baixada da Guanabara /RJ. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9, 2012, Rio de Janeiro, ***CdRom...,*** UGB, 2012, 5p.

VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N. F. Landslides in Rio de Janeiro: the role played by variations in soil hidraulic condutivity. **Hydrological Processes**, v.18, p.791-805, 2004

MAPEAMENTO ATUALIZADO DA ÁREA DE COBERTURA GLACIAL NA ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA PARA O ANO DE 2020

Júlia Lopes Lorenz
Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: jlopeslorenz@gmail.com
Kátia Kellem da Rosa
Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: katia.rosa@ufrgs.br
Carina Petsch
Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima 1000, 97105-900 Santa Maria, RS, Brasil.
E-mail: carinapetsch@gmail.com
Rosemary Vieira
Laboratório de Processos Sedimentares e Ambientais, Universidade Federal Fluminense
Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 24210-346 Niterói, RJ, Brasil
E-mail: rosemaryvieira@id.uff.br

Cleiva Perondi
Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: cleivaperondi@gmail.com
Jefferson Cardia Simões
Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil
E-mail: jefferson.simoes@ufrgs.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo investigar o estado atual da cobertura glacial da ilha Rei George, Antártica, para a utilização no monitoramento das geleiras, campos de gelo e ambientes marginais ao gelo. Para isto, utilizou-se uma imagem Sentinel-2, obtida em janeiro de 2020, e os dados vetoriais do GLIMS e do *Quantarctica*. Estes dados foram integrados a um Sistema de Informações Geográficas para compatibilização com os divisores de drenagens. Para a classificação das imagens aplicou-se o NDSI (Normalized Difference Snow Index) e o NDWI (Normalized Difference Water Index). O mapeamento resultou em uma área glacial total de 1005,63 km² e um erro <1km² (0,57%). O mapa obtido também é disponibilizado por geleiras e por campos de gelo. Comparando com a área de cobertura glacial em 2000, evidencia-se uma perda de 4,6% (46,25 km² de área em relação ao total de 1009,27 km² em 2000) no período 2000-2020 (não são consideradas as geleiras que fluem para a Baía Destruição e ID GLIMS 289015).

Palavras-chave: Sentinel-2B; *Normalized Difference Snow Index* (NDSI); *Normalized Difference Water Index* (NDWI); Retração glacial

1. Introdução

Estudos evidenciam que a Península Antártica (PA) e região vem sofrendo com um aquecimento regional mais intenso nas últimas décadas (KING, J. & HARANGOZO, 1998; KEJNA, 1999; VAUGHAN *et al.,* 2003; FERRON, *et al.,* 2004; AQUINO, SETZER & SIMÕES J., 2006; SIMÕES, C. *et al.*, 2015). Inclusive, outros estudos indicam que algumas geleiras da Ilha Rei George (IRG) apresentaram um processo de retração nas últimas 3 décadas do século XX e na primeira década do século XXI.

É notável a importância do monitoramento contínuo buscando compreender possíveis padrões de retração das geleiras nesta região da Antártica Marítima como impacto das mudanças climáticas. O estado da arte indica a retração glacial na IRG, mas o monitoramento não abrange todas as geleiras e há poucas geleiras com a medida de área atualizada para o período após o ano de 2000. Desta forma, é relevante a continuidade do monitoramento do conjunto de todas as geleiras e o entendimento das mudanças até 2020, período de análise deste estudo.

O objetivo do artigo é investigar a área atual dos campos de gelo e geleiras da Ilha Rei George para 2020 utilizando sensores remotos passivos. Como objetivo secundário, está a validação do novo *shapefile* da área das geleiras através de índices como o índice de Neve de Diferença Normalizada (NDSI - *Normalized Difference Snow Index*) e o índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI - *Normalized difference Water Index*), assim como através de pontos de controle coletados em campo.

2. Área de Estudo

A IRG (62° 00’ S, 58° 17’ W) (Figura 1) está localizada nas Shetlands do Sul, ao norte da PA. Esta é a maior ilha das Shetlands do Sul, possuindo 1.250 km² e com cerca de 93% de sua área coberta de gelo (BRAUN & RAU, 2000). Esta ilha é formada pelo Campo de Gelo Arctowski, Domo Bellingshausen, Campo de Gelo Oeste, Campo de Gelo Kraków, Campo de Gelo Warszawa e Campo de Gelo Central. Sobre as altitudes, a ilha não apresenta grandes elevações, pois a maior calota de gelo da IRG está a 700 m de elevação em relação ao nível do mar, no entanto, mais de 30% da ilha situa-se em elevações menores que 250 m (BRAUN & RAU, 2000). As geleiras das Shetlands do Sul, e, consequentemente, da IRG não possuem grande extensão e são próximas ao ponto de fusão, e, assim podem responder rapidamente às mudanças nos padrões de precipitação e temperatura atmosférica (SIMÕES J. *et al.,* 1999).

O clima na IRG segundo Ferron *et al.* (2004) é denominado de polar oceânico do hemisfério sul (Etf). Para o período de 1970 - 1991 as temperaturas na ilha possuem uma média anual de -2.4°C e 498 mm de precipitação (JIAHONG *et al.,* 1994). O clima é relativamente quente e úmido, e é determinado por sucessões de sistemas de baixa pressão movendo-se para leste (JIAHONG *et al.,* 1998). Durante os meses de verão são registrados dias de temperatura positiva nas baixas altitudes da ilha, já nos meses de inverno também podem ocorrer temperaturas acima de 0ºC (RACHLEWICZ, 1997).

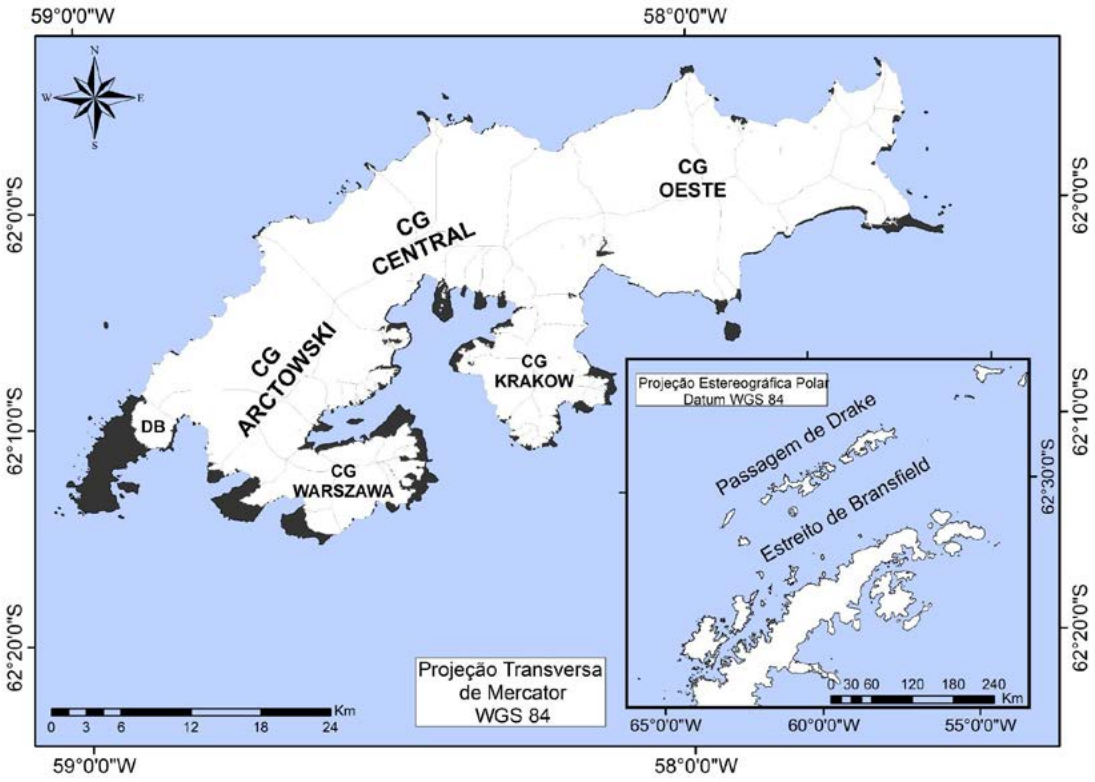


FIGURA 1: Localização da ilha Rei George com seus respectivos campos de gelo e das Shetlands do Sul. DB: Domo Bellingshausen; CG Warszawa: Campo de Gelo Warszawa; CG Arctowski: Campo de Gelo Arctowski; CG Central: Campo de Gelo Central; CG Krakow: Campo de Gelo Krakow; CG Oeste: Campo de Gelo Oeste. Fonte: elaboração dos autores, 2021.

3. Materiais e Métodos

3.1 Materiais e dados de campo

Os *shapefiles* e dados presentes no Quadro 1 fornecem uma série de informações sobre a área de estudo, como informações batimétricas, informações da linha de costa, divisores de drenagem de cada bacia, etc. Os divisores de drenagem utilizados são os fornecidos pelo *Global Land Ice Measurements from Space* (GLIMS) e foram essenciais para a comparação do comportamento individual de cada geleira. O GLIMS disponibiliza um inventário *online* de geleiras realizado através de Sensoriamento Remoto, o qual contém geleiras de distintas partes do globo, e que conta com seus divisores de drenagem e linha de frente (RAU *et al.,* 2005; ARENDT *et al.,* 2012). Esse banco de dados é gerenciado pela equipe do projeto e também por colaboradores de distintas áreas de especialização, onde disponibiliza-se os resultados das análises que contam com contornos das geleiras, metadados, referencial bibliográfico, e em alguns casos, vetores de linha de neve, hipsometria e linhas de fluxo (GLIMS, 2021). Outros dados como linha de costa da área de estudo foram obtidos através do *Antarctic Digital Database* (ADD) e *Quantarctica*.

QUADRO 1:
Base de dados utilizada para o estudo

Shapefile	Ano	Fonte
GLIMS	2000	https://www.glims.org/
ADD	-	https://www.add.scar.org/
Quantarctica	-	https://www.npolar.no/quantarctica/

Fonte: elaboração dos autores, 2021.

Para a obtenção da área glacial de 2020 foi utilizada uma imagem Sentinel-2B obtida em 19 de janeiro de 2020. Essa imagem foi escolhida, pois apesar de não ser ao final da estação de ablação, apresentou pouca cobertura de nuvens e estava com as superfícies bastante expostas.

As bandas utilizadas desta cena foram a 4, 3 e 2 para geração de imagem em cor verdadeira, assim como bandas 3 e 11 para geração de NDSI e bandas 3 e 8 para NDWI. A resolução espacial destas bandas varia de 10 a 20 m. Este sensor, assim como Sentinel-2A, faz parte da missão *Copernicus* realizada pela Agência Espacial Europeia (ESA). Esse satélite é um instrumento importante para o monitoramento de mudanças ambientais, pois possui uma ótima resolução temporal com um baixo tempo de revisita, em regiões equatoriais por exemplo é de 10 dias e 5 dias quando relacionado a ambos os satélites, o que é importante para regiões de alta nebulosidade, como a IRG.

Obteve-se as seguintes coordenadas de campo realizado em fevereiro de 2020: Frente da geleira Windy (62°13'53.80"S 58°29'14.26"O); Frente de lago Windy (62°13'44.41"S 58°28'39.52"O); Parede da geleira Windy (62°13'41.04"S 58°28'21.22"O); Arroio Windy (62°13'43.38"S 58°28'16.11"O); Geleira Baranowski (62°12'21.11"S 58°26'33.92"O); Moraina Sul (62°12'28.32"S 58°26'43.87"O); Moraina em frente do Lago (62°12'19.40"S 58°26'36.28"O); e Moraina Norte (62°12'12.70"S 58°26'40.93"O) (Coordenadas obtidas por Denni Moraes, durante OPERANTAR XXXVIII). Onde todos os pontos eram referentes a áreas marginais ao gelo, áreas sedimentares livres de gelo e feições rochosas.

3.2 Pré-Processamento, composição cor verdadeira da imagem Sentinel-2B e geração de vetorização manual da frente atual das geleiras

A imagem multiespectral Sentinel-2B é um produto bruto fornecido pela ESA, a qual requer correção atmosférica. Assim, essa realizou-se através do complemento *Semi Automatic Classification* (SCP) do *software* livre QGIS 3.10.2, o qual segundo Hillebrand, Rosa & Bremer (2018) realiza a correção atmosférica através da subtração do objeto escuro (DOS1). A composição colorida RGB 4,3,2 realizou-se através da ferramenta de composição de bandas no *software* ArcMap 10.5.1.

Para a comparação de área das geleiras em 2000 considerou-se o *shapefile* fornecido pelo GLIMS, excluindo-se as geleiras do setor da baía Destruição (ID GLIMS 287358, 289113, 289470, 287899) e geleira ID GLIMS 289015, pois o vetor destas geleiras apresentou alta diferença de área para as imagens Landsat para o período de 2000 - 2003. A composição em cor verdadeira foi realizada para a vetorização manual da frente glacial para 2020 das geleiras da IRG. Para essa vetorização em escala 1:20.000, utilizou-se os divisores de drenagem do GLIMS, onde a incerteza para a vetorização de 2020 é de +/- 1 pixel.

3.3 Geração de índices NDSI e NDWI e validação do shapefile manual

Os dados orbitais ópticos podem prover informações importantes através da composição de bandas e de índices. Considerou-se para a metodologia que muitos monitoramentos usam o NDSI (MORRIS, POOLE & KLEIN, 2006; SILVERIO & JAQUET, 2012; SANCHES, 2013; REKOWSKY, 2016; HILLEBRAND, ROSA & BREMER 2018), o qual faz a utilização de bandas espectrais com comportamentos distintos para os alvos de observação, assim como argumentam Rekowsky, Bremer e Veettil (2018). Neste caso, as bandas utilizadas são uma porção do visível (~560nm para Sentinel-2) e o infravermelho de ondas curtas (SWIR), essa combinação é considerada útil porque a neve e o gelo reflete mais no visível e menos no infravermelho (RACOVITEANU *et al.,* 2008). Foi utilizada a seguinte equação para a geração do índice:

$$NDSI = \frac{(Banda\ 3) - (Banda\ 11)}{(Banda\ 3) + (Banda\ 11)}$$

Para a delimitação do mar se utilizou o NDWI:

$$NDWI = \frac{(Banda\ 3) - (Banda\ 8)}{(Banda\ 3) + (Banda\ 8)}$$

Os índices foram gerados através da calculadora raster do ArcMap 10.5.1. Os índices geraram imagens com valores entre -0,99 - 0,99. Utilizou-se o método de extração de índices e posterior definição dos limiares. Realizou-se o processo de reclassificação e os limites de retroespalhamento utilizados para o NDSI foram definidos como menor que 0,2 para feições rochosas, 0,2 - 0,7 para nuvens e maior que 0,7 para geleiras. Já para o NDWI corpos aquosos ficaram definidos com valores maiores que 0,2. A partir do NDWI, gerou-se dois rasters, um só para a delimitação de água e outro para delimitação de feições rochosas e geleiras. Assim, foi possível extrair por máscara a área do NDSI de interesse, a das geleiras e feição rochosa.

Após isto, os arquivos rasters foram transformados para arquivos vetoriais e utilizou-se a ferramenta *merge* com o *shapefile* referente a água do NDWI e as feições rochosas, geleiras e nuvens do NDSI. A partir do arquivo vetorial, foi possível excluir alvos que não correspondiam à classe à qual estavam enquadrados, como, por exemplo, os pixels de feições rochosas com cobertura de neve que possuíam valor maior que 0,7 foram excluídos da análise. Alguns pixels localizados no mar foram excluídos da análise porque obtiveram valor 0.

A partir do vetor da linha de costa da IRG, fornecido pelo ADD, realizou-se um *buffer* de 200 m e este vetor foi interseccionado com o vetor de divisor de drenagens do GLIMS de 2000. A frente da geleira do GLIMS foi mesclada com o *buffer* da linha de costa. Realizou-se uma seleção por atributo para gerar um novo arquivo vetorial para as classes de geleiras, nuvens e água. Após, cada novo *shapefile* foi interseccionado com o vetor do *buffer*, a fim de que os valores gerados de área fossem obtidos a partir de cada divisor de drenagem identificado pelo GLIMS.

Nos vetores de nuvens e água selecionou-se, a partir da ferramenta de seleção por localização, apenas os pixels que se encontravam no polígono referente às geleiras. Alguns dos pixels de água ficaram sob as geleiras devido a presença de acumulação de água líquida supraglacial nestes setores. A partir desses pixels selecionados pela ferramenta, foi gerado um novo arquivo em formato vetor.

A quantificação dos erros e incertezas de mapeamento foi baseada em Stokes *et al.* (2019) que quantificou os erros e incertezas de mapeamento de lagos extraídos por índices em imagens Sentinel-2. A tabela de atributos destes arquivos foi extraída a fim de quantificar os valores para a nova área.

4. Resultados e Discussão

Para 2020 a estimativa de área com cobertura glacial é de 1005,63 km². Além da atualização dos dados para a área de estudo até a década presente, há a obtenção de dados para geleiras que nunca foram alvo de monitoramento de variação de área total (como algumas das geleiras voltadas para o Drake).

Obteve-se 0,57% de diferença para vetorização manual e a área final (resultado final após etapas de análise do dado obtido por NDSI) para a toda a IRG, já na área selecionada de análise a diferença foi de 0,89% (Campo de gelo Warszawa). Isto significa que temos uma incerteza de 1% para as estimativas de área total para toda a IRG.

Os limites de retroespalhamento utilizados para o NDSI (0,2 - 0,7 para nuvens e maior que 0,7 para geleiras) foi o que melhor representou os alvos de interesse (Quadro 2). Verifica-se que há distintos limiares usados para os alvos de gelo e neve e isto decorre das diferenças de retroespalhamento entre as imagens (Quadro 2). A aplicação de índices mostrou-se um método bastante eficiente para a delimitação das feições glaciais, Albert (2002) encontrou através da aplicação do NDSI uma acurácia de 93,9% de precisão. Para a discriminação de nuvens em ambientes glaciais, o índice também se mostrou relevante, porque no infravermelho a reflectância irá ter valores altos, em contrapartida a neve irá absorver mais essa faixa do espectroeletromagnético (HALL, RIGS & SALLOMONSON, 1995).

QUADRO 2:

Limiar de retroespalhamento do NDSI para gelo e neve	Série temporal	Autor
0,39 e 0,47	*Landsat TM*	Silverio & Jaquet (2012)
0,4	*Landsat TM*	Morris, Poole & Klein (2006)
0,59	*Landsat TM*	Sanches (2013)
0,55 e 0,9	*Landsat TM*	Rekowsky (2016)
0,2 – 0,67 zona de neve úmida ou água e >0,67 zonas de neve	*Sentinel-2*	Hillebrand, Rosa & Bremer (2018)
>0,7 zona de gelo e neve	*Sentinel-2B*	Lorenz *et al.* (nesta pesquisa)

Intervalos de retroespalhamento para gelo e neve em distintos estudos.
Fonte: Elaboração dos autores, 2021.

Na Figura 2 podemos observar que os limiares estabelecidos foram satisfatórios em relação aos pontos de campo, onde os pontos alocaram-se sobre a classe de solo e feições rochosas. Na figura 2 (d) pode-se observar o ponto "Lago" bem delimitado entre o solo e a borda do lago marginal a geleira Windy. Pode-se observar que alguns pixels em zonas limites, como a margem glacial foram classificados na classe "nuvem", isso se dá pois um pixel vai ser a mescla dos diferentes alvos com suas distintas respostas espectrais contidos neste (SHIMABUKURO & SMITH, 1991 *apud* XAVIER, VETTORAZZI & MACHADO, 2004), assim a resposta nestas zonas limites pode ser mais imprecisa devido a resposta espectral da mescla de alvos.

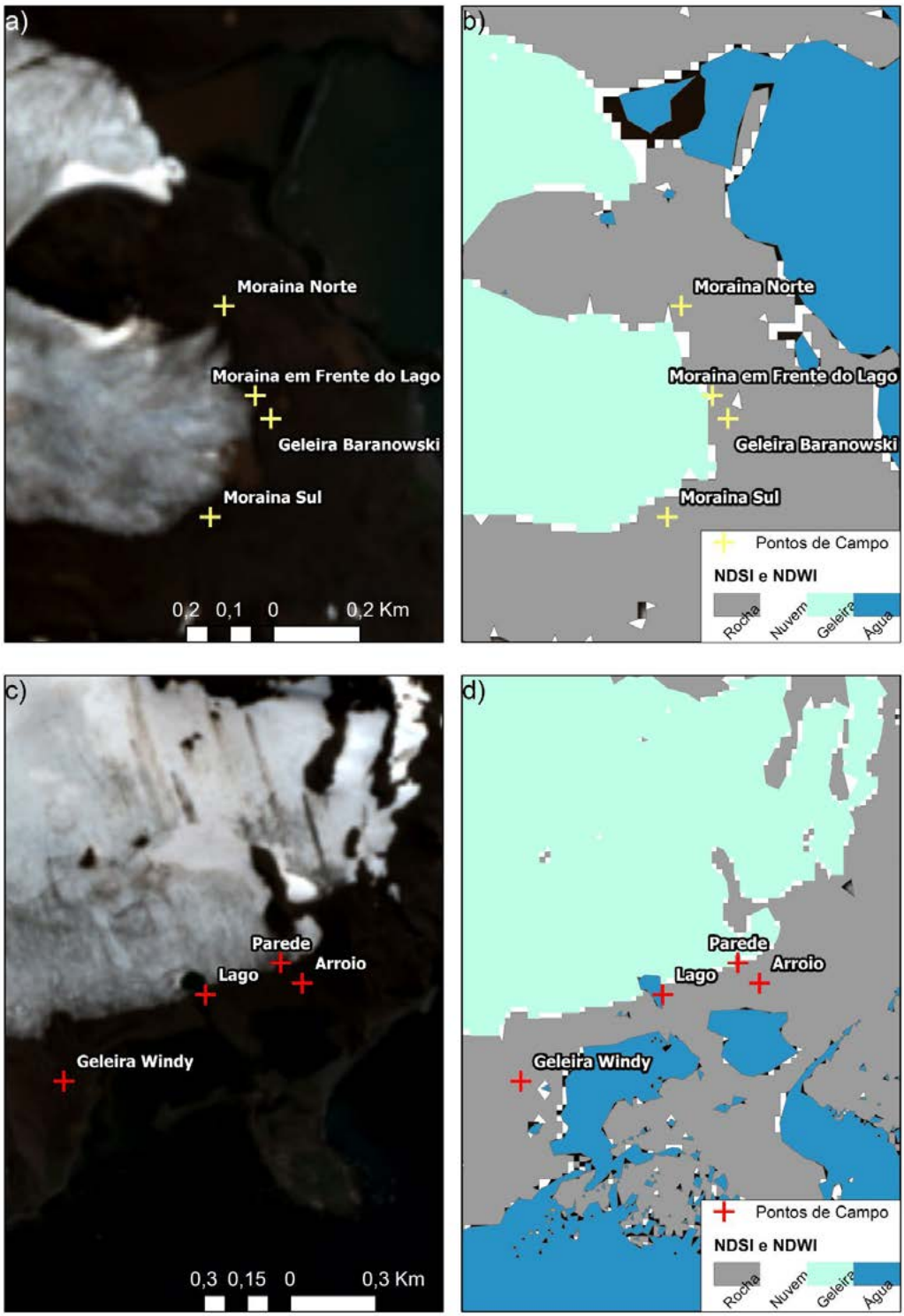


FIGURA 2: Pontos de controle obtidos em campo e a classificação automática obtida por NDSI e NDWI. (a) Imagem S-2B (obtida em 9 de janeiro de 2020) mostra a frente da geleira Baranowski. (b) Pontos de controle obtidos em campo sobre a classificação automática obtida por NDSI e NDWI na frente da geleira Baranowski. (c) Imagem S-2B (obtida em 9 de janeiro de 2020) mostra a frente da geleira Windy. (d) Pontos de controle obtidos em campo e a classificação automática obtida por NDSI e NDWI na frente da geleira Windy. (Pontos de controle obtidos por Denni Moraes, durante OPERANTAR XXXVIII). Fonte: Elaboração dos autores, 2021.

As etapas de análise com base nos dados obtidos com a classificação NDWI e NDSI e a edição para a geração do vetor final da área de cobertura glacial são relevantes e o processo metodológico a partir do qual os vetores foram obtidos está ilustrado na Figura 3. Conforme a classificação NDSI com a digitalização manual nas áreas testadas verificou-se que a técnica automática proposta neste estudo possibilita resultados semelhantes à manual. Ao comparar quantitativamente o resultado de 1005,63 km² obtido na aplicação da metodologia proposta, com o resultado da vetorização manual de 999,95 km², temos uma diferença de 5,68 km² para toda a IRG.

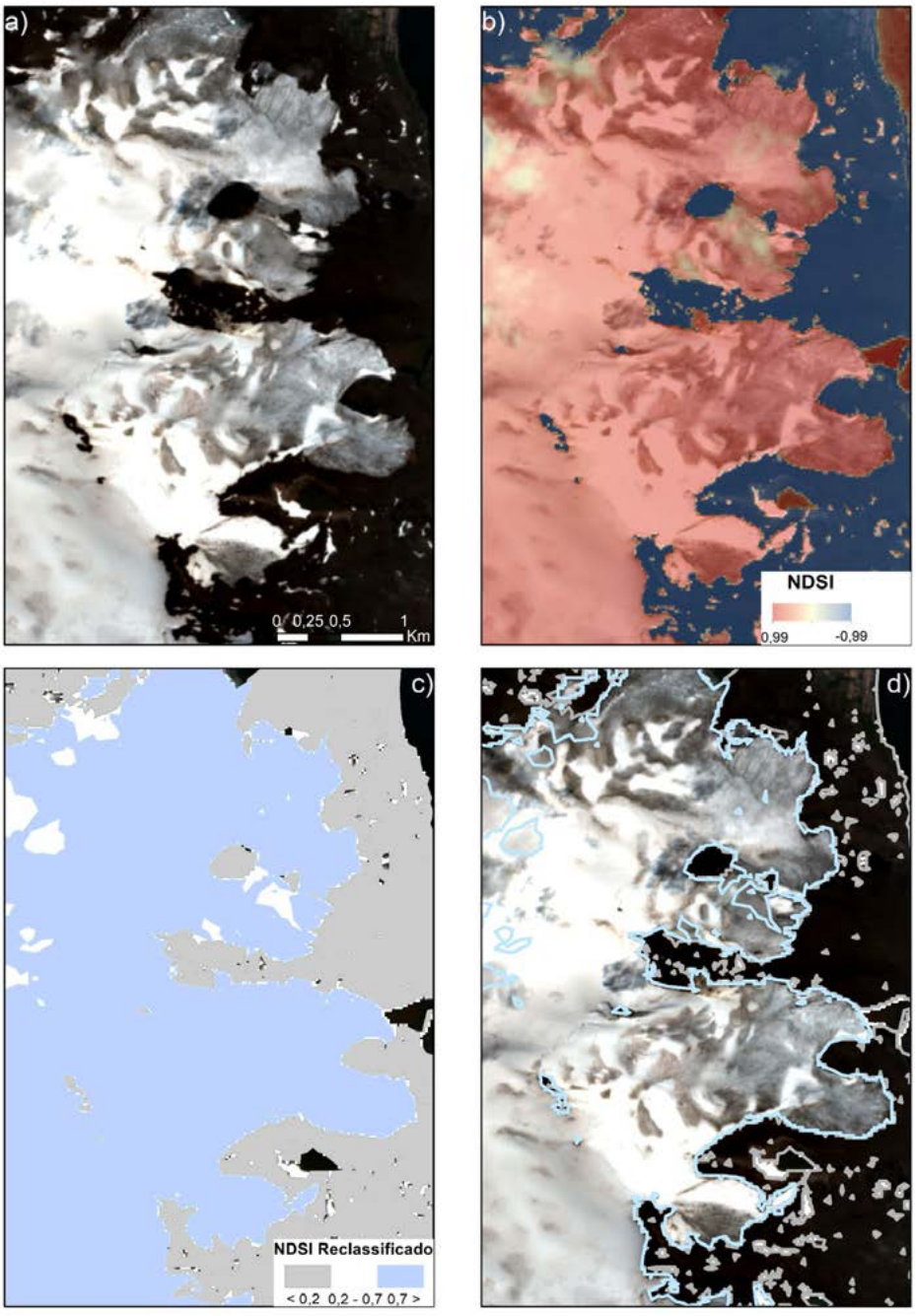


FIGURA 3: Ilustração da Classificação NDSI em uma complexa área selecionada para a validação que compreende o campo de gelo Warszawa. (a) Imagem Sentinel-2 (9 de janeiro de 2020) na composição RGB 432 mostrando as frentes das geleiras em contato com áreas subaéreas livres de gelo. (b) Resultado da classificação NDSI mostrando os valores dos alvos no *stretched.* (c) Classificação usando o limiar maior que 0,7 para geleiras. (d) Mapeamento final da cobertura glacial (linhas azuis) (após a aplicação da metodologia proposta) sobre a imagem S-2. Fonte: Elaboração dos autores, 2021.

Como a área da ilha possui 1.250 km², a área de cobertura glacial para 2020 representa 80,45%, o que contrasta com 93% encontrado em 1996/1997 por Braun & Rau (2000). O mapa obtido também é disponibilizado por geleiras e por campos de gelo. Por essa região possuir uma resposta mais rápida às mudanças climáticas torna-se uma área de importante monitoramento para compreender a resposta das geleiras a estas mudanças recentes (SIMÕES J. *et al.,* 1999).

A área de cobertura glacial em 2000 é de 1009,27 km². Comparando-se com 2020 evidencia-se uma perda de 46,25 km² de área glacial para o período 2000-2020, o que corresponde a uma perda de 4,6% de área em relação à área de 2000 (não são considerados nesses dados comparativos de 2000 - 2020 as geleiras que fluem para a Baía Destruição e ID GLIMS 289015).

A continuidade da perda de área das geleiras nas duas últimas décadas na ilha vai ao encontro do que foi apontado em outros estudos para períodos anteriores ou estudos que vão até a década de 2000 na ilha (e.g. ARIGONY-NETO *et al.*, 2001; RÜCKAMP *et al*., 2011; ROSA *et al*., 2015a; ROSA *et al*., 2015b; SIMÕES C. *et al*., 2015; PETSCH, 2018; PUDEŁKO *et al.*, 2018; SZIŁO & BIAŁIK, 2018; PERONDI, ROSA & VIEIRA 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2019 e PERONDI *et al*., 2020).

Ao comparar o mapeamento obtido para as últimas duas décadas para toda a ilha com as décadas anteriores e para apenas o setor da Baía do Almirantado, Arigony-Neto *et al.* (2001), observa que havia ocorrido uma perda de 12% de perda de área (22,5 km² de perda em relação à área glacial de 216,5 km² em 1956) desde 1956. Em 2000 a área de cobertura glacial na Baía do Almirantado representava 194 km².

Ao comparar o mapeamento obtido para as últimas duas décadas para toda a ilha com o obtido para o campo de gelo Kraków de 1988 a 2017 por Oliveira *et al.* (2019), verifica-se que os autores obtiveram uma perda de 17% de área (16,59 km² de perda em relação à área glacial de 98,56 km² em 1988) desde 1988.

O valor de perda de área (46,25 km²) para o período de estudo pode ser comparado ao de Cook *et al.* (2014) que analisaram 860 geleiras na Península Antártica entre 1945 e 2010. No estudo, perdas de 43 km2, 56 km2 e 32 km2 (evidenciadas para geleiras como Jorum, Pyke e Edgeworth, respectivamente) são consideradas grandes perdas ao analisar 6 décadas. Na PA a perda de área destas geleiras está relacionada à aceleração do fluxo e perda de massa devido ao colapso de suas plataformas.

Também verifica-se visualmente que o setor sul da ilha possui as maiores perdas de área, principalmente nos campos de gelo Warszawa e Kraków no período 2000-2020. Este padrão espacial também é encontrado por Perondi *et al.* (2020), que indicam a ocorrência de geleiras de término terrestre no setor sul da ilha, em contraste com as de término em mar (geleiras de maré e de desprendimento) ao norte (setor da ilha voltado para o Drake)

As mudanças apontadas para os campos de gelo na área de estudo estão relacionadas com a tendência de aumento de temperatura atmosférica na região da PA entre 1948 e a primeira década do século XXI (VAUGHAN *et al*., 2003; FERRON *et al.*, 2004; TURNER *et al.*; 2005a). Quanto às mudanças climáticas para esta região da PA também verifica-se um aumento nos dias de precipitação líquida e de neve desde a década de 50 (TURNER *et al.*, 2005b), para o período do século 1979 - 2019 se verifica também um aumento de dias com temperatura positiva, com registro de temperaturas altas inclusive para meses como: março, abril, outubro e novembro. É possível que essas mudanças estejam associadas ao aumento da emissão dos gases do efeito estufa, assim como a outros fatores, entre eles a perda de ozônio estratosférico e a extensão do gelo marinho (TURNER *et al.*, 2021).

Estas tendências já tinham sido apontadas por outros autores anteriormente. Foi verificado que os dias com precipitação líquida representaram de 22,7% - 59,2% do total de dias com precipitação para o período 1986 - 2007, com maiores taxas para o período 1986 - 1996 do que no período 1997-2007 (FERRANDO, VIEIRA & ROSA, 2009). Para a temperatura atmosférica, Ferron *et al.* (2004) verificaram um aumento de 1,1 °C para o período 1947-1995.

5. Considerações finais

A geração de *shapefiles* com informações quanto à área total e linha de frente para 2020 das geleiras da IRG auxilia a continuidade do monitoramento ambiental da área. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) permitiram uma maior integração dos fluxos de trabalho, assim é relevante a geração de *shapefiles* atuais das geleiras, de atributos para comparativo com dados já existentes. Tal como a validação destes dados para a sua publicação e disponibilização científica.

A continuidade deste estudo possibilitará verificar e comparar as mudanças de área desde a década de 1980, além de compreender as diferenças ao analisar individualmente as geleiras e discutir as correlações entre as características destas e os padrões espaço-temporais das mudanças. Entende-se também a necessidade de uma futura atualização dos divisores de drenagem principalmente para os setores com maiores perdas glaciais, visto que a morfodinâmica destes setores está alterando-se.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Centro Polar e Climático (CPC) e à PROPESQ/UFRGS.

Referências

ALBERT, T. H. Evaluation of Remote Sensing Techniques for Ice-Area Classification Applied to the Tropical Quelccaya Ice Cap, Peru, **Polar Geography**, v. 26, n. 3, p. 210–226, 2002.

AQUINO, F. E.; SETZER, A.; SIMÕES, J. C. The sub-antarctic atmospheric circulation between 15°W and 90°W and its effects on the climates of the Antarctic Peninsula and southern South America. *In:* **Antarctic Peninsula ClimateVariability: Observations, Models and Plans for IPY Research,** University of Colorado, Boulder, Colorado, EUA. p. 19. 2006.

ARENDT, A. *et al.* Randolph Glacier Inventory [v2.0]: a dataset of global glacier outlines. Global Land Ice Measurements from Space. **GLIMS Technical Report.** Boulder Colorado, USA. Digital Media. 2012.

ARIGONY-NETO, J. **Implantação e uso de sistema de informação geográficas para a** Área Antártica **Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica.** Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BRAUN, M.; RAU, F. Using a multi-year data archive of ERS SAR imagery for the monitoring of firn line positions and ablation patterns on the King George Island ice cap (Antarctica). **Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow.** Dresden, Alemanha. 1, p. 281 - 291. 2000.

COOK, A. J. *et al.* Ocean forcing of glacier retreat in the western Antarctic Peninsula, **Science**, v. 353, n. 6296, p. 283–286, 2016.

ESA. **Sentinel User Guides.** 2021. [Online]. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

FERRANDO, F. F. A.; VIEIRA, R.; ROSA, K. K. Sobre el calentamiento global en la isla Rey Jorge: procesos y evidencias en el Glaciar Wanda y su entorno. **Investigaciones Geográficas**, N° 41, p. 25 - 40. 2009.

FERRON, F. *et al.* Air Temperature Time Series for King George Island, Antarctica, **Pesquisa Antártica Brasileira (Braz Antarct Res)**, v. 4, p. 155 - 169. 2004.

GLIMS & NSIDC. **Global Land Ice Measurements from Space glacier database. Compiled and made available by the international GLIMS community and the National Snow and Ice Data Center, Boulder CO, U.S.A.** 2005, atualizado 2018. DOI:10.7265/N5V98602.

GLIMS. **More about GLIMS.** Disponível em: <http://www.glims.org/About/>. Acesso em: 27 de junho de 2021.

HALL, D. K.; RIGGS, G. A.; SALOMONSON, V. V. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data, **Remote Sensing of Environment**, v. 54, n. 2, p. 127–140, 1995.

HILLEBRAND, F. L.; ROSA, C. N. Da; BREMER, U. F. Mapeamento das zonas de neve úmida e de percolação por meio do Sentinel-2. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 96–103, 2018.

JIAHONG, W. *et al.* Climate, mass balance and glacial changes on small dome of Collins Ice Cap, King George Island, Antarctica, **Advances in Polar Science**, v. 5, n. 1, p. 52–61. 1994.

JIAHONG, W. *et al.* Glaciological studies on the King George Island ice cap, South Shetland Islands, Antarctica, **Annals of Glaciology**, v. 27, p. 105–109, 1998.

KEJNA, M. Air temperature on King George Island, South Shetland Islands, Antarctica, **Polish Polar Research**, v. 20, p. 183–201. 1999.

KING, J. C.; HARANGOZO, S. A. Climate change in the western Antarctic Peninsula since 1945: observations and possible causes, **Annals of Glaciology**, v. 27, p. 571–575. 1998.

MORRIS, J.; POOLE, A.; KLEIN, A. Retreat of Tropical Glaciers in Colombia and Venezuela from 1984 to 2004 as Measured from ASTER and Landsat Images. *In:* **63° Eastern Snow Conference.** Newark, Delaware, Estados Unidos da América. 2006.

OLIVEIRA, M. A. G. *et al.* Variação de área das geleiras do campo de gelo Kraków, Ilha Rei George, Antártica, no período entre 1956 - 2017. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 70, p. 55–71, 2019.

PERONDI, C.; ROSA, K. K.; VIEIRA, R. Caracterização geomorfológica das áreas livres de gelo na margem leste do campo de gelo Warszawa, Ilha Rei George, Antártica marítima. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2. 2019.

PERONDI, C. *et al.* Recentes alterações nas geleiras e nos sistemas paraglaciais, Antártica Marítima. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 292–301, 2020.

PETSCH, C. **Evolução hidro geomorfológica da zona proglacial da Geleira Collins, Ilha Rei George, Antártica**. 2018. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

PUDEŁKO, R. *et al.* Fluctuation of Glacial Retreat Rates in the Eastern Part of Warszawa Icefield, King George Island, Antarctica, 1979–2018, **Remote Sensing**, v. 10, 2018.

RACHLEWICZ, G. Mid-winter thawing in the vicinity of Arctowski Station, King George Island. **Polish Polar Research,** v. 18, n. 1, p. 15 - 24. 1997.

RACOVITEANU, A. E. *et al,* Decadal changes in glacier parameters in the Cordillera Blanca, Peru, derived from remote sensing, **Journal of Glaciology**, v. 54, n. 186, p. 499–510, 2008.

RAU, Frank *et al.* Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual Glacier Classification Guidance for the GLIMS Glacier Inventory, **Institute For Physical Geography Freiburg**, 2005.

REKOWSKY, I. C. **Variações de área das geleiras da Colômbia e da Venezuela entre 1985 e 2015, com dados de senso-**

riamento remoto. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

REKOWSKY, I. C.; BREMER, U. F.; VEETTIL, B. K. Variações de área das geleiras da Colômbia e da Venezuela entre 1985 e 2015, com dados de Sensoriamento Remoto. **Geociências (São Paulo)**, v. 37, n. 3, p. 569–581, 2019.

ROSA, K. K. *et al.* Compilation of geomorphological map for reconstructing the deglaciation of ice-free areas in the Martel inlet, King George Island, Antarctica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, 2014.

ROSA, K. K. *et al.* Recent changes in the Wanda Glacier, King George Island, Antarctica, **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 2, p. 187–196. 2015a.

ROSA, K. K. *et al.* Análise das mudanças ambientais da Geleira Viéville, Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica, **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 1, p. 61–71, 2015b.

RÜCKAMP, M. *et al.* Observed glacial changes on the King George Island ice cap, Antarctica, in the last decade, **Global and Planetary Change**, v. 79, p. 99–109. 2011.

SANCHES, A. M. **Variações na extensão da cobertura de gelo do Nevado Cololo, Bolívia.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SILVERIO, W.; JAQUET, J.-M. Multi-temporal and multi-source cartography of the glacial cover of Nevado Coropuna (Arequipa, Peru) between 1955 and 2003, **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 18, p. 5876–5888, 2012.

SIMÕES, C. L. *et al.* Collins Glacier Retreat Process and Regional Climatic Variations, King George Island, Antarctica, **Geographical Review**, v. 105, p. 462–471. 2015.

SIMÕES, J. C. *et al.* Morphology and variations of glacial drainage basins in the King George Island ice field, Antarctica, **Annals of Glaciology**, v. 29, p. 220–224. 1999.

STOKES, C. R. *et al.* Widespread distribution of supraglacial lakes around the margin of the East Antarctic Ice Sheet, **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 13823, 2019.

SZIŁO, J.; BIALIK, R. Recession and Ice Surface Elevation Changes of Baranowski Glacier and Its Impact on Proglacial Relief (King George Island, West Antarctica), **Geosciences**, v. 8, p. 355. 2018.

TURNER J, *et al.* Antarctic climate change during the last 50 years. **International Journal of Climatology**, 25: 279–294. 2005a.

TURNER, J. *et al.* A positive trend in western Antarctic Peninsula precipitation over the last 50 years reflecting regional and Antarctic-wide atmospheric circulation changes, **Annals of Glaciology**, v. 41, p. 85–91. 2005b.

TURNER, J. *et al.* Extreme Temperatures in the Antarctic, **Journal of Climate**, v. 34, n. 7, p. 2653–2668. 2021.

VAUGHAN, D. G. *et al.* Recent Rapid Regional Climate Warming on the Antarctic Peninsula. **Climatic Change** v. 60, n. 3, p. 243–274. 2003.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A.; MACHADO, R. E. Relação entre índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/Landsat, **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 421–430, 2004.

MAPEAMENTO DA DECLIVIDADE DO MUNICÍPIO DE SANTALUZ – BAHIA ENQUANTO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Gabriel Carneiro Silva Cunha
Universidade Federal do Vale do São Francisco
Praça do Comércio, 884 - Tijuaçu, Senhor do Bonfim – BA, CEP: 48970-000
E-mail: gabriel.carneiro@discente.univasf.edu.br
Felipe de Souza Reis
Universidade Federal do Vale do São Francisco
Rua Mário Gonçalves, 29 - Bosque, Senhor do Bonfim – BA, CEP: 48970-000
E-mail: felipesouzareis01@gmail.com
Sarah Andrade Sampaio
Universidade do Estado da Bahia
Rua Silveira Martins, 2555 - Cabula, Salvador – BA, CEP: 41150-000
E-mail: sarahandradegeo@gmail.com
Sirius Oliveira Souza
Universidade Federal do Vale do São Francisco
Av. Thomaz Guimarães, s/nº - Santos Dumont, Senhor do Bonfim – BA, CEP: 48970-000
E-mail: sirius.souza@univasf.edu.br

Resumo

Este trabalho tem como intuito analisar a declividade no município de Santaluz – BA enquanto instrumento de planejamento ambiental. Em vista disso, entender o conceito de declividade é fundamental para compreensão desse estudo, o qual pode ser definido como a relação da altura entre dois pontos no sentido horizontal. O resultado desse trabalho foi fruto de leituras bibliográficas e posteriormente, rotinas de geoprocessamento a partir de imagens do radar ALOS PALSAR que subsidiaram a elaboração do mapa de declividade de Santaluz. Desse modo, foi possível analisar que grande parte do território do município de Santaluz está inserido em áreas planas, com a presença de alguns pontos elevados, relacionados a existência de campos de inselbergues. Estes aspectos evidenciam a relevância desse estudo, ao permitir uma maior identificação da declividade e consequentemente fundamentar melhores formas de planejamento do uso e ocupação da terra.

Palavras-chave: Declividade; Meio ambiente; Planejamento urbano.

1.Introdução

Compreender o uso da carta de declividade para analisar diversas dinâmicas ambientais é de suma importância nesse estudo, especialmente, no que se refere ao uso desordenado e ocupação do território marcado pela acentuada urbanização do espaço e pelo avanço das atividades agropecuárias. Desse modo faz-se necessário uma reorganização territorial adequando o solo aos seus múltiplos usos, com intuito de tentativa de controle dos processos erosivos, a fim de evitar não somente prejuízos ambientais, como também socioeconômicos.

Conforme Pinto et al. (2005) a declividade pode ser definida como a inclinação do relevo em relação ao horizonte, elemento de enorme relevância no que tange a prevenção de processos erosivos, sendo evidente a influência de diversos fatores nesse fenômeno, como o manejo da terra, a presença ou não de vegetação no terreno, a permeabilidade do solo, bem como a textura e a densidade do mesmo, sobretudo, no que se refere a capacidade do solo em absorver a água.

Segundo Silveira et al. (2006), o diagnóstico da declividade permite mostrar como as inclinações estão distribuídas e o modo como elas influenciam na instabilidade das encostas e, por conseguinte na maneira como os processos erosivos agem no relevo. Nessa perspectiva, entende-se que na medida em que maior for o ângulo da declividade, maior também é a velocidade do escoamento superficial, e em consequência disso, mais sedimentos serão carreados provocando assim a intensificação dos processos erosivos no terreno.

De acordo com Sato, Cunha e Pereira (2009), a lógica da análise é semelhante à de Silveira et al. (2006), principalmente pelo fato da declividade ser trazida como um instrumento para compreensão da dinâmica ambiental, e que seu estudo é capaz de mostrar as áreas de suscetibilidade aos processos erosivos, em decorrência da diferença de altura entre dois pontos. Nesse sentido, percebe-se a relevância da necessidade de ações planejadas nas intervenções de ordens antrópicas.

Desse modo, conforme De Biasi (1992), a representação da declividade é fruto de um estabelecimento de divisão de chaves de classe de declividade e que esta depende do objetivo do pesquisador, no entanto, é recomendável a utilização do modelo estabelecido por lei para os diversos usos e ocupação territorial. Os limites propostos por De Biasi (1992) correspondem a < 5%, limite utilizado para o uso urbano-industrial, entre 5% - 12%, definição do limite máximo do emprego da mecanização na agricultura, de 12% - 30% que corresponde ao limite máximo para urbanização sem restrições com base na lei **no 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979).**

Com base no código florestal antecessor regido pela lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**, este descreve os limites de declividade de** 30% - 47% em que 47% corresponde ao limite máximo de corte raso, e por fim > 47% onde é proibida a derrubada de árvores (BRASIL, 1965).

No que se refere ao código florestal atual, amparado pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), considera-se áreas de preservação permanente (APP), em zonas rurais ou urbanas as encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% na linha de maior declive.

Em contrapartida a utilização das classes de declividade por De Biasi (1992), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), define < 3% plano, 3% - 8% suave ondulado, 8% - 20% ondulado, 20% - 45% forte ondulado, 40% - 75% montanhoso e > 75% escarpado. Nessa perspectiva, é possível perceber algumas diferenças que os estudos empregam nos intervalos

de catalogação de classes, fato que pode estar relacionado as diferentes áreas de estudo e objetivos das pesquisas.

Nesse contexto, tendo como área de estudo o município de Santaluz – Bahia, este trabalho tem como objetivo analisar a declividade do município de Santaluz enquanto subsídio ao planejamento ambiental.

Este trabalho se justifica frente aos instrumentos da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelecida pela lei federal 12.608/2012 que em seus fundamentos, aprovam ações de mapeamento, como a integração de políticas voltadas ao planejamento urbano, meio ambiente e entre outras (BRASIL, 2012).

2. Área de estudo

O município de Santaluz - BA está localizado na microrregião de Serrinha e no Território de Identidade do Sisal, região que incorpora outros 19 municípios baianos. Este município localiza-se entre as latitudes **11°10' 05" S e 11° 45' 15"** S e as longitudes **39° 23' 11"O e 40° 27" e 10" O. Limita-se a leste com os municípios de Araci e Conceição do Coité, ao norte com os municípios de Cansanção e Nordestina, a oeste com os municípios de Capim Grosso, São José do Jacuípe e Queimadas e ao sul com os municípios de Gavião, São Domingos e Valente, conforme exposto na Figura 1.**

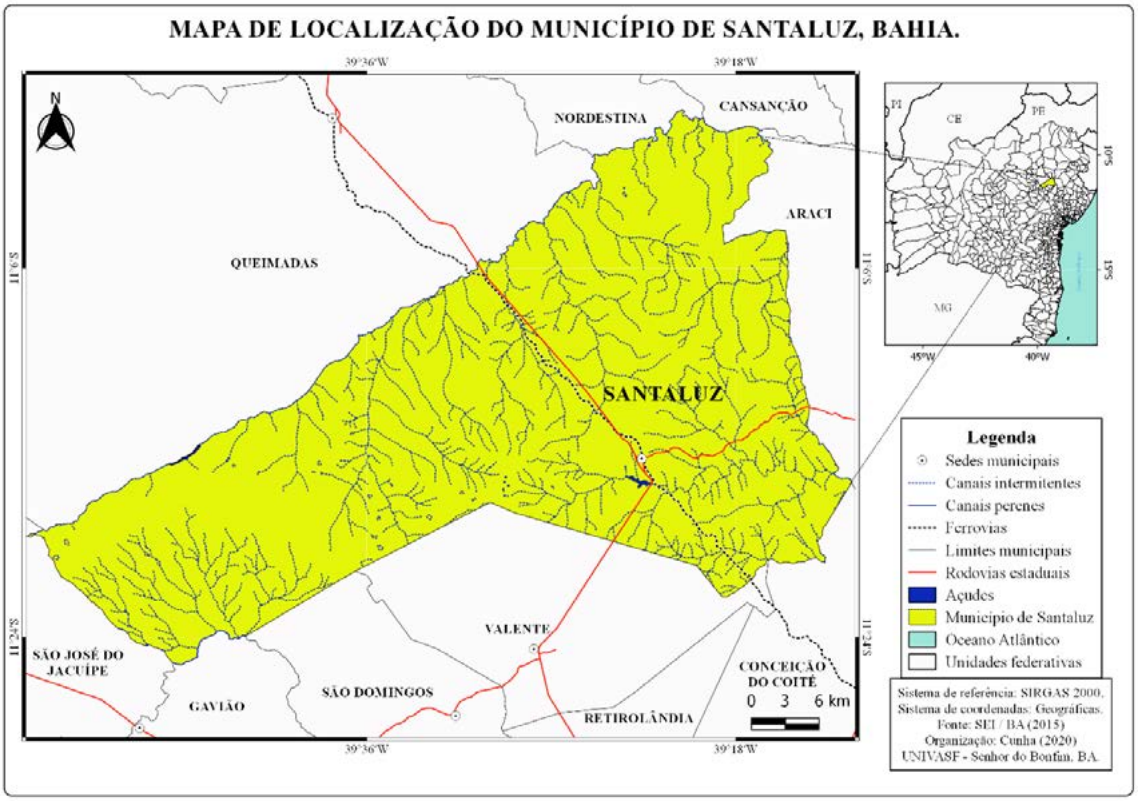


FIGURA 1: Mapa de localização do município de Santaluz – Bahia.
Fonte: Autores, 2020.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Santaluz foi criado no ano de 1935, desmembrado do município de Queimadas – BA e atualmente possui uma área de 1.623,447 Km² e tem uma população estimada em 37.348 habitantes, configurando assim uma densidade demográfica de 29,5 hab./km2 (IBGE, 2019).

De acordo com o censo demográfico do IBGE (2010), o índice de desenvolvimento humano (IDH) foi de 0,598, representando um IDH relativamente baixo. A economia do município se baseia no comércio, serviços, agricultura (produção de sisal), e a exploração de recursos minerais, considerando que a cidade de Santaluz é favorecida pela extração de cromo, ouro e granito. Estes, fomentam a economia local, por meio de atividade do garimpo.

A geologia do município de Santaluz é bastante complexa, englobando rochas de idades diversas, desde o arqueano ao período quaternário, fazendo parte do contexto geológico do Cráton do São Francisco (YAMANA GOLD, 2009), com destaque para os litótipos do complexo Santa Luz na porção central do município, do complexo Caraíbas a oeste do município e do complexo Tanque Novo/Ipirá a sudoeste do município, conforme revelam dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2005).

Estes, em decorrência da ação do intemperismo, proporcionaram o processo de formação dos seguintes tipos de solo: planossolo eutrófico, neossolo eutrófico, latossolo vermelho-amarelo e vertissolo (CPRM, 2005).

Estes solos, se apresentam recobrindo terrenos ígneos-metamórficos do embasamento cristalino, que se denota morfologicamente enquanto uma superfície predominantemente plana, com vasta ocorrência de pedimentos associados ao pediplano sertanejo, interrompido em algumas áreas pela ocorrência de inselbergues (CPRM, 2005).

Ainda de acordo com informações da CPRM (2005), Santaluz está inserida no “Polígono das Secas” e faz parte da região semiárida, apresentando um clima do tipo megatérmico semiárido, com pluviometria média anual de 489 mm e com uma temperatura média em torno dos 23,4 ºC.

No que se refere aos dados hidrográficos, o clima semiárido faz com que a área em estudo tenha sua hidrografia caracterizada majoritariamente por rios intermitentes, com destaque para os riachos do Saco, da Espera, Itapuã, Bonsucesso, das Onças, Camaíba e Mulungu. No que se refere a existência de canais fluviais perenes, estes ocorrem a nordeste do município (rio Itapicuru) e a sudoeste (rio Jacuípe) (YAMANA GOLD, 2009). Segundo o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA, 2019) o município de Santaluz apresenta mais de 60% do seu território inserido na bacia hidrográfica do Itapicuru, um importante rio perene que atravessa o centro norte do estado da Bahia, no sentido oeste leste.

Em relação a vegetação, os fatores locais de relevo, solos, clima e hidrografia permitiram constituir uma vegetação nativa caracterizada por caatinga arbórea aberta, caatinga arbustiva e floresta estacional. Contudo, uma grande parcela dessa vegetação nativa foi eliminada e substituída por pastagens e culturas agrícolas, especialmente para a plantação de sisal (*Agave sisalana*) com início no século XX (CPRM, 2005).

3. Metodologia

Considerando a análise da declividade com base em De Biasi (1992) e Silveira et al. (2006), procedeu-se o desenvolvimento das rotinas de geoprocessamento.

A princípio, foram obtidas imagens do satélite *Advanced Land Observation Satellite* (ALOS). Operadas desde de outubro de 2006 até maio de 2011, estas imagens são disponibilizadas de forma gratuita pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Universidade do Alaska Fairbanks no endereço: <https://search.asf.alaska.edu/#/>

As imagens utilizadas foram adquiridas do radar *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR), que segundo a EMBRAPA (2013), é um sistema de sensores do ALOS, caracterizado por um radar de abertura sintética que opera na banda L em uma frequência de 1270 MHz, com capacidade de obter imagens diurnas e noturnas nas diversas condições atmosféricas

Conforme dados da EMBRAPA (2013), foi lançado pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), com a presença de três sistemas de sensores: o *radiômetro Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM) capaz de obter imagens tridimensionais com um alto nível de detalhe da superfície terrestre; o radiômetro multiespectral *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2* (AVNIR-2) voltado aos mapeamentos de uso e cobertura de solos e o sensor de micro-ondas *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) capaz de adquirir imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade.

Ainda é válido salientar que o ALOS é um satélite japonês, caracterizado por captar imagens com velocidade rápida e de precisão avançada na determinação do seu posicionamento espacial e de alta resolução, de acordo com dados da EMBRAPA (2013).

Para a organização do mapa de declividade, inicialmente foi elaborado um Modelo Digital de Elevação (MDE), com a utilização de três imagens de radar ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros. Após o download dessas imagens, o primeiro passo foi a construção em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com uso do software QuantumGis 2.18.22, de um mosaico das três imagens por meio das ferramentas raster, miscelânea e mosaico, e então o recorte desse resultado de acordo com o shapefile do limite municipal de Santaluz que foi obtido na Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI, 2015) através das ferramentas raster e extrair.

Posteriormente para a extração da declividade, utilizou-se as ferramentas raster, extrair e declividade, respectivamente. Feito isto, a etapa seguinte foi transformar o arquivo raster em um arquivo vetorial para que então fosse possível calcular a área de cada classe, por meio das ferramentas raster, converter e poligonizar. Por fim, as classes foram renderizadas e distribuídas conforme os intervalos escolhidos.

No que tange aos intervalos das classes de declividade adotados, estes foram definidos por meio da legislação e literatura, (Tabela 1). Sendo as chaves de classes representadas pelos subsequentes intervalos e cores.

TABELA 1
Descrição das classes de declividades adotadas.

Porcentagem (%)	Descrição	Cor
< 2	Áreas sujeitas a inundações (DENT e YOUNG, 1981).	Verde escuro
2 |- 5	Área urbano-industrial (BRASIL, 1979).	Verde
5 |- 15	Área passível de emprego da mecanização na agricultura (BITAR, 2014).	Verde claro
15 |- 30	Área de urbanização sem restrições (BRASIL, 1979).	Amarelo
30 |- 37	Áreas limite para manejo florestal de corte raso (BRASIL, 2012).	Laranja
> 37	Terrenos onde já se iniciam os movimentos de massa no litoral paulista (CARVALHO, MACEDO e OGURA, 2007)	Vermelho

Fonte: Autores, 2020.

Foi elaborado também um modelo sombreado do relevo usando luz e sombra a partir do MDE confeccionado, por meio das ferramentas raster, análise e MDE (Modelos de terreno), respectivamente, aplicando por fim uma transparência de 70 %. Este, foi elaborado com intuito de proporcionar uma aparência mais tridimensional ao mapa de declividade, possibilitando uma melhor visualização do relevo.

4. Resultados e Discussões

Levando-se em consideração os processos para a elaboração do produto final, é possível perceber os resultados obtidos após a confecção do mapeamento da declividade de Santaluz, evidentes na Tabela 2 e na Figura 2 representadas a seguir.

TABELA 2
Distribuição das classes de declividades de Santaluz – BA.

Classe (%)	Área	
	Km²	%
< 2	30,27	1,86
2 |- 5	166,99	10,29
5 |- 15	716,42	44,13
15 |- 30	600,36	36,98
30 |- 37	64,04	3,94
> 37	45,36	2,79
Total	1623,45	100,00

Fonte: Autores, 2020.

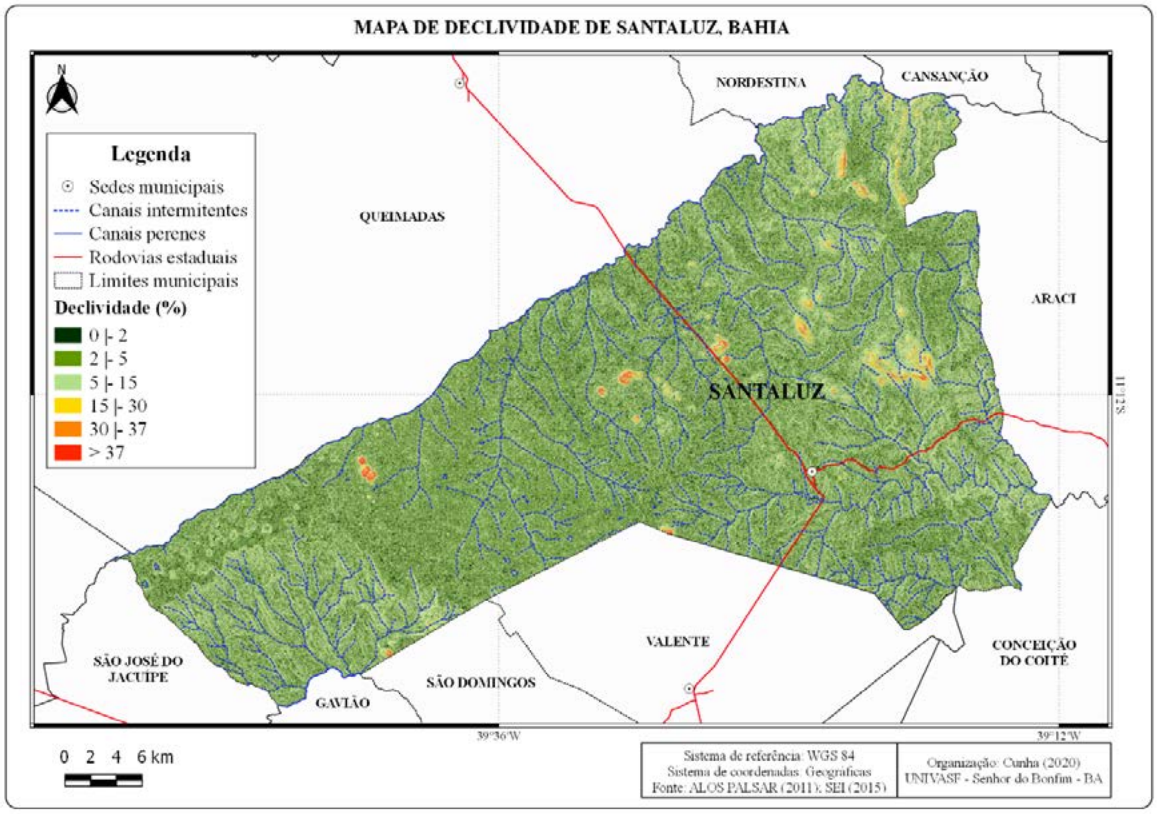


FIGURA 2: Mapa de declividade de Santaluz – BA.
Fonte: Autores, 2020.

Analisando os resultados, é perceptível que o intervalo inferior a 2% corresponde a 30,27 km2, representando cerca de 1,86% do território luzense, sendo a classe que apresenta as áreas mais planas do município, representadas pela cor verde escuro na Figura 2. Estas, conforme Dent e Young (1981) são áreas mais vulneráveis a alagamentos e inundações durante os períodos de fortes precipitações, já que todos os cursos fluviais tendem a percorrer por áreas mais aplanadas. Desse modo, analisando a declividade de Santaluz é possível inferir que o município não está susceptível a processos de inundações, sobretudo no perímetro urbano municipal, com exceção das planícies e terraços fluviais localizados no sudoeste da área em estudo que em decorrência da altitude e declividade podem apresentar riscos durante períodos de intensas precipitações ou de alguma eventualidade atípica.

Enquanto a segunda classe que se configura de 2% |- 5%, correspondendo a 166,99 km2, representa cerca de 10,29% da área do município, sendo possível identificar que esta classe está associada a áreas de contato entre depósito de tálus e os pedimentos, conforme é indicada pela Figura 2. De acordo com a lei de parcelamento do solo urbano, esta classe corresponde a área passível de ocupação urbano-industrial (BRASIL,1979).

Na classe de 5% |- 15%, evidencia-se que esta compreende cerca de 716,42 km2 do município, correspondendo a 44,13% do território municipal, sendo este intervalo o mais expressivo ao se tratar do território municipal, exposto pela cor verde claro. Este intervalo, de acordo com Bitar (2014), corresponde ao limite de inclinação máximo para circulação de veículos, visto que é esta inclinação indica uma menor susceptilidade a erosão, e uma viabilidade ampla do emprego da mecanização da agricultura.

A classe 15% |- 30%, indicada pela cor amarela no mapa de declividade, corresponde a 600,36 km2, representando 36,98% do município. Esta, descreve o limite máximo do parcelamento do solo para fins urbanos, ou seja, em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, está vetada a expansão urbana, conforme os direcionamentos do artigo 3º da lei **no 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979).**

No que se refere as declividades da classe 30% |- 37%, as poucas ocorrências representam 64,04 Km², condizentes a 3,94% do território municipal, simbolizadas pela cor laranja no mapa de declividade (Figura 2). Estas, segundo o código florestal brasileiro, são áreas admissíveis ao manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, que são modalidades de sistemas agroflorestais que integram a pecuária, agricultura e cultivo de espécies florestais. Também são áreas limite para manejo florestal de corte raso, isto é, a proibição da eliminação de uma vegetação numa determinada área para quaisquer fins (BRASIL, 2012).

A última classe corresponde as declividades mais elevadas, sendo estas < 37%, representando cerca de 45,36 km², equivalentes a 2,79% da área de Santaluz. Observa-se no mapa de declividade (Figura 2), indicadas pela cor vermelha, que a medida em que os relevos são mais acentuados, estes ficam mais escassos na área em estudo, denotando o caráter plano do município. Localmente, estas áreas de declividades acentuadas, referem-se aos designados inselbergues, os quais, segundo Christofoletti (1980) são caracterizados por serem relevos residuais, geralmente de forma dômica, resistentes ao processo de pediplanação e provenientes de fartos processos erosivos circundantes que permitiram reduzir grandes elevações a pequenas saliências rochosas. Tais afloramentos rochosos, em Santaluz, podem estar associados a uma estrutura de maior resistência a desagregação física, mediante as condições litológicas de seu substrato rochoso.

Tais análises permitem assegurar que no município de Santaluz não são encontrados com frequência vertentes muito íngremes, já que a maior parcela do município é representada por declividade inferior a 30%. Portanto, no que se diz respeito as áreas mais elevadas, é possível constatar que parte destas, sobretudo as que estão mais isoladas, são constituídas de inselbergues, como é exemplificado pela Figura 3.

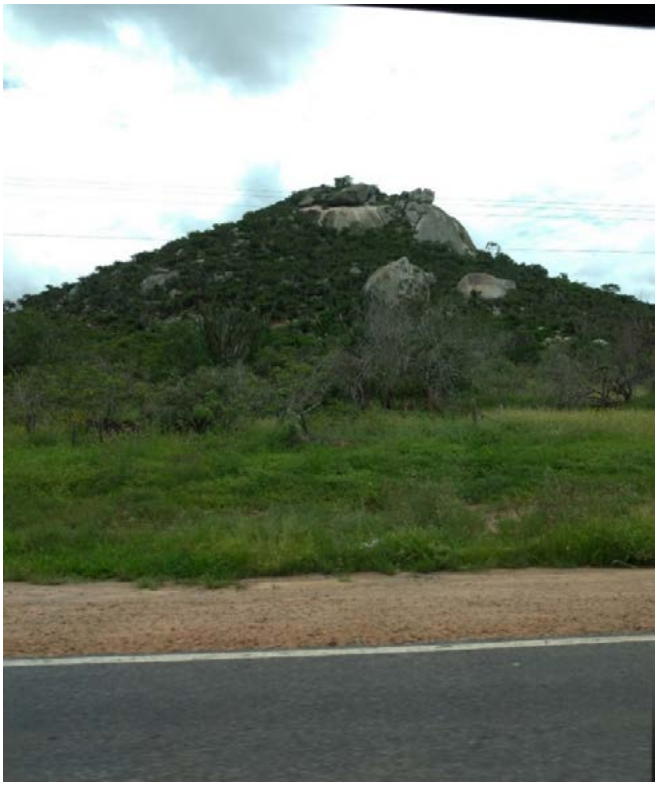


FIGURA 3: Inselbergue localizado na região centro-norte do município de Santaluz, BA.
Fonte: Autores, 2020.

Uma observação significante realizada nesse estudo é que nas imediações da sede municipal e no perímetro urbano não existem áreas com declividade superiores a 37%. Este ponto evidencia aspectos de extrema importância, visto que nessas áreas a taxa de vulnerabilidade do terreno não será elevada, dificultando assim a ação de processos erosivos nesse local, no entanto, afirmar que em virtude desse aspecto não pode haver ação erosiva no terreno é um equívoco, dado que este não é o único fator que influencia no processo.

Portanto, este fenômeno é um elemento positivo, uma vez que a área urbana está em contínua expansão e na realidade de Santaluz, diante da declividade constatada, o município não está exposto a fenômenos relacionados aos movimentos gravitacionais de massa. Todavia, em contrapartida, por ser caracterizada de áreas aplanadas, o perímetro urbano da cidade está sujeito nos períodos de intensas chuvas, a sofrerem alagamentos nos locais das mais baixas declividades.

5. Considerações finais

Desse modo, depreende-se que as análises apresentadas por este trabalho são enriquecedoras contribuições no que se refere ao entendimento do planejamento ambiental a partir do mapeamento da declividade do município de Santaluz, sobretudo, nas áreas de probabilidade mais intensa da ação dos processos erosivos. Nesse caso, destacam-se os terrenos mais elevados, enquanto que sob outra perspectiva, é fundamental mais atenção nas áreas de imediações das drenagens dos canais fluviais, a fim de evitar que ações antrópicas possam contribuir para o agravamento desses processos nesses ambientes.

Por fim, o estudo da declividade é bastante pertinente no que tange as diversas aplicações, dentre as quais destacam-se a cartografia de precisão, elaboração de modelos digitais de superfície, mapeamento do uso e ocupação da terra, mapeamento de desastres naturais e planejamento urbano para efetivação da legislação ambiental, e até mesmo para avaliar o impacto das ações antrópicas no relevo.

Por isso, é notável a relevância do desenvolvimento de mais pesquisas na área em estudo, visto que um estudo como este é essencial no que se refere ao desenvolvimento de instrumentos que subsidiem a redução dos efeitos negativos da ação humana no município de Santaluz, haja vista que a falta de um planejamento ambiental pode refletir em formas desordenadas de utilização do território, provocando naturalmente impactos sociais, econômicos, e sobretudo, ambientais.

Referências

BITAR, O. Y. (Coord.). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1:25.000: **Nota Técnica Explicativa**. São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2014 (Publicação IPT 3016). 2014.

BRASIL. Lei nº. 12.608, de 10 de abril de 2012**.** Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC;. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 11 abr. 2012.

BRASIL. Lei nº. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2012.

BRASIL. Lei nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965 – (D. O. U. de 16-09-1965). Código florestal brasileiro. **Diário Oficial da União** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.h>. Acesso em: 02 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1979.

CARVALHO, C.S.; MACEDO, E.S.; OGURA, A.T. (org.). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT e Ministério das Cidades. Brasília, DF. 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**, 2ª edição, São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda., 187p, 1980.

DE BIASI, Mário. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 45-60, 1992.

DENT, D.; YOUNG, A. **Soil Survey and Land Evaluation**. London: George Allen & Unwin (Ed.), 278p, 1981.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 18 jan. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA**. Serviço nacional de Levantamento e Conservação de Solos.** Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Censo demográfico.** IBGE, 2010. Disponível em:< http://www.censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 dez. 2019.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DA BAHIA. **Comitê de bacia hidrográfica do Itapicuru**. 2019. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-itapicuru/>. Acesso em: 19 dez. 2019.

PINTO, C. T. *et al.* 2015. Identificação de áreas susceptíveis aos processos erosivos na região do Vale do Paraíba. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, XVII. João Pessoa-PB. **Anais**... Paraíba: INPE. 2015.

SATO, S. E.; CUNHA, C. M. L. da.; PEREIRA, A. C. A carta de declividade como instrumento para o gerenciamento costeiro paulista. VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM. Anais. São Carlos, 2009. Disponível em: <http://www.ambienteaugm.ufscar.br/uploads/A2-105.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2019.

SILVEIRA, C. T. *et al.* Mapeamento de declividade de vertentes: aplicação na APA de Guaratuba/Paraná. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. **Anais.** Goiânia/Brasil. Set. 2006.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Cartografia de referência**: Base de dados. Salvador: SEI, 2015.

YAMANA GOLD. RIMA – **Relatório de Impacto Sobre o Meio Ambiente do Projeto C1 Santa Luz.** Ampla Projetos e Serviços em Meio Ambiente Ltda. 2009.

MAPEAMENTO DA DECLIVIDADE DO MUNICÍPIO DE SENHOR DO BONFIM ENQUANTO SUBSIDIO AO PLANEJAMENTO E ORDENAMENTO TERRITORIAL

Felipe de Souza Reis
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
Rua Mario Gonçalves, nº 29. Senhor do Bonfim – BA. CEP: 48970-000.
E-mail: felipesouzareis01@gmail.com
Gabriel Carneiro Silva Cunha
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
Praça do Comércio, nº 884, Tijuaçu. Senhor do Bonfim – BA. CEP: 48970-000.
E-mail: gabriel.carneiro@discente.univasf.edu.br
Sirius Oliveira Souza
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
Rua Tomas Guimarães, S/N, Bairro Santos Dummont. Senhor do Bonfim – BA. CEP: 48970-000.
E-mail: sirius.souza@univasf.edu.br
Sarah Andrade Sampaio
Universidade Estadual da Bahia - UNEB
Rua Silveira Martins, nº 2555. Cabula, Salvador – BA. CEP: 41150-000.
E-mail: sarahandradegeo@gmail.com

Resumo

Este trabalho tem como objetivo diagnosticar a declividade do município de Senhor do Bonfim – BA, com o intuito de compreender a dinâmica espacial através das unidades clinográficas. Visa assumir, também, a análise científica tomando por parâmetro a característica semiárida na qual o município está localizado. Para este diagnóstico, utilizou-se como base as imagens do satélite *Advanced Land Observing* (ALOS PALSAR), posteriormente integradas no Sistema de Informação Geográfica (SIG), pelo *software* QGIS 2.18.22, por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE), presente na opção Raster>análise>MDE. Os resultados obtidos atestam a predominância de níveis de declividade entre 5 e 15%, seguidos de 2 e 5%. Ao final, o trabalho realizado pretende colaborar aos estudos de ordenamento e auxiliar melhores propostas de planejamento para o uso e a ocupação da terra ao longo de municípios situados em regiões semiáridas tropicais.

Palavras-chave: ALOS PALSAR; Modelo de elevação; Dinâmica espacial.

1. Introdução

Considera-se o relevo enquanto elemento imprescindível da paisagem física, tipificada em formas salientes e deprimidas. Sua análise, a priori, permite a identificação da modelagem das formas, entre elas, a distribuição da inclinação por meio de mapas de declividade, que, por sua vez, corroboram os estudos de planejamento e ordenamento territorial, bem como uso e ocupação da terra (GUERRA, 2004; CARVALHO, MACEDO e ORGULHA, 2007; SILVEIRA, C. T. et al., 2006).

Sobre essa temática, Casseti (1994), afirma que a declividade é o grau de inclinação que a superfície da Terra pode apresentar em relação a um eixo horizontal. Dessa forma, o diagnóstico da declividade emerge enquanto ferramenta de vital importância, tanto pela representação gráfica, como pela disposição de dados de declives que podem apresentar riscos (COLAVITE, 2012).

Sob esse ponto de vista, tal arranjo de alteração da natureza pode acabar propiciando a aceleração da remodelagem do espaço. Para Silveira et al., (2006), o nível de inclinação de uma vertente configura-se enquanto um dos principais causadores de instabilidade em encostas, podendo ocasionar movimentos gravitacionais aliados a dinâmica das encostas e processos erosivos.

Sobre a movimentação gravitacional de massa em encostas, é cogente afirmar que quanto mais acentuado o declive, maior é a probabilidade de ocorrência de transporte de sedimento por meio da gravidade, bem como movimento hídrico erosivo, propiciando assim a remodelagem do relevo (CARVALHO, MACEDO e ORGULHA, 2007). A isso se acrescente, ainda, os elevados níveis de ocupação associados a estruturas geológicas e geomorfológicas, cuja natureza e evolução favorecem a atuação de processos complexos e dinâmicos (JATOBÁ, 1994).

Posto isto, entender os aspectos da declividade implica na compreensão de ordenamento, haja vista o alto índice de intervenção antrópica em áreas naturais. São exemplos desta modificação os aterros, construções vicinais e desmatamento de vertentes (BURROUGH, 1986; JATOBÁ, 1994).

Dessa maneira, ao longo do semiárido brasileiro, optou-se por estudar o município de Senhor do Bonfim, localizado no centro norte do estado da Bahia, com cerca de 789,361 km² de área e população estimada de 81.218 habitantes (IBGE, 2018). A escolha justifica-se pela inexistência de dados sobre a declividade deste município, considerado a capital regional do Território de Identidade Piemonte Norte do rio Itapicuru (TIPNI) (SEI, 2018).

O presente trabalho encube-se, então, de diagnosticar a declividade no município de Senhor do Bonfim - BA, enquanto subsidio ao planejamento e ordenamento territorial, com o intuito, ainda, de compreender a dinâmica geomorfológica da área.

Nesse contexto, segundo Rodrigues (2000), o aparato tecnológico disponibilizado pelos *softwares* que lidam com produção georreferenciada é de grande valia no auxílio e organização territorial, amenizando o uso desordenado e, além disso, evitando possíveis tragédias advindas da má organização espacial e da escolha de áreas de risco para ocupação.

Diante da baixa ocorrência de estudos que versem sobre a declividade em ambientes semiáridos tropicais e da fragilidade de planejamento na qual o município está inserido, este trabalho também se legitima com base nos instrumentos da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), constituída pela lei Federal 12.608/2012 (BRASIL, 2012), que contempla, entre seus princípios fundamentais, as ações de prevenção e mapeamento, bem como sua integração às demais políticas setoriais, como as de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano e meio ambiente.

Nessa perspectiva, a compreensão da declividade do município de Senhor do Bonfim (BA) poderá fundamentar a proposta da Área de Proteção Ambiental da Serra de Jacobina (BA). E ao mesmo tempo, também poderá contribuir para as tomadas de decisões implícitas ao planejamento e ordenamento ambiental de outras unidades de conservação associadas à área em estudo, tais como o Parque Nacional da Chapada Diamantina e o Parque Estadual das Sete Passagens (CONCEIÇÃO, et al., 2007).

2. Área em Estudo

O município de Senhor do Bonfim se localiza no centro norte do estado da Bahia (Figura 1), situando-se entre os paralelos 10°25'56.37"S e 10°32'36.87"S e os meridianos 40°11'27.97"O e 40°14'55.88"O de Greenwich. Este município se limita ao norte com Jaguarari. Filadélfia e Itiúba ao sul, Campo Formoso e Antônio Gonçalves a oeste. A leste, faz divisa com o municipio de Andorinha e compõe um dos principais municípios do Território de Idenditade Piemonte Norte do Itapicuru (SEI, 2018).

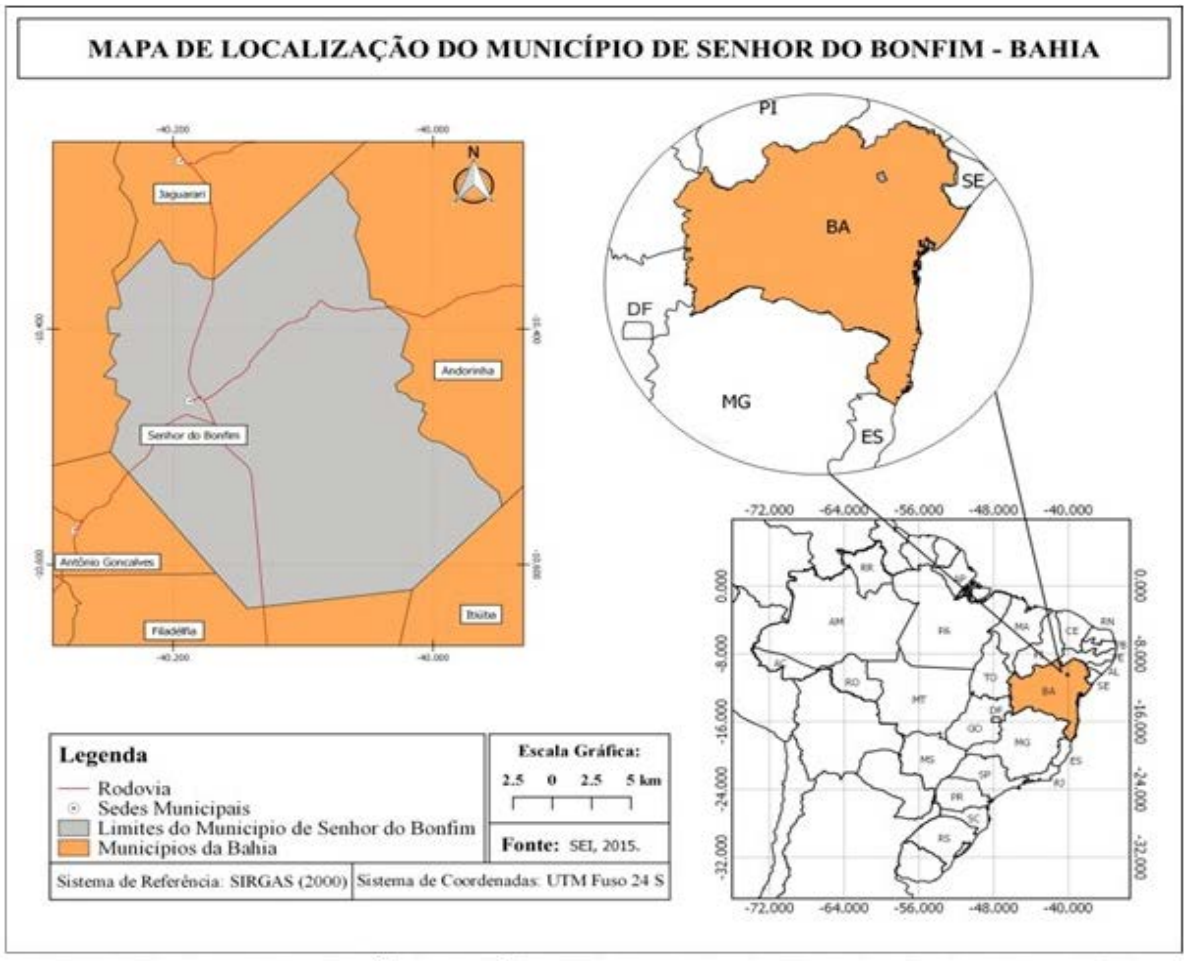


FIGURA 1: Mapa de localização do Município de Senhor do Bonfim.
Fonte: Arquivo dos Autores, 2020

No que se refere ao contexto geológico, Senhor do Bonfim estrutura-se sobre o domínio geotectônico da Bahia Oriental, inserido no Cráton do São Francisco, ao qual associam-se terrenos do arqueozoico e paleoproterozoico do tipo granito-greenstone e cinturões móveis de médios e altos graus metamórficos

(CBPM, 2003). Com predominância das unidades litológicas saúde e fáceis do Itapicuru, compostas principalmente por quartzitos que são abundantes desde o norte ao sul do município, bordejando a leste a Serra da Jacobina (SEIXAS, 1980).

Tais estruturas condicionaram a origem de diferentes formas de relevo do semiárido, com destaque para a presença de pediplanos, pedimentos, inselbergues e tálus (MACHADO, 1993). Nestas unidades, ocorreram processos pedogenéticos que deram origem aos Argissolos, Latossolos, Neossolos e Planossolos, com destaque para o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, que ocupa 70% da área total do município (CPRM, 1998).

A formação geológica citada, associada a condicionante da localização regional reafirmam o clima semiárido que recobre o município, marcado pela irregularidade das precipitações e escassez hídrica. As temperaturas médias são elevadas, em torno de 27º C e a amplitude térmica média anual é em torno de 5º C (IBGE, 2007).

Drenam o muncípio os rios do Prata, Itapicuru Mirim e Coité, de características interminentes e, ademais, a bacia que compreende a faixa territorial é a Bacia do rio Itapicuru. O município ainda possui barragens de grande relevância, a exemplo de Andorinha II e Quicé, e do açude do Sohen, que fomenta a economia local dos povoados que cercam o mesmo (SEI, 2018).

Senhor do Bonfim possui uma localização estratégica dentro do estado baiano, fator que influenciou intrinsecamente o seu desenvolvimento socioeconômico. Por ligar a capital ao interior da Bahia, o municipio tornou-se um entreposto comercial, tendo sido um importante aliado na histórica interiorização do Brasil, nos ciclos do Gado, e local de passagem de tropeiros e garimpeiros que iam em direção à cidade de Jacobina (MACHADO, 1993).

No que se refere ao uso e ocupação da área em estudo, o município de Senhor do Bonfim conglomera um mosaico de categorias, com destaque para a ocorrência de Caatinga Arbustiva, Cultivos Agrícolas, Floresta de Transição e áreas urbanas. Quanto às áreas urbanas, Reis e Souza (2020) indicam que estas tem se expandido, principalmente em áreas próximas a serra que bordeja a parte oeste do município. Tal crescimento é legitimado, pelo recente surgimento de loteamentos, condomínios e edificações.

Desse modo, a problemática surge no cerne da contínua expansão urbana de Senhor do Bonfim, visto que as áreas nas imediações das serras possuem maior susceptibilidade à riscos ambientais por conta do nível de inclinação do terreno. Assim sendo, o planejamento e ordenamento territorial são instrumentos que podem contribuir na redução de tais potencialidades.

3. Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo, o mesmo foi dividido em três principais etapas: a primeira composta de revisão bibliográfica acerca da declividade enquanto subsidio ao planejamento e ordenamento territorial, principalmente em regiões semiáridas tropicais; a segunda, composta pela aquisição das imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS PALSAR) e a terceira etapa caracterizada pela integração dos dados e valores, bem como categorização da imagem em ambiente SIG, com uso do *software* Quantum GIS (versão 2.18.22) e pela redação final da pesquisa. Apresenta-se a seguir, o detalhamento dos principais procedimentos relativos à segunda e à terceira etapa.

Para a elaboração deste trabalho, inicialmente procedeu-se a aquisição da imagem do satélite ALOS, que é disponibilizada gratuitamente pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Universidade do Alaska Fairbanks <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>> com resolução espacial de 12,5m. Cabe ressaltar que o satélite

ALOS foi lançado em 2006, pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (*JAXA*), tendo como período de cobertura 2 dias (off-nadir) e 46 dias (nadir) (JAXA, 2008).

O ALOS também dispõe entre seus mecanismos de sensoriamento remoto o radiômetro *Panchomitc Remote-sensing Instument for Stereo Mapping* (*PRISM*), que de acordo com dados da EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA, 2013) é um radiômetro pancromático e possui uma resolução espacial de 2,5 metros, o radiômetro multiespectral *Advanced Visible and Near-Infraed Radiometer type 2* (*AVNIR-2*), este, opera nas regiões do visível e do infravermelho com uma resolução espacial de 10 metros, e o radiômetro PALSAR *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*, caracterizado por ser um radar de abertura sintética e obter imagens em quaisquer condições atmosféricas (EMBRAPA, 2013).

O PALSAR corresponde a um radar imageador de abertura sintética que trabalha com resoluções espaciais que podem variar entre 10 a 100 m (IGARASHI, 2001). Por isso, é válido salientar que a utilização de imagens do ALOS PALSAR permite a aquisição de dados topográficos verossímeis por possuir sensor de alta frequência.

Assim, com o intuito de reprojeção, a imagem foi aberta no *software Quantum* GIS (versão 2.18.22) e configurada com a projeção UTM 24S WGS84 (EPSG:32724), por meio da opção Projeto>Propriedades do projeto>SRC. O passo seguinte foi a extração da declividade e construção do mapa em ambiente SIG.

Em seguida, elaborou-se um Modelo Digital de Elevação (MDE), que consiste na representação de modelos 3D em curvas de nível e análise de variáveis morfométricas das vertentes (LIPORACI et al., 2003). Desse modo, foi possível fazer a extração dos valores de declividade através do menu Raster>análise>MDE. Optou-se por analisar os dados em porcentagem, através da opção '*percent*', no mesmo comando anterior.

Tendo em vista o que contempla a Lei 6.766/1979, acerca da definição de terrenos para expansão urbana, bem como pela Lei 12.608/2012, que no Art. 4º aponta o planejamento com base em pesquisas e estudos sobre áreas de risco e incidência de desastres no território nacional, acrescido ainda pela bibliografia sobre declividade e seus impactos, foram elaborados intervalos para categorizar o nível do declive por meio de porcentagem. Apresenta-se a seguir o detalhamento dos intervalos escolhidos para esta pesquisa na Tabela 1.

TABELA 1
Descrição das classes de declividade adoradas

QUADRO 1
Descrição das classes de declividades adotadas.

Porcentagem (%)	Descrição	Cor
< 2	Áreas sujeitas a inundações (DENT e YOUNG, 1981).	Verde escuro
2 ├ 5	Área urbano-industrial (BRASIL, 1979).	Verde militar
5 ├ 15	Área passível de emprego da mecanização na agricultura (BITAR, 2014).	Verde neon
15 ├ 30	Área de urbanização sem restrições (BRASIL, 1979).	Amarelo
30 ├ 37	Áreas limite para manejo florestal de corte raso (BRASIL, 2012).	Laranja
>37	Terrenos onde já se iniciam os movimentos de massa no litoral paulista (CARVALHO, MACEDO e OGURA, 2007)	Vermelho

Fonte: Autores, 2020.

4. Resultados e Discussões

Mediante a observação do comportamento dos intervalos por meio do mapa elaborado (Figura 2), bem como pela análise dos dados extraídos pelos procedimentos supracitados, tornou-se possível obter a identificação da declividade do município de Senhor do Bonfim – BA (Tabela 2).

TABELA 2
Classes de declividade

TABELA 1
Classes de declividades.

Classe	Área	
	Km	%
≤ 2	104,57	6,44
2 |- 5	176,24	10,86
5 |- 15	385,28	23,73
15 |- 30	71,30	4,39
30 |- 37	18,06	1,11
≥ 37	33,91	2,09
Total	789,36	100,00

Fonte: Autores, 2020

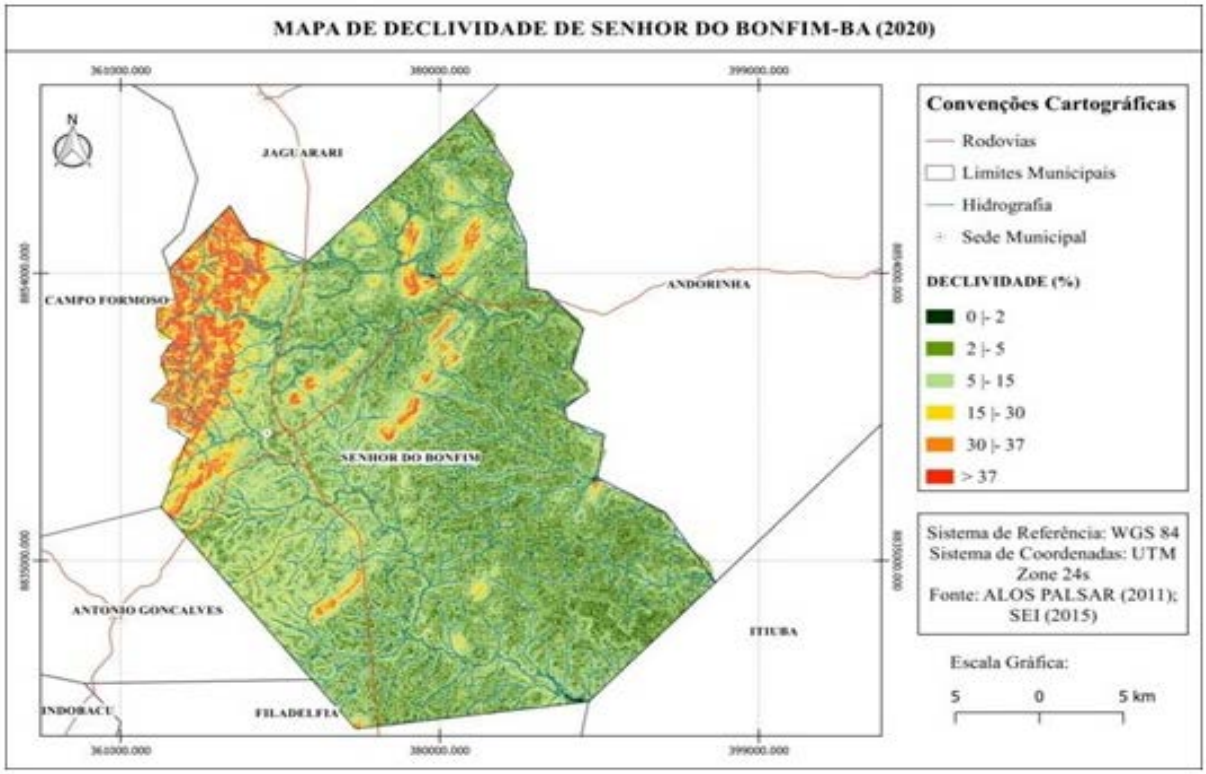


FIGURA 2: Mapa de declividade de Senhor do Bonfim- BA.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Pode-se observar que a classe mais presente no município (5% |- 15%) detém 23,73% da faixa territorial, correspondendo a uma área de 385,28 km². Tais áreas possuem, de maneira geral, um contexto geomorfológico onde predominam depósitos coluvionares e depósito de tálus. No que se refere a esse último, Penteado (1978), afirma que são formas de inclinação que se encontram abaixo da cornija, tendo a linha de contato da camada resistente com a tenra. Deve-se considerar a dinâmica pluvial que é exercida sobre a forma do relevo que movimenta e erode as vertentes transportando sedimentos aos depósitos coluvionares (PENTEADO, 1978).

É cogente associar a esta classe zonas passíveis de emprego da mecanização na agricultura (BITAR, 2014). Contudo, por estarem associadas a depósitos coluvionares e depósito de tálus, e tendo em vista seus níveis de declive, reafirma-se a necessidade de planejamento destas áreas.

Ainda por meio de análise decrescente dos dados de declividade, a classe entre 2 e 5% possui 176,24 km² de área, ou 10,86% do município. Associa-se a este intervalo áreas de urbanização sem nenhum tipo de restrição, segundo o que consta na Lei nº 6.766/1979 (BRASIL, 1979). São áreas passíveis de serem urbanizadas e ocupadas por atividades, com os devidos cuidados quanto ao planejamento do uso e ocupação e manutenção do equilíbrio dos sistemas ambientais presentes.

A classe ≤ 2% apresentou 6,44% da área territorial, totalizando cerca de 104,57 km². Em geral, mostram-se em áreas aplainadas e depósito de sedimentos, sendo em maior parte constituída por planícies fluviais, terraços e pedimentos. Nota-se nestas áreas a influência da erosão pluvial enquanto elemento modelador, tanto linear no caso das planícies, quanto escoamento difuso laminar nos pedimentos. Segundo Dent e Young (1981), áreas com tal percentual de declive podem estar sujeitas a inundações.

Os pedimentos, assim, são caracterizados pelo seu relevo menos declivoso sobre rochas duras, sobretudo cristalinas, apresentando um perfil côncavo em relação ao talvegue mais próximo (JATOBÁ, 1994). Para Bigarella, Marques Filho e Ab'Saber (1961), o pedimento resulta da erosão no sopé das vertentes íngremes, aplainada, pode estar sob uma cama espessa de alúvio, e além disso, seu desenvolvimento se dá até o encontro com a planície aluvial dos vales.

Nesta classe, além da ocorrência dos pedimentos, destaca-se a existência das planícies e terraços fluviais, que são unidades geomorfológicas associadas a possíveis inundações periódicas, seja de natureza fluvial ou pluvial. Nesse contexto, sugere-se que estas áreas sejam conservadas e/ou preservadas quanto ao uso e ocupação, tendo em vista o elevado risco a inundações e enchentes, na ocorrência de fortes chuvas concentradas e eventos extremos.

As áreas com declividade entre 15 e 30% ocupam cerca de 4,39% da faixa territorial total, correspondendo a 71,30 km² de extensão. Estas, expressam-se na maioria das vezes por meio de planaltos ondulados e base de vertentes. Para Zimback e Rodrigues (1993), é recomendado cuidado extensivo com o solo em áreas que apresentam estas declividades, principalmente se houver prática agropecuária. Ente intervalo ainda configura limite para ocupação com agricultura, sendo importante cuidados relativos ao solo e projetos de ordenamento.

Segundo Ramalho Filho e Beek (1995), por estarem dentro da porcentagem e grau mencionado, tais áreas estão susceptíveis à erosão e maior fluxo torrencial. Legalmente, estas áreas também não sofrem nenhum tipo de restrição para urbanização, uma vez que estão no limite de inclinação, no entanto, acima deste índice faz-se necessário planejamento geotécnico específico (BRASIL, 1979).

Sobre a erosão em vertentes é possível afirmar que; dentro desta classe o modelado do relevo sofre mais intensidade se comparada as anteriores, ocasionada pela força gravitacional que impele o transporte do fluxo torrencial através das vertentes, bem como pelas características geológicas de rochas menos resistentes. Este processo, entretanto, pode gerar áreas de relevo dissecado e altamente erodido (GUERRA e MENDONÇA, 2004).

Verifica-se, em seguida, que as áreas acima de 37% de declive possuem 2,09% do território, total de 33,91 km² do território municipal de Senhor do Bonfim. Nota-se, que o relevo deste grau se expressa em geral por planaltos e serras (SILVEIRA, C. T. et al., 2006).

Em Senhor do Bonfim, esta classe encontra-se de maneira acentuada na região oeste (Figura 3), ocorrendo também nas áreas norte e noroeste do município. Estão associadas – na parte oeste –, as serras que compreendem a borda da Serra da Jacobina, integrantes do conjunto que forma o trecho norte da Chapada Diamantina, como a Serra da Maravilha e Serra do Gado Bravo.



FIGURA 3: Serras que compõe a parte norte do município
Fonte: Autores, 2020

Compondo áreas isoladas do município, principalmente no centro-norte, pode-se destacar a presença de inselbergues enquanto forma de relevo cujo grau de declive ultrapassa os 37%. Tais áreas apresentam vertentes íngremes e certo grau de desnível entre planalto e planície. Entretanto, no que tange ao planejamento destas regiões, o cuidado deve ser maior, uma vez que inúmeros são os motivos que podem propiciar problemas pelo uso desordenado destas áreas.

De acordo com Ross e Moroz (1997), as unidades que correspondem às áreas bastante elevadas possuem alto nível de fragilidade, com potencial para ocorrência de deslizamentos e processos erosivos significativos. Nesse sentido, deslizamentos de massa propiciado pelo alto nível de dissecação das vertentes e alagamentos ocasionados pelo alto escoamento superficial são exemplos dos problemas que o mau uso destas regiões pode causar.

A classe menos presente corresponde ao nível de declividade entre 30 e 37%, com um total de 18,06 km² e 1,11% do território municipal da área em estudo. Entende-se, que estas áreas configuram local limite para manejo florestal de corte raso, bem como solos superficiais sustentados pela cobertura vegetal (BRASIL, 2012).

É cogente afirmar que segundo a Lei Federal n. 6.766 de 19 de dezembro de 1979, tais locais são caracterizados por possuírem aptidão insatisfatória ao uso residencial, existindo exceção apenas mediante planejamento e cumprimento das exigências técnicas quanto à preservação do meio físico. (ROSS e MOROZ, 1997; BRASIL, 1979).

5. Considerações Finais

Os procedimentos utilizados neste trabalho, pautados em rotinas de SIG e análises de declive, não dispensaram a prática de levantamento de dados bibliográficos. Ainda que o geoprocessamento exponha índices confiáveis, a quantificação associada à escala em que o trabalho foi desenvolvido poderia camuflar fenômenos específicos e suas peculiaridades, sendo necessário, portanto, o entendimento teórico do comportamento das unidades geomorfológicas mediante o índice de declividade. Considera-se, ainda, que as técnicas de SIG aplicadas se saíram hábeis para a escala de estudo proposta (1:50.000).

Quanto à análise da declividade no município de Senhor do Bonfim, ficou constatado o predomínio do intervalo entre 5% e 15%, cujo contexto se expressa em alguns depósitos coluvionares e depósito de tálus. Verificou-se, também, uma grande presença da classe entre 2% e 5%, esta, corresponde ás áreas de urbanização sem nenhum tipo de restrição (BRASIL, 1979).

As demais classes foram menos presentes no território municipal, mas expressam zonas de real necessidade de estudo e planejamento territorial. Percebe-se, de maneira geral, a premência de pesquisas nesta área, visando à valorização e conservação do ambiente natural, que sirvam enquanto instrumentos que colaborem com a minimização das repercussões negativas da atuação antrópica.

Este trabalho se torna importante na medida em que pode ser aproveitado como um norteador das políticas públicas de ordenamento e planejamento dos ambientes semiáridos tropicais – principalmente na área em estudo –, de forma que as futuras ocupações e o desenvolvimento social e econômico possam ser compatíveis com as fragilidades dos ambientes naturais.

Face ao exposto, o diagnóstico produzido permitiu constatar a dinâmica do declive, bem como sua distribuição no município, aferindo os locais de maior ocorrência de áreas susceptíveis a problemas mediante o nível de inclinação por meio do mapa de declividade. Ao mesmo tempo em que este estudo possibilita a compreensão do contexto geral da área em estudo, pode corroborar com futuros projetos voltados às fragilidades e potencialidades do ambiente.

Referências

BIGARELLA, J. J.; MARQUES FILHO, P. L.; AB'SABER, A. N. Ocorrência de pedimentos remanescentes nas fraldas da serra do Iquererim (Garuva, SC). Boletim Paranaense de Geografia, 4 e 5:83-93. 1961.

BITAR, O. Y. (Coord.). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1:25.000: **Nota Técnica Explicativa**. São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2014 (Publicação IPT 3016). 2014.

BRASIL. Lei nº. 12.608, de 10 de abril de 2012**.** Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC;. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 11 abr. 2012.

BRASIL. Lei nº. 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1979.

BURROUGH, Peter A. Principles of geographical. **Information systems for land resource assessment. Clarendon Press, Oxford**, 1986.

CARVALHO, C.S.; MACEDO, E.S.; ORGULHA, A.T. (org). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e Ministério das Cidades**. Brasiília, DF. 2007.

CASSETI, Valter. Elementos de geomorfologia. **Goiânia: Editora da UFG**, p. 137, 1994.

COLAVITE, Ana Paula, and Messias Modesto dos Passos. **"Integração de mapas de declividade e modelos digitais tridimensionais do relevo na análise da paisagem.**" Revista Geonorte 3.5: 1547-1559. 2012.

COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL - CBPM. Bacia do São Francisco entre Santa Maria da Vitória e Iuiú, **Bahia: geologia e potencialidade econômica Salvador**, 2003.

COMPANHIA DE PESQUISAS DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. – Curitiba – Folha SG.22-X-D-I Estado do Paraná**. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil**. São Paulo, DNPM /CPRM /Min. Minas e Energia, 1998.

CONCEIÇÃO, A. A.; GIULIETTI, A. M.; MEIRELLES, S. T. **Ilhas de vegetação em afloramentos de quartzito-arenito no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasi**l. Acta Botanica Brasilica, v. 21, n. 2, p. 335-347, 2007.

DENT, David *et al.* **Soil survey and land evaluation**. George Allen & Unwin., 1981.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 16 fev. 2013.

GUERRA, A. T.; MENDONÇA, J. K. S. **Erosão dos solos e Questão ambiental**. In: Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, Antonio José Teixeira; MENDONÇA, Jane Karina Silva. Erosão dos solos e a questão ambiental. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 225-256, 2004.

IGARASHI, T. **ALOS mission requirements and specifications**. Advances in Space Research, v. 28, n. 1, p. 127-131, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, Cidades, 2007. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, Produção Agrícola Municipal, 2007. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

JATOBÁ, L. **A Geomorfologia do Semi-árido**. Universidade Federal de Pernambuco, 1994.

JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency. Earth Observation Research AND Application Center. ALOS Data Users Handbook. Revision C. 2008.

LIPORACI, S. R.; Röhm, S. A.; Pedro, F. G.; Cereda Junior, A. **Comparação entre diferentes técnicas digitais para elaboração do modelo digital do terreno e da carta de declividades, com aplicação em mapeamento geológicogeotécnico** e

análise ambiental. Revista Holos Environment, v. 3, n. 2, p. 85–102, 2003.

MACHADO, P. B. **Cartilha Histórica sobre as origens de Senhor do Bonfim**. Salvador: Universidade do Estado da Bahia, 1993.

PENTEADO, Margarida Maria. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: Ibge, 1978.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 65p, 1995.

REIS, F. S.; SOUZA, S. O. **Mapeamento do uso e ocupação do município de Senhor do Bonfim - BA enquanto subsídio ao planejamento ambiental.** Senhor do Bonfim - BA. 2020. No prelo.

RODRIGUES, A. C. M. **Mapeamento Multitemporal do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião-SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM-Landsat e HRV-SPOT**. São José dos Campos: INPE, 94p. 2000.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfologico do Estado de São Paulo. **Laboratório de Geomorfologia**. São Paulo; departamento de geografia – FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESB, 1997.

SEIXAS, S. R. M.; LOUREIRO, H. S. C.; AZEVEDO, R. R. **Projeto Mundo Novo. Relatório de Progresso**. CPRM, Salvador, v. 3, 1980.

SILVEIRA, C. T. *et al.* Mapeamento de declividade de vertentes: aplicação na APA de Guaratuba/Paraná. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. **Anais.** Goiânia/Brasil. Set. 2006.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. Salvador: SEI,. v. p.252 (Série territórios de identidade da Bahia, v. 3). 2018.

ZIMBACK, CRL,; RM RODRIGUES. "**Determinação da capacidade de uso das terras da Fazenda Experimental São Manuel/ UNESP**." Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. 1993.

MAPEAMENTO DA LINHA DE COSTA DO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL ENTRE 1984 E 2020 ATRAVÉS DO GOOGLE EARTH ENGINE

Karina Costa de Almeida
Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense
Av. General Milton Tavares de Souza, s/nº, Niterói, Rio de Janeiro.
CEP: 24210-346. Brasil
E-mail: karinacosta@id.uff.br
André Paulo Ferreira da Costa
Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense
Av. General Milton Tavares de Souza, s/nº, Niterói, Rio de Janeiro.
CEP: 24210-346. Brasil
E-mail: dacostaandreo1@gmail.com
Thaís Baptista da Rocha
Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense
Av. General Milton Tavares de Souza, s/nº, Niterói, Rio de Janeiro.
CEP: 24210-346. Brasil
E-mail: thaisbaptista@id.uff.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo mapear a linha de costa do delta do rio Paraíba do Sul entre 1984 e 2020 utilizando a plataforma do Google Earth Engine. A progradação do delta ocorre de diferentes formas em sua extensão, tendo presente a dinâmica de *spits* no flanco norte, a sucessão de bermas em Grussaí e ao norte de Gargaú e ressaltamos a erosão em Atafona. Os resultados mostraram a característica progradante do delta, tendo um balanço de área positivo. Entretanto, de 2014 em diante o gráfico de área mostra que a erosão tem aumentado. O Google Earth Engine, como ferramenta que permite o processamento de grande número de dados em nuvem, tem dado grande suporte aos pesquisadores em questão de tempo e infraestrutura.

Palavras-chave: Mapeamento, Landsat, Google Earth Engine

1. Introdução

A costa brasileira possui mais de 9.200 km de comprimento, que se estende entre as latitudes 4°N e 33°S, tornando possível observar uma enorme variedade de aspectos geomorfológicos. Nos últimos 5.500 anos o litoral brasileiro aponta características de emersão de até 4,5 m, devido ao abaixamento relativo do nível do mar (ANGULO *et al.* 2006). Somando o aporte sedimentar oriundo de expressivas bacias de drenagem e as características da plataforma continental típicas de margens passivas, o litoral brasileiro possui condições favoráveis à construção de deltas. Com isso, a costa leste do Brasil conta com grandes feições deposicionais construídas a partir da desembocadura dos rios Jequitinhonha, Doce e, em destaque para esse trabalho, o Paraíba do Sul (MUEHE, 2006)

O delta do rio Paraíba do Sul é classificado como "dominado por ondas" possuindo morfologia em cúspide e progradação apoiada na incorporação de Barreiras Arenosas Costeiras (BACs) à planície. As BACs, segundo definição de Davidson-Arnott (2010), são feições deposicionais lineares desenvolvidas a partir da acumulação de material arenoso, cascalho, conchas e matéria orgânica paralela à linha de costa. Essas aparecem de diferentes formas na planície costeira do delta do rio Paraíba do Sul (VASCONCELOS *et al*., 2016, FERNANDEZ E ROCHA, 2015). No flanco norte do delta são desenvolvidas em forma de *spits* (COSTA, ROCHA e FERNANDEZ, 2020; COSTA & ROCHA, 2018; VASCONCELOS *et al*, 2016, FERNANDEZ E ROCHA, 2015). Enquanto no flanco sul, a partir da incorporação das cristas de praia (FERNANDEZ E ROCHA, 2015)

A contínua construção deposicional do delta a partir da incorporação das BACs gera reflexos na dinâmica da linha de costa que, normalmente, resulta no processo de acreção. Ainda assim, podem ocorrer períodos de estabilidade e até recuo da linha de costa, como ocorre em Atafona, localizada próxima à foz do rio Paraíba do Sul, no flanco sul do delta. De acordo com Machado (no prelo), a taxa de erosão costeira nesta área chega à 5,0 m/ano. A dinâmica da linha de costa no delta do rio Paraíba do Sul frequentemente têm sido alvo de investigação nas últimas décadas, porém a maioria dos trabalhos se concentram no flanco sul do delta e realizam o mapeamento a partir de poucas imagens (SANTOS, 2006; ROCHA *et al*. 2018; VASCONCELOS *et al*. no prelo). Nesse sentido, há uma lacuna espaço-temporal na análise da dinâmica da linha de costa deste delta, uma vez que os mapeamentos tendem a não retratar a dinâmica dos dois flancos conjuntamente, e as imagens tendem a possuir intervalos temporais irregulares.

Segundo Weckmüller e Vicens (2018), o paradigma chamado "Space First", que priorizava a variável espaço nos estudos de mudança na paisagem, vem perdendo lugar para o chamado "Time First", onde a variável tempo passa a ser mais importante. A análise multitemporal de imagens de satélite permite identificar a trajetória evolutiva da paisagem e, assim, diversas dinâmicas espaciais, sejam elas de origem natural ou antrópica (WECKMÜLLER E VICENS, 2018). Esse tipo de análise muitas vezes requer grande capacidade de processamento das máquinas e longo tempo de execução. A plataforma Google Earth Engine (GEE), lançada em 2017, permite o processamento em nuvem de grande quantidade de dados geoespaciais, sobrepujando, em parte, a problemática relacionada ao tempo de processamento e capacidade computacional. Autores como Luijendijk *et al*. (2018) e Donchyts *et al*. (2016) utilizaram a plataforma para obter e processar dados em escala global na análise de processos costeiros. A partir do desenvolvimento dessas novas ferramentas e trabalhos, tem crescido a capacidade de interpretação de processos em escalas espaciais e temporais diversas. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo mapear a dinâmica da linha de costa através da análise de perda e ganho de área emersa do delta do rio Paraíba do Sul entre os anos de 1984 e 2020, através das imagens da série histórica LANDSAT disponíveis no Google Earth Engine (GEE).

2. Área de estudos

Estendida pelos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, a bacia do rio Paraíba do Sul possui área de drenagem equivalente a 55.500 km2 até a atual desembocadura em Atafona, distrito de São João da Barra (AGVAP, 2006). O Complexo deltaico do rio Paraíba do Sul (CDRPS) é fruto da sedimentação dessa bacia, estando localizado no Norte Fluminense (RJ), abrangendo os municípios de Carapebus, Quissamã, Campo dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco de Itabapoana. Esse ambiente sedimentar passou por diversas fases de deltação, possuindo características particulares por sua extensão. O complexo é dividido pelo cabo de São Tomé, tendo a porção sul sido formada no pleistoceno (120 mil anos atrás) e a porção a norte no Holoceno (5,5 mil anos atrás) (FERNANDEZ E ROCHA, 2015). A planície setentrional, configurada pelo delta atual, recebe ativamente a deposição de sedimentos enquanto a porção meridional preserva resquícios do domínio do delta.

A área de estudos do presente trabalho se estende pela linha de costa do atual delta do rio Paraíba do Sul (Figura 1). Mais especificamente, foi realizado mapeamento no litoral dos distritos de Atafona e Grussaí e Gargaú, pertencentes aos municípios de São João da Barra e São Francisco de Itabapoana, respectivamente. O delta está inserido em litoral dominado por ondas, onde a junção do aporte sedimentar e o retrabalhamento dos sedimentos pelo regime de ondas propicia a formação de barreiras arenosas.

O Delta do rio Paraíba do Sul é assimétrico devido ao regime de ondas oblíquas que chegam à costa propiciando a presença de barreiras arenosas de diferentes formas em suas porções Norte e Sul. No Flanco Sul do delta a planície costeira é caracterizada pela sequência de cristas de praia e depressões arenosas (ROCHA, *et al.*, 2019; VASCONCELOS *et al*, 2016; FERNANDEZ E ROCHA, 2015). Essas cristas de praia são anexadas a planície através do espraiamento das ondas (FERNANDEZ E ROCHA, 2015). Além disso, Rocha, *et al.* (2019) datou as cristas de praia dos truncamentos erosivos presentes na planície, sugerindo ciclos erosivos que interrompem a progradação. Independente desse histórico, nas taxas de progradação aferidas por Rocha, *et al.*, 2019 o flanco sul da planície atingiu valor maior que o flanco norte, sendo as taxas, 5,0 m/ano e 3,0 m/ano respectivamente.

No Flanco Norte, a planície costeira é constituída por cristas de praias que são intercaladas por depressões lagunares e lamosas (COSTA, ROCHA & FERNANDEZ, 2020; ROCHA, *et al.*, 2019; COSTA & ROCHA, 2018; VASCONCELOS *et al*, 2016, FERNANDEZ E ROCHA, 2015). Entretanto, a incorporação de barreiras arenosas à planície ocorre de maneira diferente do Flanco Sul. O litoral de Gargaú tem como característica marcante a progradação por incorporação de barreiras arenosas (COSTA, ROCHA E FERNANDEZ, 2020; ROCHA, *et al.*, 2019; COSTA & ROCHA, 2018; VASCONCELOS *et al*, 2016, FERNANDEZ E ROCHA, 2015). Na área é formado um tipo específico de barreira arenosa conhecido na literatura como spit. Esse desenvolve-se a partir de uma barra submarina que emerge tendo apenas uma de suas extremidades conectada a planície, no caso de Gargaú, o spit se alonga longitudinalmente até ser conectado a planície, onde posteriormente é incorporado (COSTA, ROCHA & FERNANDEZ, 2020; COSTA & ROCHA, 2018; VASCONCELOS *et al*, 2016).

O delta do rio Paraíba do Sul está localizado no litoral que é diretamente influenciado pela célula de alta pressão presente no oceano Atlântico e pela passagem dos sistemas frontais. Segundo a análise dos dados de ondas do ano de 2004 à 2007 feita por Vasconcelos *et al* (2016), corroborando Souza (1988), a costa possui padrão bimodal de ondas. As ondulações do quadrante NE, influenciadas pela célula de alta pressão, possuem período de onda entre 6 e 8 segundos, enquanto do quadrante SE, influenciado pelos sistemas frontais, entre 8 e 10 segundos. Além disso, o regime de marés é semidiurno, alcançando até 1,3 m na maré alta de sizígia e 0,3 m na maré baixa configurando amplitude de micro-maré, o que ressalta o domínio da ação das ondas na dinâmica do delta (VASCONCELOS *et al* 2016).

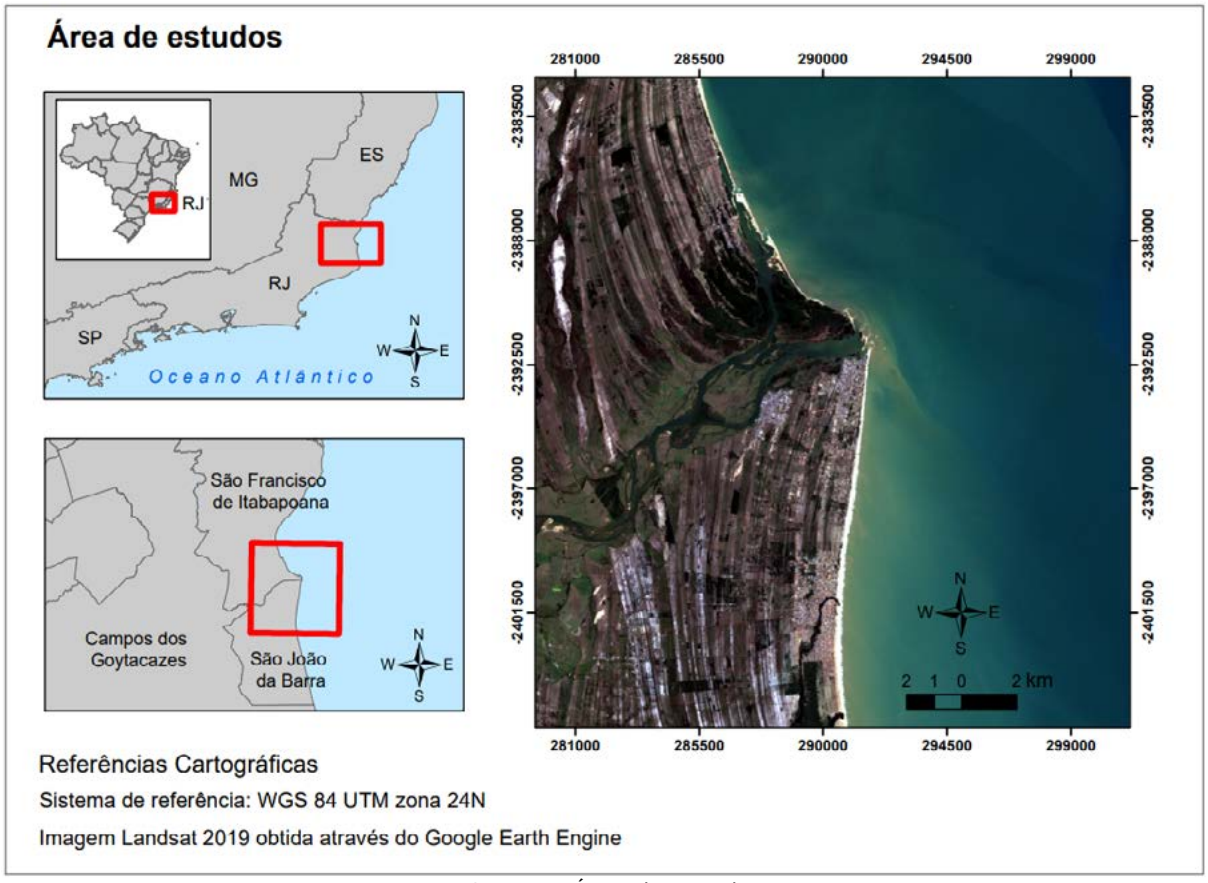


FIGURA 1: Área de estudos.
Fonte: Elaborado pelos autores.

3. Materiais e métodos

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma do Google que permite análises geoespaciais em escala global, estando disponível gratuitamente. O lançamento em 2017 foi um grande marco para a solução de problemas que envolviam o processamento de grandes quantidades de dados, já que são utilizados os servidores da Google para os processamentos em nuvem (GORELIK *et al*., 2017). Além disso, nela são disponibilizados um grande leque de coleções com dados geoespaciais, desde imagens de satélite, até coleções de dados sócio-econômicos (GORELIK *et al*., 2017).

O acesso a Plataforma do GEE se dá através de um ambiente de programação que opera na linguagem JavaScript. Na plataforma está disponível a série histórica LANDSAT, sendo esta a maior coleção de imagens do planeta Terra, disponibilizada, desde 2008, pelo serviço geológico americano (USGS). Utilizando dessa ferramenta, os dados obtidos por Donchyts *et a*l. (2016) representaram o input inicial da interface Aqua Monitor Deltares, a qual mostra as mudanças ocorridas em corpos hídricos nos últimos 30 anos.

Outros autores também têm adaptado ou criado scripts no GEE. Luijendijk *et al*. (2018) analisou a dinâmica mundial de praias arenosas, identificando-as através de valores de reflectância de pixels. Posteriormente, a partir de métodos utilizando transectos paralelos à linha de costa, Luijendijk *et a*l. (2018) obteve as taxas de avanço do recuo da linha de costa das praias arenosas de todo o globo nas últimas três décadas.

Kennedy *et al* (2018), adaptou o script desenvolvido em linguagem IDL, LandTrendr, à interface do GEE. Com o objetivo de monitorar em escala multitemporal tendências e subtendências em coberturas florestais, o LandTrendr avalia a trajetória dos valores de reflectância pixel por pixel segmentando temporalmente as séries históricas de cada pixel. A partir disso, o presente trabalho utilizou da trajetória espectral dos pixels para mapear as alterações da linha de costa na planície deltaica do rio Paraíba do Sul.

De início, na plataforma do GEE, foi obtida uma coleção de imagens landsat dos anos 1984, 1994, 2004, 2014 e 2020 seguindo a delimitação espacial (área de estudos) feita pelos autores. Em seguida, foi utilizado o script de Kennedy *et al* (2018) que é responsável pela criação de mosaicos anuais com base em imagens landsat. Na composição dos mosaicos foram calculados, para cada pixel, os valores do índice MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index)* como proposto por Xu (2006), através da adaptação do índice desenvolvido por McFeeters (1996).

Segundo Xu (2006), com a utilização da banda de infravermelho médio (banda 5) no lugar da banda de infravermelho próximo (banda 4) é possível extrair com maior exatidão a faixa de água. Ou seja, os valores de alvos de água e área emersa tendem a ter distribuições de valores discrepantes, possibilitando maior acurácia no mapeamento. Assim como o proposto por McFeeters (1996) , valores maiores que zero (>0) são representativos da presença de corpos hídricos enquanto que valores menores que zero (<0) marcam áreas emersas.

Posteriormente, foi criada uma lista com os 5 mosaicos, organizados de maneira cronológica. Elaborada essa lista, foi utilizado comando que organiza os mosaicos selecionados em pares (1984-1994, 1984-2004, 1984-2014, 1984-2020). A partir desses pares, foi realizada multiplicação dos valores de MNDWI de cada pixel da primeira imagem de cada par pelos valores da segunda imagem. Essa operação matemática foi escolhida, pois sempre que forem multiplicados valores de área emersa (<0) por valores de corpos hídricos (>0) o resultado será negativo (<0), possibilitando a identificação de mudança de classe (área emersa - corpo hídrico ou corpo hídrico - área emersa) na área correspondente ao pixel. Chamamos as imagens obtidas após a operação de multiplicação de imagens-produto.

No entanto, as imagens-produto evidenciam alterações de qualquer uma das classes (água-terra e terra-água). Para separarmos as alterações de água-para-terra das de terra-para-água foi realizado mascaramento dos valores negativos e nova operação matemática. Foi efetuada a multiplicação dos valores MNDWI dos pixels da primeira imagem de cada par por 10. O produto dessa multiplicação foi somado aos valores negativos (representativos de alterações) das imagens--produto. Dessa forma, foi possível assegurar a separação dos tipos de alteração. Alterações do tipo terra-para-água apresentam sempre valores negativos (<0) enquanto que mudanças de água-para-terra apresentam valores positivos (>0). Foi realizada nova etapa de mascaramento para separação das matrizes de cada tipo de mudança. Esses dados matriciais foram então vetorizados na plataforma GEE gerando arquivos formato shapefile, ademais, ainda na plataforma GEE, foram obtidos os dados de área das superfícies que sofreram mudança.

Obtidos todos os dados gerados pelo GEE, as imagens-produto e os shapefiles foram sobrepostos no Arcgis 10.5, para criação de mapas que apresentem as alterações da linha de costa na planície deltaica do rio Paraíba do Sul entre 1984 e 2020. Além disso, na plataforma Planilhas Google, foi criada uma tabela do balanço de área constatado a partir das mudanças de superfície e gerado um gráfico representando os resultados de balanço.

4. Resultados

Como resultado, foram elaboradas duas sequências de mapas agrupadas em duas figuras (Figura 2 e Figura 3). Além disso, a partir dos dados de área foi construída uma tabela do balanço de área emersa perdida e ganha na série histórica e gerado um gráfico de representação (Figura 3).

O primeiro mapa (Figura 2), foi confeccionado de acordo com a sequência histórica, a fim de proporcionar a análise multitemporal e representar as alterações da linha de costa na área de estudos. No período entre os anos 1984 e 1994 (Figura 2-A) ocorreu ganho de área emersa no litoral sul da planície, distrito de Grussaí, enquanto que mais ao norte, no litoral do distrito de Atafona, ocorreu perda de área emersa, ou seja, erosão na linha de costa. No Flanco norte do delta é possível observar o parcialmente uma dinâmica de reciclagem de *spits* com o retrabalhamento completo de um *spit* e o crescimento de um novo *spit*. A norte de Gargaú é possível observar ganho substancial de área emersa.

Aumentada para 20 anos, a série de análise do período entre 1984 e 2004 (Figura 2-B), evidencia a manutenção dos processos de ganho de área emersa no litoral de Grussaí e recuo de linha de costa no litoral de Atafona. Entretanto, ao norte, mais especificamente no litoral da Ilha da Convivência há um aumento da perda de área emersa, ou seja, aumento da erosão. Novamente a norte é possível observar a incorporação de área a norte de Gargaú e a dinâmica de reciclagem de *spits* em Gargaú.

Entre os anos de 1984 e 2014 (Figura 2-C), estendendo para 30 anos a série de análise, o avanço da linha de costa em Grussaí se mantém simultaneamente à erosão no litoral de Atafona. Ao Norte, na extremidade norte da Ilha da Convivência, é ressaltado o ganho de área emersa enquanto que a extremidade sul da ilha continua experimentando recuo da linha de costa. A planície ao norte de Gargaú mantém o processo de progradação com ganho de área emersa. O processo de reciclagem, envolvendo destruição de antigos *spits* e crescimento de novos *spits,* fica novamente claro.

No período de maior intervalo temporal, entre os anos de 1984 e 2020 (Figura 2-D), se observa a progressão dos processos de progradação em Grussaí e o recuo da linha de costa em Atafona. Ao sul da Ilha da Convivência é constatada continuação da erosão, entretanto, esse processo é substituído pelo ganho de área emersa na extremidade norte da ilha. Ao norte de Gargaú é possível observar o ganho acumulado de área emersa e o processo de reciclagem de *spits* com a formação de um *spit* em uma posição mais avançada em direção ao mar do que os *spits* anteriores.

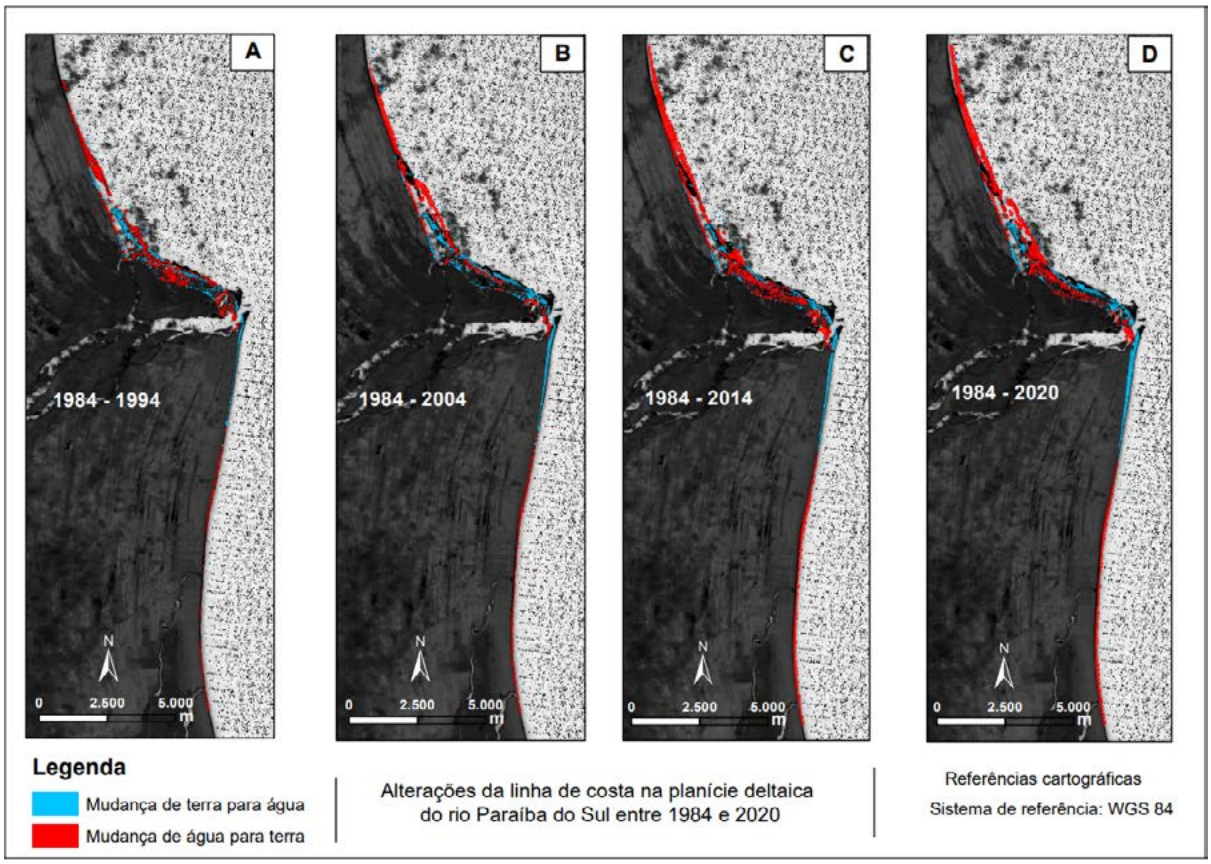


FIGURA 2: Mapa das alterações da linha de costa na planície deltaica do rio Paraíba do sul entre 1984 e 2020.
Fonte: Elaborado pelos autores.

O mapa da Figura 3 foi elaborado para mostrar detalhadamente as alterações acumuladas descritas anteriormente. Na Figura 3-E é possível observar a substancial perda de área no litoral de atafona e na extremidade sul da ilha da convivência. Em direção sul a presença do ponto de inflexão entre o polígono azul e o vermelho marca a diferença de comportamento da linha de costa entre Atafona e Grussaí. Já na Figura 3-F fica evidente o processo de progradação presente em todo litoral de Grussaí. A Figura 3-G mostra o ganho de área na extremidade norte da ilha da convivência juntamente com o processo de reciclagem de *spits* e a substancial progradação da planície a norte de gargaú.

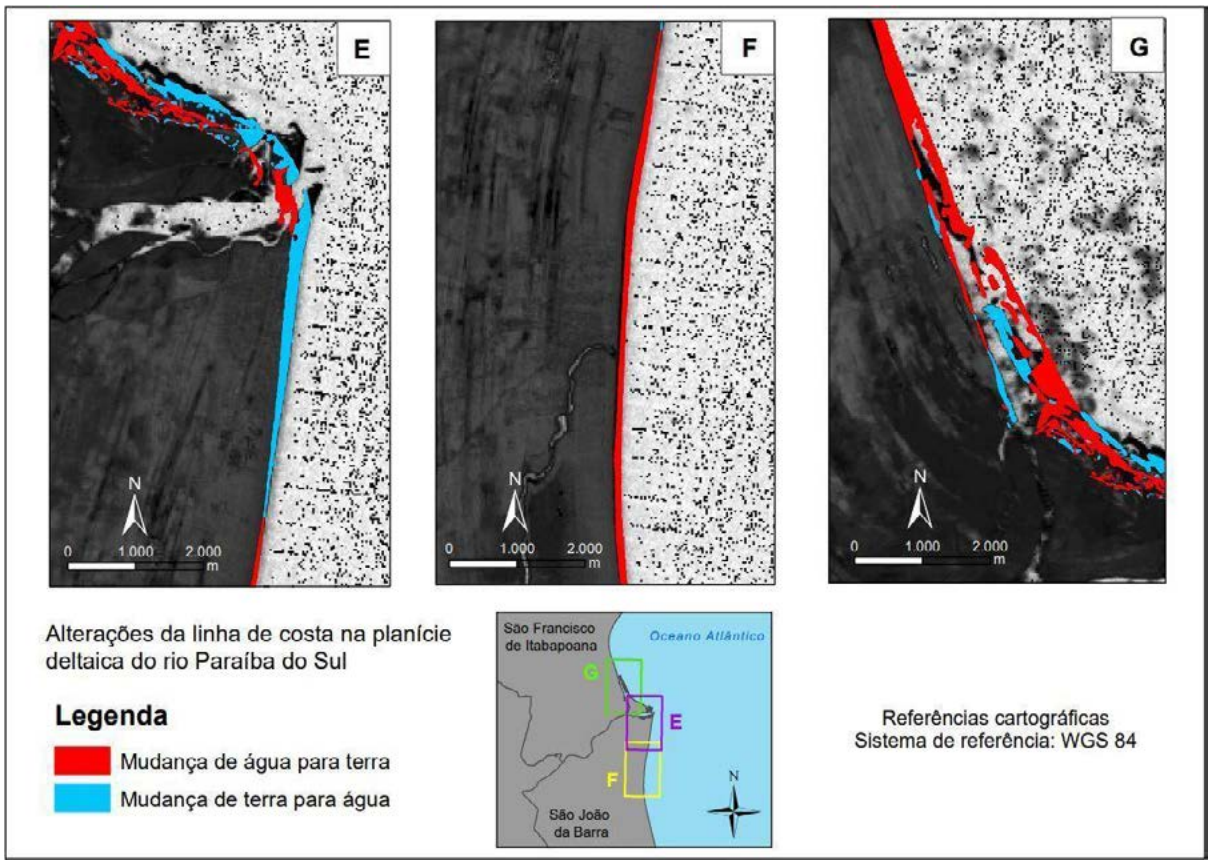


FIGURA 3: Mapa de detalhamento. (E) Atafona e Ilha da Convivência. (F) Grussaí. (G) Gargaú e planície a norte.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 4, é possível observar os dados de perda e ganho de área emersa na área de estudos. Entre os anos de 1984 e 1994 a área que passou de água para terra foi de 0,1068 km², enquanto de terra para água foram perdidos 0,0437 km², tendo esse período o balanço positivo de 0,0631 km². No intervalo temporal seguinte, entre 1984 e 2004, a área que passou para terra foi de 0,2538 km² e a de área emersa perdida foi de 0,1200 km² mantendo o balanço positivo, desta vez verificado em 0,1338 km².

No período entre 1984 e 2014 (Figura 4), a mudança de água para terra foi conferida em 0,5601 km² e a de terra para água em 0,1096 km². Tendo menos perda de área emersa que o intervalo temporal anterior, gerou o maior balanço positivo do intervalo temporal trabalhado, sendo este 0,4505 km². No último e maior intervalo temporal trabalhado, compreendido entre 1984 e 2020, o ganho de área emersa foi de 0,6032 km² e a mudança de terra para água 0,2028 km², alcançando o balanço positivo de 0,4004 km².

Ainda na Figura 4, agora observando o gráfico, é importante notar que a partir de 2014 a perda de área aumenta consideravelmente e mesmo com o constante ganho de área o balanço tende a diminuição.

	1984 -1994	1984 - 2004	1984 - 2014	1984 - 2020
Água para terra	0,1068	0,2538	0,5601	0,6032
Terra para água	0,0437	0,1200	0,1096	0,2028
Balanço	0,0631	0,1338	0,4505	0,4004

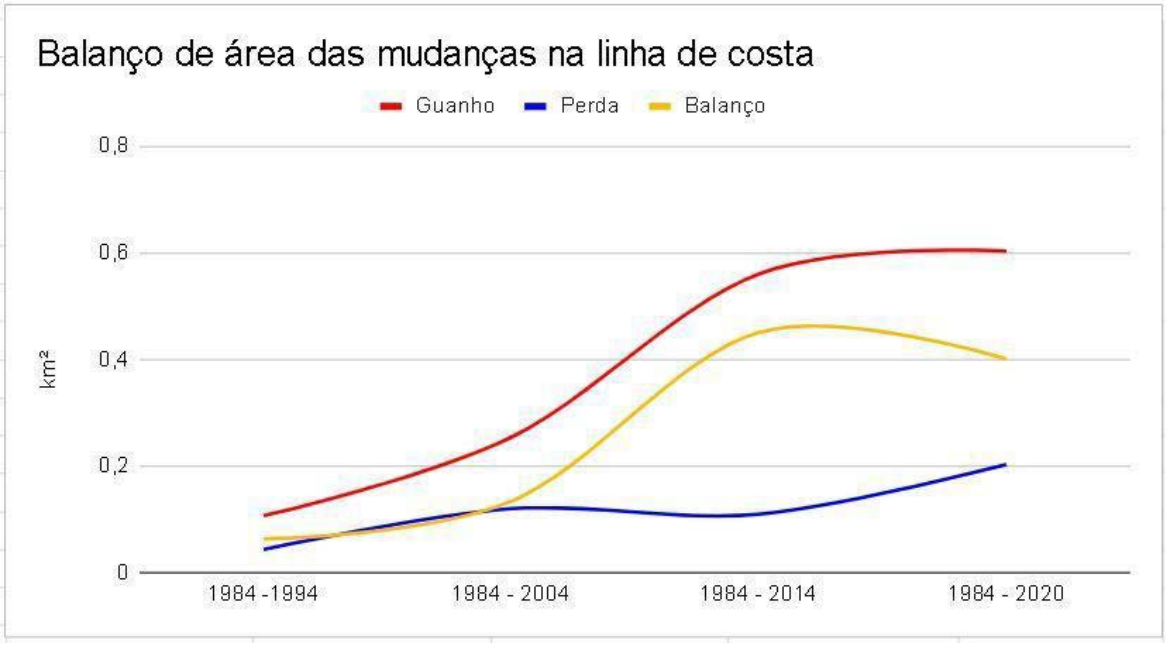


FIGURA 4: Tabela e gráfico do balanço de área na linha de costa.

5. Discussões

Os resultados obtidos mostram com clareza a espacialidade dos fenômenos de progradação e recuo da linha de costa na planície deltaica durante a série temporal trabalhada. O balanço de área positivo que se manteve constante na área de estudos reflete a dinâmica progradante natural dos deltas. Entretanto, a distribuição dos fenômenos de progradação e erosão, além da morfologia assimétrica do delta tem sido alvo de grande debate científico.

Martin *et al*. (1984) tentou explicar as diferenças na formação da planície nos flancos Norte e Sul através do processo de molhe hidráulico. Os autores sugeriram uma grande relação entre a dinâmica costeira e a hidrodinâmica fluvial. Em momentos de maior vazão do rio os sedimentos transportados pela deriva litorânea seriam acumulados no flanco sul em forma sequencial de barreiras arenosas, enquanto no flanco norte seriam formadas barreiras não compactadas, formando depressões lagunares. Quando a vazão diminuísse o flanco Sul seria erodido e parte desses sedimentos seriam transportados até a porção norte. Para a ocorrência do molhe hidráulico seria necessário que a corrente de deriva litorânea tivesse direção sul-norte na foz do rio, porém em Dias e Gorini (1980), é identificado a divergência de correntes de deriva na foz do Rio, tendo no flanco sul direção norte-sul e no flanco norte, sul-norte. Vasconcelos *et al.* (2016) identificou a mesma divergência que Dias e Gorini (1980) na foz do rio e uma convergência de correntes de deriva ao norte de Gargaú.

Tendo, a deriva litorânea, papel importante na distribuição sedimentar na linha de costa e, consequentemente, na morfologia do delta, na Figura 2 é possível observar a erosão junto à foz do rio Paraíba do sul e o acúmulo de sedimentos na direção de suas extremidades. Com isso, os sentidos de transporte dos sedimentos na linha de costa sugeridos por Vasconcelos *et al*. (2016) e Dias e Gorini (1980) melhor explicam a localidade dos fenômenos de recuo e avanço da linha de costa identificados.

Apesar da tendência progradante do delta, foi identificado diminuição do balanço de área positivo diante do aumento da perda de área (Figura 3). Esse resultado decorre do aumento da erosão identificada na foz do delta, concentrada, principalmente, na linha de costa de Atafona (Figura 4-E).

O processo constante de erosão no litoral de Atafona já foi alvo de estudos de diversos autores, como Dias e Gorini (1980), Martin *et al*. (1984) e Bastos (1997). Como já visto anteriormente, segundo Dias e Gorini (1980) a deriva litorânea tem sentido divergente na foz do rio sendo a responsável pela erosão no litoral. Na teoria de Martin *et al*. (1984), a erosão se daria devido diminuição da vazão do rio onde a deriva com sentido sul-norte atuaria. Para Bastos (1997), a foz do delta atuaria como um promontório, ocasionando uma convergência de ortogonais de ondas responsáveis pela erosão.

Cabe ressaltar que no flanco sul do delta ocorre intensamente tanto o processo de erosão quanto de progradação em uma extensão de aproximadamente 10km. Como pode ser observado na Figura 5-H o recuo da linha de costa em Atafona atingiu as edificações, destruindo muitas delas. Paralelo a isso, na linha de costa de Grussaí o processo de incorporação de bermas à planície é constante (Figura 5-I). RIBEIRO, FIGUEIREDO & ROSAS (2006) e Rocha *et al* (2018) mapearam essa dinâmica. No trabalho de 2006, foi obtido entre os anos de 1954 e 2005 um total de 584.462 m² erodidos no litoral de Atafona e um total de 1.053.747 m² de área progradada em Grussaí. Em Rocha *et al* (2018), foram calculadas taxas de erosão de até 3,2 m/ano para o litoral de atafona e de 3,0 m/ano para progradação em Grussaí.

No litoral de Gargaú, no flanco norte do delta, a progradação ocorre pela incorporação de *spits*. Na Figura 5-J é possível observar o spit conectado à planície, aprisionando um corpo d'água. Vasconcelos *et al*. (2016) com base em Dan (2011) propôs um modelo de desenvolvimento desses *spits*, onde seis etapas consecutivas se repetem de maneira cíclica. O autor prevê em seu modelo adaptado a retrogradação da barreira através do mecanismo de transposição de ondas e a abertura de canais de maré durante eventos de tempestade. Costa, Rocha e Fernandez (2020), a partir da série histórica de 1984 a 2017, identificaram períodos em que esse ciclo não se completa, ocorrendo ciclos menores e não-lineares onde os *spits* são retrabalhados. Ao norte de Gargaú o processo de progradação é explicado pela convergência de correntes de deriva identificada por Vasconcelos *et al*. (2016).



FIGURA 5: (H) erosão na linha de costa de Atafona. (I) Planície progradante de Grussaí. (J) Spit conectado a planície em Gargaú. **Fonte:** Acervo LAGEF-UFF.
Fonte: Elaborado pelos autores.

6. Considerações finais

Os resultados apresentados neste trabalho mostram a dinâmica da linha de costa no delta do rio Paraíba do Sul. O delta mantém o balanço positivo na sequência temporal analisada, entretanto, de 2014 em diante o gráfico de área mostra que a perda de área emersa no litoral tem aumentado. A progradação do delta ocorre de formas diferentes em sua extensão, tendo presente a dinâmica de *spits* no flanco norte a sucessão de bermas em Grussaí.

Diversos autores se propuseram a explicar a concentrada erosão no litoral de atafona, sendo a corrente de deriva litorânea um dos principais aspectos abordados nos trabalhos. Em Rocha *et al* (2019), as datações feitas nos truncamentos presentes na planície propõem que o processo de erosão já ocorreu em tempos pretéritos.

A análise multitemporal de imagens landsat para descrever dinâmicas costeiras tem crescido. O Google Earth Engine, como ferramenta que permite o processamento de grande número de dados em nuvem, tem dado grande suporte aos pesquisadores em questão de tempo e infraestrutura. Tendo em vista esses aspectos, o presente trabalho pretende contribuir com a inserção de trabalhos sobre a dinâmica costeira através de processamentos de imagens.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa (FAPERJ) pela concessão de bolsa de iniciação científica e ao Laboratório de Geografia Física da UFF por ceder as fotografias utilizadas nesse trabalho.

Referências

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul:** Diagnóstico dos recursos hídricos - relatório final. Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2006. (Relatório Contratual R-7). Disponível em:<www.ceivap.org.br/downloads/PSR-010-R0.pdf.>. Acesso em: 25 jul. 2021.

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. A critical review of mid- to late-Holocenesea-level fl uctuations on the eastern Brazilian coastline. **Quaternary Science Reviews**, n.25, p.486–506, 2006.

BASTOS, A.C. **Análise morfodinâmica e caracterização dos processos erosivos ao longo do litoral norte fl uminense, entre Cabiúnas e Atafona**. 1997. 133p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha), Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

COSTA, A. P. F. & ROCHA, T. B. Evolução de spits arenosos no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ), entre 1984 e 2017. In: **Anais do XII Simpósio nacional de Geomorfologia**. Crato (CE), v.1, 2018.

COSTA, A.P.F; ROCHA, T.B; FERNANDEZ, G. B. Dinâmica dos pontais arenosos no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ) entre 1984 e 2017. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 21, nº 4, 2020

DAN, S.; WALSTRA, D. J. R.; STIVE, M. J. F.; PANIN, N. Processes controlling the development of a river mouth spit. **Marine Geology**, Vol. 280, p. 116-129, 2011.

DAVIDSON-ARNOTT, R. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. **Cambridge University Press**, Cambridge, 2010.

DIAS, G. T. M. E GORINI, M. A. A Baixada Campista: Estudo Morfológico dos Ambientes Litorâneos. In: **Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia,** Camboriú (SC), v.1, p.588-602, 1980.

DONCHYTS, G. *et al.* Earth's surface water change over the past 30 years. **Nat. Clim. Chang**., v.6, p.810–813, 2016.

FERNANDEZ, G. B. e ROCHA, T. B. Barreiras costeiras holocênicas: geomorfologia e arquitetura deposicional no litoral do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.16, n.2, p.301-319, 2015

GALLOWAY, W. E. Process framework for describing themorphologic and stratigraphic evolution of delta depositional systems. In: BROUSSARD, M. L. Deltas: Models for Exploration. Houston, **Houston Geological Society**, p. 87–98. 1975.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v.202, p. 18-27, 2017.

KENNEDY, E. R *et al.* Implementation of the LandTrendr Algorithm on Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**, v.691, 2018.

MACHADO, A.B., *et al.* Relationship between Foredune Evolution and Shoreline change: application of geomorphological conceptual models in Paraiba do Sul river Delta. No Prelo.

MARTIN, L *et al.* Evolução da planície costeira do Rio Paraíba do Sul (RJ) durante o Quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In: **Anais do XXXIII Cong. Bras. De Geologia**, Rio de Janeiro (RJ), Vol.1, p.84-97. 1984.

MCFEETERS, S.K., 1996, The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, 17, pp.1425–1432.

MUEHE, D. O Litoral Brasileiro e sua compartimentação. in: CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T; **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro - RJ: Bertrand Brasil, 2006.

LUIJENDIJK, Arjen *et al.* O estado das praias do mundo. **Relatórios científicos**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018.

ROCHA, T. B. da; VASCONCELOS, S. C de.; PEREIRA, T. G.; FERNANDEZ, G. B. Datação Por Luminescência Opticamente Estimulada (Loe) Nas Cristas De Praia Do Delta Do Rio Paraíba Do Sul (RJ): Considerações Sobre a Evolução Geomorfológica Entre O Pleistoceno Superior E O Holoceno. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 20, no. 3, 2019. https://doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1620.

ROCHA, Thais Baptista *et al.* Interação morfodinâmica entre praia e duna frontal no delta do rio Paraíba do Sul (RJ) a partir de uma década de monitoramento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, 2018.

RIBEIRO, G. P.; ROSAS, R. O. Processos costeiros: erosão em Atafona e progradação em Grussaí, São João da Barra (RJ)–morfometria para retratação espacial desses eventos e identificação de sua tendência evolutiva. **vi simpósio nacional de geomorfologia**, GOIÂNIA, Anais, 2006.

SOUZA, M. H. S. **Clima de ondas ao norte do estado do Rio de Janeiro**. 1988. 181p. Dissertação (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ)

VASCONCELOS, S.C. *et al.* Gênese e morfodinâmica das barreiras arenosas no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (rj). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, no.3, 2016

VILLWOCK, J. A; *et al.* Geologia e geomorfologia costeira. In: SOUZA, C. R. G; *et al.* **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto - SP: Holos, 2005.

WECKMÜLLER, R.; VICENS, R.S. As geotecnologias e a detecção de trajetórias evolutivas da paisagem: possibilidades metodológicas e aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.11, n.06 (2018) 2140-2159.

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE AMEAÇA DE INUNDAÇÃO: UMA PROPOSTA DE INCLUSÃO NO ZONEAMENTO ECOLÓGICO E ECONÔMICO DA CALHA NORTE, ESTADO DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL

Marcos Vinicius Rodrigues Quintairos
Universidade Federal do Pará
Av. Perimetral, nº 1000, Terra Firme, Belém, PA, 66095-780
E-mail: marcosquintairos@ufpa.br
Eliane de Jesus Miranda Santana
Universidade Federal do Pará
Av. Perimetral, nº 1000, Terra Firme, Belém, PA, 66095-780
E-mail: elianesantana@ufpa.br

Resumo

A região da Calha Norte, Estado do Pará, sofre historicamente com várias categorias de ameaça, como Cheias, Enchentes, inundações, erosão, estiagem, enxurrada, fortes chuvas e secas. Objetiva-se realizar a mapeamento de ameaças de inundação que permita a incorporação da temática de gerenciamento de riscos naturais no Zoneamento Ecológico Econômico, tendo como estudo de caso o ZEE da Calha Norte do Pará proporcionando instrumentos para a gestão e melhorias das ações do poder público. A análise das ameaças naturais baseou-se em estudo metodológico que agregou dados históricos e dados: geomorfológico, geológico, hipsométrico, declividade, agregados valores e processados em ambientes SIG, e identificando às três classes de análises: (i) área de alta ameaça; (ii) área de moderada e (iii) área de baixa ameaça, gerando assim os mapas das ameaças de inundação.

Palavras-chave: Ameaça de Inundação, Zoneamento ecológico econômico (ZEE), Calha Norte.

1. Introdução

Na Amazônia, as condições climáticas, e o processo de ocupação às margens dos rios, associados ao crescimento desordenado da população, pressionam os ecossistemas vulneráveis (como as áreas inundáveis sazonalmente), o que constitui um fator de vulnerabilidade para estas populações (BECKER, 2000 apud SILVA Jr., 2010). Conforme a SEDEC (2012), na Amazônia foram registradas 57 situações de emergência e 15 em estado de calamidade pública originadas predominantemente nas enchentes, estiagens e erosão fluvial.

Nos municípios do Estado do Pará, as principais ameaças naturais identificadas são as enchentes, as inundações, as enxurradas e a erosão fluvial (SZLAFSZTEIN, 2003). As enchentes e inundações são frequentes principalmente no período conhecido como "inverno amazônico" (SZLAFSZTEIN et al., 2010).

O crescimento urbano descontrolado, a carência/ausência de infraestrutura, a pobreza, e a fraca estrutura política, aliados à ocupação de espaços expostos às ameaças naturais, geram ambientes de intensa vulnerabilidade social e um enfraquecimento da capacidade de resposta da sociedade às emergências. O risco é a probabilidade que um desastre aconteça provocando a perda de vidas, pessoas desabrigadas ou desalojadas, danos a edificações, e as atividades socioeconômicas, entre outros (PELLETIER, 2007).

O processo de ocupação no espaço brasileiro é marcado por uma configuração socioespacial caracterizada por contrastes, pois, se por um lado existe intenso desenvolvimento (urbanização, sistemas portuários, turismo, indústrias, agricultura, pecuária), que favorece o fluxo de pessoas e aumenta os impactos ambientais, por outro lado, há grandes áreas com baixa densidade populacional (como na Amazônia), onde o ecossistema ainda não sofre grandes impactos da sociedade (SZLAFSZTEIN, 2003).

Para Alameddine (2009), a gestão de riscos exige uma apreensão de sua multiplicidade, não devendo ser restrita aos aspectos técnicos, que apenas indicam o grau de um acontecimento, mas também que possa resultar em análises e avaliações desses riscos.

Segundo Freiria (2009), quando não é feita uma boa gestão do risco, as consequências fazem-se sentir ao nível social, econômico e podem até mesmo implicar perda de vidas humanas. A ocorrência de desastres naturais demonstra a necessidade da integração da gestão de risco no processo de planejamento do território, não como uma forma de eliminar os riscos, mas como uma medida preventiva e mitigadora. Assim, faz-se necessário o ordenamento territorial, como um mecanismo de regulação racional de uso de territórios (ocupação do espaço e uso dos recursos) no Brasil, e principalmente na Amazônia.

O presente trabalho tem por objetivo mapear áreas as ameaças de inundação que permita a incorporação da temática de gestão de riscos naturais no Zoneamento Ecológico Econômico, tendo como estudo de caso o ZEE da Zona Oeste do Estado do Pará: Calha Norte, de modo a apoiar o processo de atualização de futuros estudos do ZEE.

2. Material e Método

A área de estudo está localizada a noroeste do Estado do Pará, composta por nove municípios - Alenquer, Almeirim, Curuá, Faro, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Prainha e Terra Santa. Está limitada a oeste pelos Estados do Amazonas e Roraima e a leste pelo Estado do Amapá.

Grande parte da área do território é ocupada por 27 Unidades de Conservação e 6 Terras Indígenas1 (Figura 1). Os municípios com as maiores extensões de áreas protegidas são Oriximiná (99,33%), Faro (92,26%), Almeirim (79,11%) e Prainha (78,51%) (PARÁ RURAL, 2010).

Os nove municípios integrantes do ZEE da Calha Norte apresentam tendências ao êxodo rural. Porém, as taxas de urbanização de Terra Santa (69,01%), Almeirim (61,43%) e Oriximiná (61,96%) são as mais representativas se comparadas aos outros municípios da mesma região. A população urbana está situada nas margens dos rios Amazonas, Paru e Trombetas.

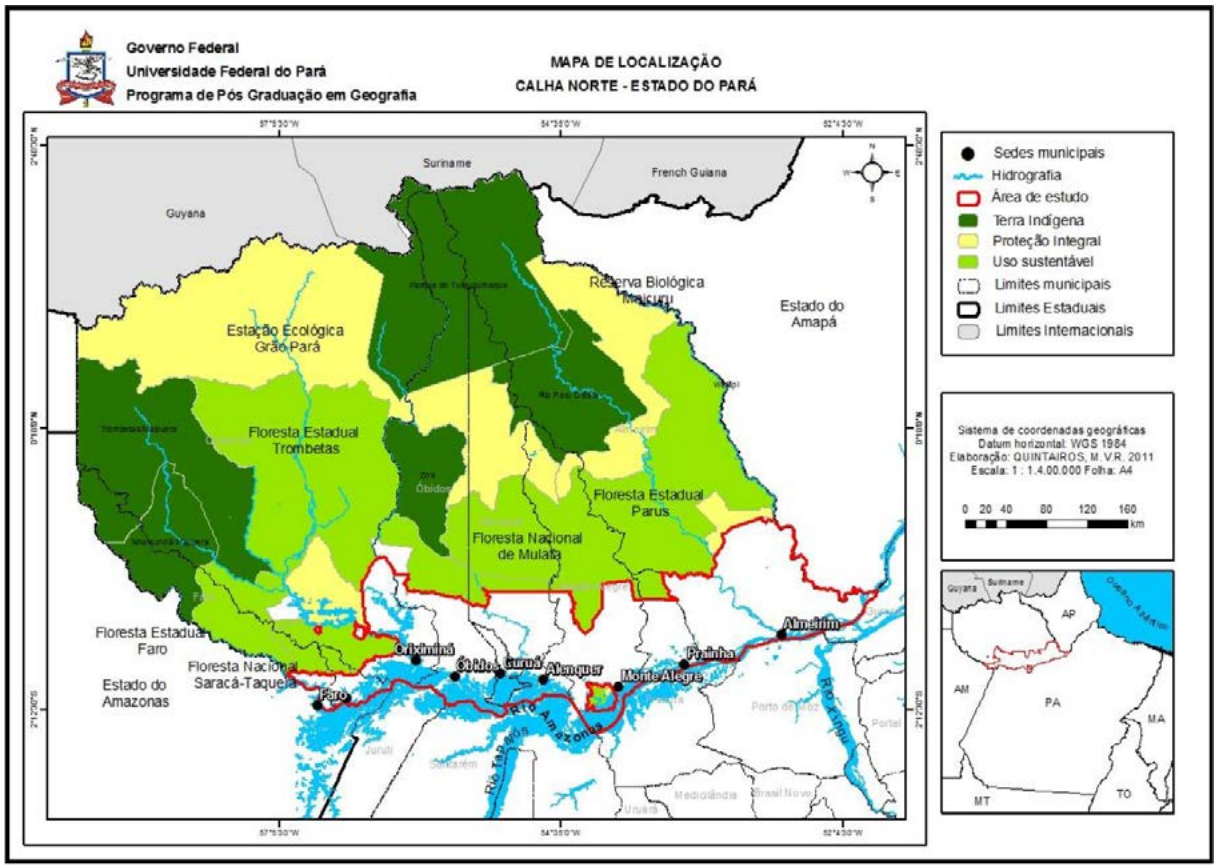


FIGURA 1: Mapa de localização do ZEE da Calha Norte-PA. Fonte: QUINTAIROS, 2012.

2.1 Mapeamento da ameaça de inundação

A inundação é entendida como o processo de transbordamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio), quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio, afetando as atividades humanas ali instaladas (IPT, 2007) (Figura 2).

1 Estadual Monte Alegre, Reserva Biológica Maicuru, Estação Ecológica do Jari. Floresta Estadual, Floresta Nacional Saracá-Taquera, Floresta Estadual Trombetas, Floresta Estadual Parus, Floresta Nacional de Mulata, Floresta Nacional de Mulata, Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns, Floresta Nacional Tapajós, Área de preservação ambiental praia de Alter-do-Chão, Área de preservação ambiental Praia de Aramanaí, R.A.C. Palhão e a Área de preservação ambiental Paytuna. Terras Indígenas: Trombetas/Mapuera, Nhamundá/Mapuera, Zo'e, Parque do Tumucumaque e o Rio Paru D'Este.

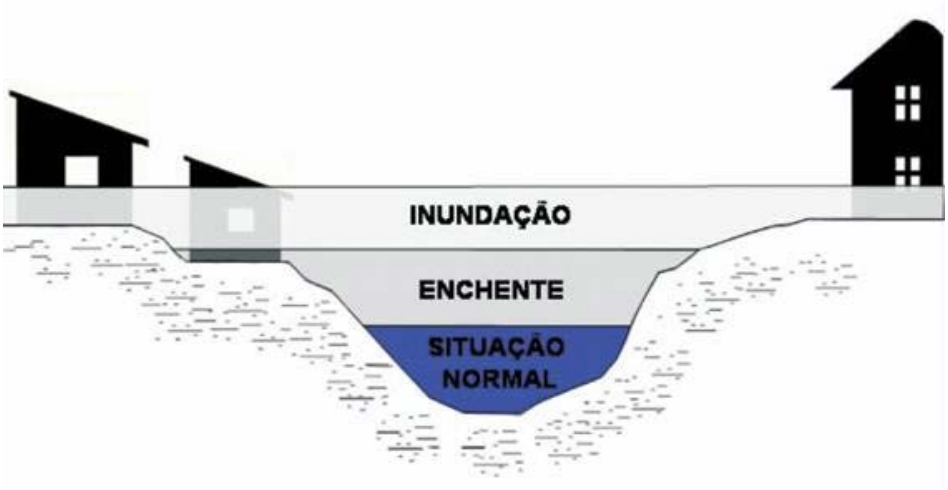


Figura 2. Perfil esquemático do processo de enchente e inundação. Fonte: IPT (2007).

Na elaboração dos mapeamentos de ameaça de inundação buscou-se adaptar a metodologia desenvolvida por Marques (2010) e Szlafsztein et al. (2010), que se basearam essencialmente em análise de modelos digitais de elevação, trabalho de campo com coleta de pontos de GPS, utilizando a modelagem matemática, na obtenção dos valores da altimetria e altitude do SRTM. Portanto, são bases de dados estabelecidas no método para a delimitação das áreas com suscetibilidade a inundações.

No presente trabalho a metodologia será adaptada para a escala de mapeamento de 1:250.000, escala de mapeamento do ZEE Brasil, para identificar e mapear as áreas suscetíveis às inundações. Foram desenvolvidas as etapas, com produção de mapas, denominadas de: levantamento histórico de ocorrências de eventos naturais; uso de mapa hipsométrico; declividade; unidade geomorfológica; e unidade geológica. De posse dessas informações, foi construído o mapa de ameaça de inundações (Figura 3).



Figura 3. Composição da Árvore de ameaça à inundação. Fonte: Elaborado pelo autor

As bases de dados das unidades geomorfológicas e geológicas foram obtidas, através do IBGE (2008) e CPRM (2007), em formato vetorial na escala de 1:250.000. A área de estudo é composta pelas seguintes unidades geomorfológicas: Planície Amazônica, Planalto do Uatumã-Jari, entre outras. O relevo da área de estudo apresenta cotas topográficas variando de 100 a 1000 metros. A porção sul caracteriza-se pela Planície Amazônica que envolve essencialmente a calha do rio Amazonas e seus principais afluentes de deposição mais recente holocênica de domínio de depósitos sedimentares do Quaternário, com solos dos tipos Aluviais, Hidromórficos, Gleyzados e Orgânicos com altimetria até 100 m. O Planalto do Uatumã-Jari constitui importante feição de relevo suavizado de leste com cotas variando entre 50 m-200 m, relevos residuais (240-270 m) e superfície de forma de tabuleiros. As subunidades geomorfológicas foram classificadas conforme as suas características físicas, em ameaças de: alta, média e baixa suscetibilidade.

3. Resultados

O mapa de ameaça à inundação procura retratar o cenário no que diz respeito às áreas suscetíveis às inundações, construído pelo relacionamento entre as informações espacializadas do histórico das ocorrências, da hipsometria, da geomorfologia, da geologia e da declividade (Figura 04).

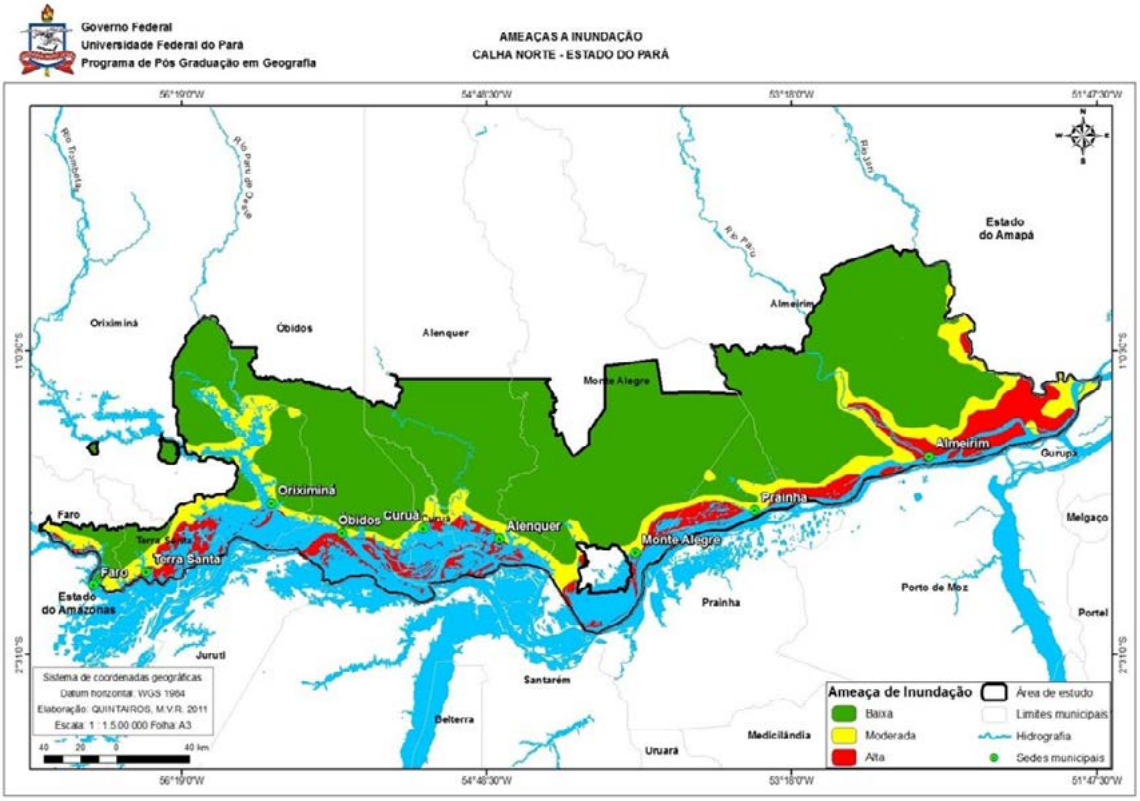


Figura 5. Ameaça a inundação na área de estudo do ZEE da Calha Norte

As áreas de alta suscetibilidade a ameaça de inundação são áreas mais críticas, anualmente afetada pela inundação do rio. Abarca cerca de 4.620,05 km² (10,69% da área de estudo) onde estão localizados grande parte das cidades da região da Calha Norte. As áreas de moderada suscetibilidade de inundação são áreas inundáveis devido à acumulação fluviolacustre de forma plana, com declividade de 8.º em relação à planície. A área corresponde a 5.460,71 km² (12,63% da área de estudo). As áreas de baixa influência da inundação são regiões de topografia mais elevada, não é atingida nem mesmo nas maiores inundações.

4. Considerações finais

O tema de ameaça a inundações em cidades na Amazônia ainda é um tema pouco explorado na região, isso ocorre pela deficiência em políticas públicas que considerem essa temática. Considerando a metodologia empregada e resultados obtidos neste artigo, estes podem servir como base para a aplicabilidade de análise em outros zoneamentos ecológicos e econômicos do Brasil, devido à facilidade de aplicação da metodologia, capaz de ser aplicada em qualquer unidade territorial de trabalho (município, estado, setor censitário, etc.), sem a necessidade de grandes recursos financeiros, desde que se disponha de dados e informações cartográficas necessários, obtidas em base de dados preexistentes.

A importância de mapear áreas de ameaças naturais relaciona-se com a possibilidade de (a) a objetivação da ameaça e sua designação como problema público. (b) ser uma ferramenta de comunicação e ajuda em uma mobilização social, e (c) facilitar a análise das áreas atingidas e subsidiar o ordenamento territorial e ações da coordenadoria municipal de Defesa Civil (COMDEC), órgão responsável pelo planejamento, articulação, coordenação, mobilização e gerenciamento das ações de Defesa Civil, em âmbito municipal (Silva, 2010).

As ameaças estão associados não somente a processos naturais, mas também à falta de um ordenamento territorial compatível com a realidade local, embora seja uma área de baixa densidade demografia, constatou ser também uma região desconhecida, devido (à) poucos estudos que abordem as ameaças naturais em cidades amazônicas, e pela falta de políticas públicas eficazes que visem minimizar os problemas existentes.

As ameaças naturais causam impactos em diversos segmentos econômicos e sociais, às vezes os prejuízos são muitos maiores de bens materiais, como a ocorrências de mortes em desastres. Considera-se, portanto, que se as ameaças naturais e as vulnerabilidades sociais forem reconhecidas através de metodologias adaptadas à realidade, estes danos podem ser evitados. O mapeamento aplicado partiu de escala do ZEE 1:250.000. A base de dados utilizada para identificação da ameaça de inundação foi ampla pela variedade dos temas componentes do ambiente a ser estudado, obtida a partir das bases de dados da geomorfologia, declividades, hipsometria e geologia.

A pesquisa foi desenvolvida com a preocupação em gerar um produto que possa subsidiar a tomada de decisão do poder público. Espera-se assim contribuir para as temáticas relacionadas as do estudo, e para os órgãos competentes, lembrando a importância de melhorar as metodologias preexistentes, e considerando também a dinâmica do meio físico, social e suas interações, pois qualquer interferência deve ser precedida de diagnósticos que levem ao conhecimento da real situação do território.

Referências

ABRAMOVAY, R. Agricultura Familiar e Serviço Público: novos desafios para a extensão rural. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 137-157, jan./abr. 1998.

ALAMEDDINE, N. **Proposição de um sistema georeferenciado como instrumento para a gestão de risco: aplicação a partir do Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) de Taboão da Serra, SP.** Dissertação (Mestrado Profissional) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2009. 130p.

BECKER, B. **Cenários de curto prazo para o desenvolvimento da Amazônia**. Cadernos do IPPUR XIV: 53-85, 2000.

FREIRIA, S. **Expansão Urbana e Riscos Naturais: O caso de Coimbra.** Dissertação de Mestrado em Dinâmicas Naturais e Riscos Naturais. Universidade de Coimbra, 2009. 217 p. Disponível em: http://hdl.handle.net/10316/13367.

IBGE. **Malha municipal digital.** Disponível em: http://www.ibge.gov.br. Acesso: 26/07/2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT **Análise de riscos geológicos e geotécnicos dos bairros cota 95/100, 200 e 400 no município de Cubatão, SP.** Relatório de Andamento – Bairro-Cota 200. Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas. Laboratório de Riscos Ambientais. São Paulo, 2007. 35 Pág. Disponível em: http://200.144.4.83/download/relatorio/tecnico-bairro-cota200.pdf

PARÁ RURAL. **Zoneamento-Ecológico Econômico das zonas Lestes e Calha Norte do Estado do Pará**: Diagnostico do meio socioeconômico – Belém: Núcleo de Gerenciamento do Programa Pará Rural, 2010. 309 pág.

SEDEC. **Municípios que decretaram Situação de Emergência ou Calamidade Pública em 2010**. Disponível em: http://www.defesacivil.gov.br/desastres/desastres.asp. Acesso em: 5 de janeiro de 2010.

SILVA Jr. O. da **Análise de risco a inundação na cidade de Alenquer - Estado do Pará.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belém, 2010. 103 pág.

SZLAFSZTEIN, C. **Vulnerability and response measures to natural hazard and sea level rise impacts: long-term coastal zone management, NE of the State of Pará, Brazil.** ZMT - Contributions, University of Bremen 17: 1-192, 2003.

SZLAFSZTEIN, C.; MARQUES, O.; MAIA, H.; PRETTE, M.; FISCHENICH, P.; ALTIERI, F. Referências **Metodológicas para mapeamento de Riscos Naturais na Amazônia: Mapeando as vulnerabilidades.** Brasília, MMA/GTZ, 2010. 60 p.

MAPEAMENTO DE COBERTURA E USO DA TERRA EM CABECEIRAS DE DRENAGEM COM FORMAÇÃO DE HOLLOWS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SANTA BÁRBARA - PELOTAS/RS

Paulo Ricardo Moraes Castro Filho
Universidade Federal de Pelotas
Rua Alm. Barroso, 1202. CEP: 96010-280
E-mail: castro.filho98@gmail.com
Danilo da Silva Dutra
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Paulo Gama, 110. CEP: 90040-060
E-mail: danilodasilvadutra@hotmail.com
Edvania Aparecida Corrêa
Universidade Federal de Pelotas
Rua Alm. Barroso, 1202. CEP: 96010-280
E-mail: edvania.alves@ufpel.edu.br
Moisés Ortemar Rehbein
Universidade Federal de Pelotas
Rua Alm. Barroso, 1202. CEP: 96010-280
E-mail: moisesgeoufpel@gmail.com

Resumo

Esta pesquisa objetiva o mapeamento da cobertura e uso da terra em cabeceiras de drenagem com formação de hollows na bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS. Na bacia está o principal reservatório de água utilizado para abastecimento urbano-industrial. O trabalho se desenvolve a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e trabalhos de campo. Na bacia foram mapeados 144 hectares em 31 cabeceiras de drenagem com formação de hollows. Nesses padrões geomorfológicos, quanto à cobertura e uso da terra, observa-se que 47% equivalem a cobertura florestal natural; 26% vegetação campestre natural; 11% lavouras temporárias; 9% silvicultura; 2% pastagem, 1% mineração e 1% uso urbano. A preservação da cobertura florestal natural nas cabeceiras de drenagem com formação de hollows é de suma importância para manutenção do reservatório, tanto para produção de água como na mitigação do seu assoreamento.

Palavras-chave: Bacia de ordem zero; Nascentes; Vegetação Natural Florestal; Reservatório Santa Bárbara.

1. Introdução

As cabeceiras de drenagem em anfiteatro se referem às bacias de ordem zero. Caracterizam-se por vertentes côncavas, a partir das quais, comumente, formam-se nascentes fluviais. Em ambientes tropicais e subtropicais úmidos, estão recobertas por mantos de alteração intempéricos mais espessos. Os *Hollows*, por sua vez, compreendem a parte central dessas cabeceiras de drenagem (HACK, 1960; GUERRA & GUERRA, 2006; PAISANI et al., 2006).

No mapeamento geomorfológico da área de influência do Escudo Sul-Rio-grandense no município de Pelotas/RS, Silva e Rehbein (2015), Dutra e Rehbein (2017) e Rehbein e Dutra (2020) observaram que as cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* correspondem às vertentes côncavas de colinas, morrotes e morros onde se observam afloramentos d'água perenes e intermitentes, áreas de nascentes fluviais. Apresentam declividades e altitudes bastante variadas e ocorrem, majoritariamente, próximos aos segmentos de topos do relevo.

As cabeceiras de drenagem com formação de *hollows*, de modo geral, parecem articuladas a lineamentos geológicos e, com o retrabalhamento de materiais eluvio-coluvionares, evoluem acompanhando as fases de encaixamento da rede de drenagem, conforme modificações nos seus níveis de base, locais ou regionais. Essas unidades de relevo correspondem aos segmentos de vertentes concentradores de fluxos hídricos e indicam as orientações e as intensidades dos processos morfogenéticos operantes nas colinas, morrotes e morros da área (SILVA e REHBEIN, 2015; DUTRA e REHBEIN, 2017; REHBEIN e DUTRA, 2020).

Ainda, destaca-se que as cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* são áreas geomorfologicamente muito dinâmicas, pois, além de concentradoras de fluxos hídricos, de escoamentos superficiais e subsuperficiais, próximas aos divisores d'água do relevo, respondem rapidamente às ocorrências pluviométricas, com alterações abruptas nos fluxos de escoamentos. Por essa razão, sugere-se a reposição, conservação e preservação da cobertura florestal natural nessas unidades de relevo, restringindo-se qualquer uso da terra, de modo a mitigar o desenvolvimento de processos pluvio-fluvio erosivos (SILVA e REHBEIN, 2015; DUTRA e REHBEIN, 2017; REHBEIN e DUTRA, 2020).

No entanto, o que se verifica no cenário brasileiro é o uso intensivo das terras em áreas inadequadas, como nas cabeceiras de drenagem e ao longo dos canais fluviais (GRAU; MITCHELL 2008; BERTOL, 2016). Assim, visando avaliar as características de uso da terra junto às áreas de cabeceiras de drenagem e auxiliar no planejamento adequado dessas áreas, destaca-se o Geoprocessamento. Tal ferramenta é compreendida como a união de vários procedimentos a serem executados sobre um conjunto de dados georreferenciados e que resultam na produção de informações ambientais úteis à tomada de decisões e ao ordenamento territorial (SILVA, 2009).

Considerando o exposto, o objetivo principal deste trabalho é o mapeamento da cobertura e uso da terra em cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* na bacia hidrográfica do arroio Santa Bárbara, inserida no município de Pelotas, no Rio grande do Sul (RS).

2. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do arroio Santa Bárbara, com uma área de aproximadamente 10.900 hectares (ha), está inteiramente localizada no município de Pelotas, no estado do RS e tem importância estratégica para a área urbana do município. O barramento do médio curso do arroio Santa Bárbara constitui o principal reservatório utilizado para abastecimento urbano-industrial, o Reservatório Santa Bárbara (SANEP, 2019) (Figura 1).



FIGURA 1: Mapa de localização do Reservatório e da Bacia Hidrográfica Santa Bárbara-Pelotas/RS

O Reservatório possui 352 ha de área inundada e o volume de água estimado é de 10 bilhões de litros. Foi inaugurado em 1968, tanto para mitigar as inundações na área urbana de Pelotas como para proporcionar reserva de água para o abastecimento público. A Estação de Tratamento de Água Santa Bárbara, localizada às margens do reservatório, possui capacidade total de 40 milhões de litros por dia e tem operado em sua capacidade máxima (SANEP, 2019).

Em matéria publicada no jornal Diário Popular de 13 de maio de 2020, destaca-se que associado a um período de estiagem na região, a lâmina de água do Reservatório Santa Bárbara atingiu 3,90 metros abaixo do nível ideal de captação, conforme marcações diárias realizadas pelo Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP), o que impacta na qualidade da água bruta. Para manutenção do abastecimento, de modo assegurar as condições de potabilidade exigidas pelas portarias do Ministério da Saúde, o SANEP tem adicionado e substituído produtos químicos num custo adicional de operação de 500%.

Do ponto de vista geomorfológico regional, a bacia hidrográfica do arroio Santa Bárbara contempla formas de relevo associadas às unidades morfoestruturais do Escudo Sul-Riograndense, enquanto colinas e morrotes graníticos (REHBEIN & DUTRA, 2020), e da porção emersa da Bacia Sedimentar de Pelotas, enquanto planícies e terraços flúvio-lacustres (SILVA & REHBEIN, 2018). A área da bacia está inserida no domínio fitogeográfico da floresta estacional semidecidual submontana. O clima úmido e as temperaturas médias mensais inferiores a 15°C durante quatro meses do ano são os causadores da estacionalidade fisiológica das plantas. A característica semidecidual é identificada pela existência de 20 a 50% de árvores caducifólias no conjunto florestal (IBGE, 2003).

3. Metodologia

A pesquisa se desenvolveu a partir de três etapas:

1º etapa: Consiste no mapeamento de cobertura e uso da terra, o qual, embasado por imagens do satélite Sentinel-2 de 06/08/2019 obtidas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Foram utilizadas as bandas 4, 3 e 2 correspondentes, respectivamente, a cor vermelha, verde e azul na faixa do visível, possuindo resolução espacial de 10 metros. Posteriormente, gerou-se uma composição colorida natural.

A bacia compreende área urbana e propriedades rurais multifuncionais, apresentando usos agrícolas diversificados. Realizou-se interpretação visual das classes na área de estudo, considerando-se padrões de assinaturas espectrais, assim como, as chaves de interpretação (padrão, tonalidade, cor, textura e forma) descritas por Florenzano (2007). A chave de classificação empregada para definir as categorias de cobertura e uso da terra foi o II Nível de detalhamento presente no "Manual Técnico do Uso da Terra" do IBGE (2013). Identificaram-se nove classes de cobertura e uso da terra: Área Urbanizada, Mineração, Lavoura Temporária, Pastagem, Silvicultura, Florestal Natural, Campestre Natural, Corpo d'água Continental e Área Descoberta. Adicionaram-se duas classes na chave de classificação, sendo: Área Úmida (R=90G=172B=160) para áreas de vegetação adaptada à oscilação freática superficial e Área Verde Urbana (R=115G=115B=0) para áreas de vegetação inseridas no meio urbano.

Devido a semelhanças de assinaturas espectrais entre diferentes classes, como, por exemplo, entre silvicultura e área florestal, optou-se por realizar o mapeamento através do processo de segmentação com a ferramenta *Segmentation Mean Shift*. Neste processo a imagem é dividida em polígonos, agrupando-se *pixels* com valores espectrais semelhantes. Para isso utilizou-se na opção *spectral_detail* o valor 20 (alcance de 1-20) a qual trata do nível de importância dada às diferenças espectrais das feições na imagem. Em *spatial_detail* utilizou-se o valor 7 (alcance de 1-20) para definir o nível de importância dada à proximidade entre as feições na imagem. Para *min_segment_size* utilizou-se o valor 15 onde esta relacionado à junção dos segmentos menores de melhor vizinhança. Polígonos adjacentes e correspondentes à mesma classe foram unidos e aqueles não correspondentes foram editados visualmente através da ferramenta *Merge* (PRESTES, 2018).

2º etapa: Consiste no mapeamento de cabeceiras de drenagem com formação de *hollows.* Para a cartografia do relevo se seguiram as definições taxonômicas apresentadas em Ross (1992), que traz, entre outras fundamentações, as contribuições de Guerasimov (1946), Mecerjakov (1968) e Demek *et al* (1972). O trabalho se desenvolveu na perspectiva de inventariação e cartografia de padrões de formas semelhantes do relevo, considerando-se seus aspectos morfológicos e morfogenéticos, terceiro táxon da proposta de Ross (1992).

Num primeiro momento, estruturou-se um banco de dados geográfico (BDG), com a digitalização e a organização de bases matriciais e vetoriais georreferenciadas, como da hidrografia (nascentes, cursos fluviais e corpos d'água), curvas de nível com equidistância de 20 metros, pontos cotados e malha viária (HASENACK e WEBER, 2010), além de anaglifos de fotografias aéreas do Voo SH-22-T – Faixa11, na escala de 1:40.000, disponibilizadas pela Força Aérea Brasileira (FAB) e Agência Lagoa Mirim (ALM).

Para obtenção de imagens anaglifos se seguiram as orientações de Santos e Dias (2011). A metodologia resulta na aplicação de estereoscopia em pares de fotografias aéreas parcialmente sobrepostas, em meio digital, a partir do uso de óculos 3D. Para cobrir a área da bacia hidrográfica do Arroio Santa Bárbara, utilizaram-se as fotografias 127 a 130, registradas pela FAB no ano de 1953 e disponibilizadas em formato digital (com resolução de 300dpi) pela ALM.

Num segundo momento**,** realizou-se o processamento de materiais do BDG para a obtenção de novos Planos de Informações (PIs), tais como: Modelo Numérico do Terreno (MNT); Mapa Clinográfico, Hipsométrico e de Elementos Topográficos (Divisores D'água, Rupturas de Aclive/ Declive e Talvegues). Da sobreposição desses PIs, imagens anaglifos de fotografias aéreas e trabalhos de campo, com uso de Sistema de Posicionamento Global (GPS), definiram-se e delimitaram-se os padrões morfológicos de cabeceiras de drenagem com formação de *hollows*.

3º etapa: Consiste no mapeamento de cobertura e uso da terra em cabeceiras de drenagem com formação de *hollows***.** Através de técnicas de Geoprocessamento, esta etapa envolve a sobreposição dos PIs de cobertura e uso da terra e de cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* e a seleção dos dados contidos nesses compartimentos de relevo.

4. Resultados e Discussões

Na bacia hidrográfica do arroio Santa Bárbara obteve-se o seguinte mapeamento em relação à cobertura e uso da terra: área descoberta (233 hectares ou 2,13%); área úmida (443ha ou 4,05%); área urbana (2.523ha ou 23,06%); área verde urbanizada (114ha ou 1,05%); campestre (1.850ha ou 16,91%); corpos d'água (410ha ou 3,75%); florestal (1.566ha ou 14,31%); lavoura temporária (1.842ha ou 16,84%); mineração (19ha ou 0,18%); pastagem (234ha ou 2,14%); e silvicultura (1.707ha ou 15,60%) (Figura 2).

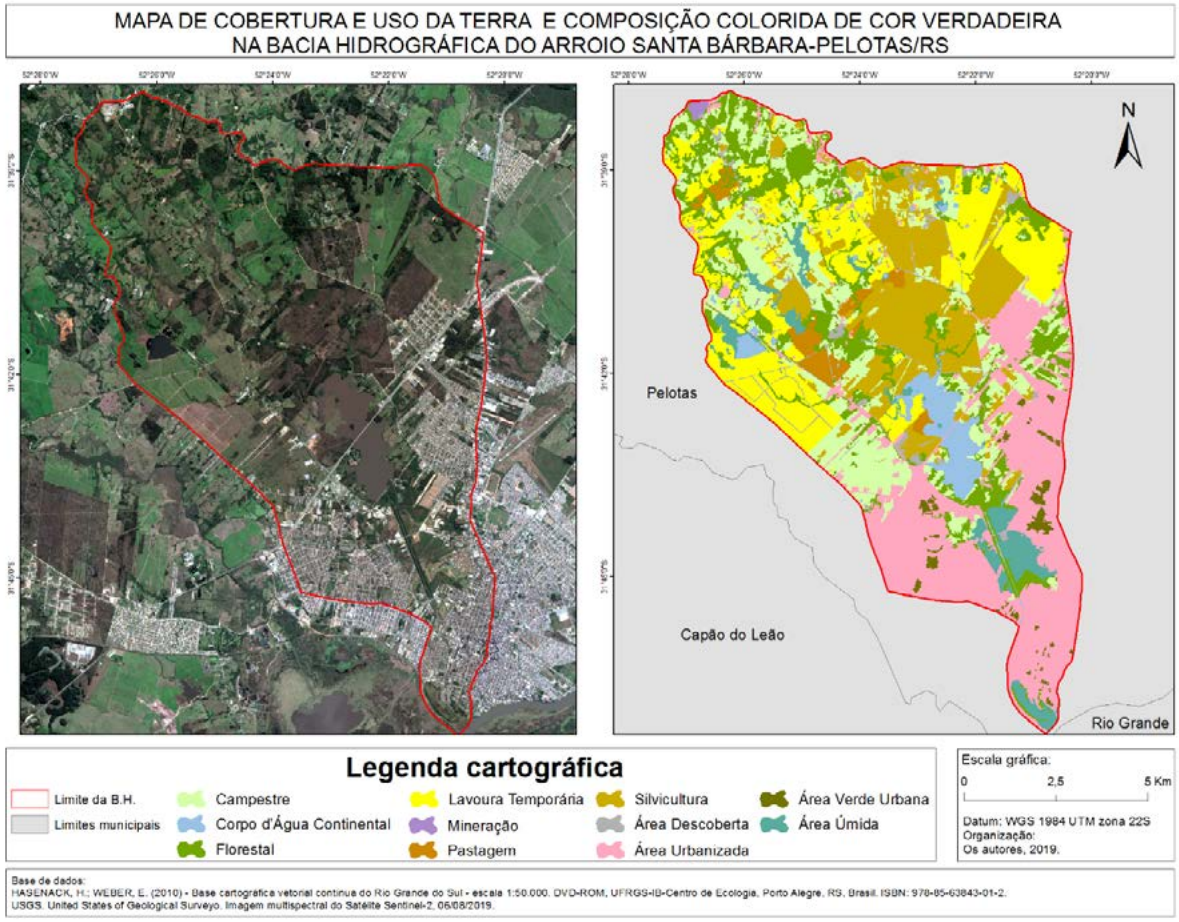


FIGURA 2: Mapa de cobertura e uso da terra na Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara-Pelotas/RS.
Fonte: Os autores, 2020.

De acordo com os dados, o uso da terra tem expressivo percentual em relação à cobertura natural, pois a bacia do Arroio Santa Bárbara compreende áreas urbanas e rurbanas do município de Pelotas.

Na bacia foram mapeados 144ha em 31 cabeceiras de drenagem com formação de *hollows*. Portanto, esses compartimentos de relevo compreendem 1,32% da área total da bacia. As cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* estão concentradas em sentido noroeste, onde ocorrem as maiores altitudes e também as vertentes com maiores declividades na bacia (Figura 3).

As cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* ocorrem como vertentes côncavas de colinas e morrotes graníticos, à montante de planícies fluviais. A relação dos *hollows* com as vertentes côncavas têm natureza genética, pois, resultam da erosão regressiva dessas vertentes, com seus aprofundamentos, alargamentos e entulhamentos. Por sua vez, as planícies resultam das progressões dos *hollows*, a partir de reestruturações hierárquicas fluviais da rede de drenagem (REHBEIN & DUTRA, 2020).

Em suma, é através das cabeceiras de drenagem com formação de *hollows,* pelas intrincadas relações de trocas entre matéria e energia das colinas e morrotes com as planícies, atreladas às variações pluviométricas sazonais, que se destacam os processos morfogenéticos e morfodinâmicos do relevo da área.

A presença da cobertura florestal natural nas cabeceiras de drenagem com formação de *hollows,* na bacia do arroio Santa Bárbara, corrobora para a manutenção de suas nascentes, estabilização de vertentes e taludes fluviais, reduzindo-se a suscetibilidade dessas unidades de relevo ao desenvolvimento de processos erosivos e, por consequência, mitigando-se assoreamento da rede de drenagem e, possivelmente, do próprio reservatório Santa Bárbara.

Com base na distribuição da cobertura e uso da terra nas cabeceiras de drenagem com formação de *hollows*, observa-se que 68ha ou quase 50% desses padrões geomorfológicos têm cobertura florestal natural e que 37ha ou 26% são cobertos por vegetação campestre natural (Figura 4 e 5). Essas coberturas vegetais constituem potencialidade ambiental nesses segmentos do relevo, pois, atuam na interceptação, infiltração, formação e fixação do manto de alteração pedogenético.

Por outro lado, observa-se que 16ha ou 11,44% desses padrões geomorfológicos são de uso de lavouras temporárias e 13ha ou 9,68% de uso de silvicultura. Outros usos, de menor expressão, envolvem pastagem (2,87ha ou 2%), mineração (1,80ha ou 1,25%), área urbana (1,52ha ou 1,06%) e área descoberta (0,89ha ou 0,62%) (Figura 4 e 5).

A supressão da vegetação original nas cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* pelas atividades agrícolas, a partir do manejo das lavouras temporárias, silvicultura e pastagem, expõe periodicamente os solos aos efeitos *splash*, salpicamento e selamento, corroborando para redução da infiltração, potencialização do escoamento superficial, processos erosivos e assoreamento a jusante. Do mesmo modo, áreas de mineração e urbanas também intensificam esses processos, além de potencializarem riscos de poluição e contaminação dos recursos hídricos.

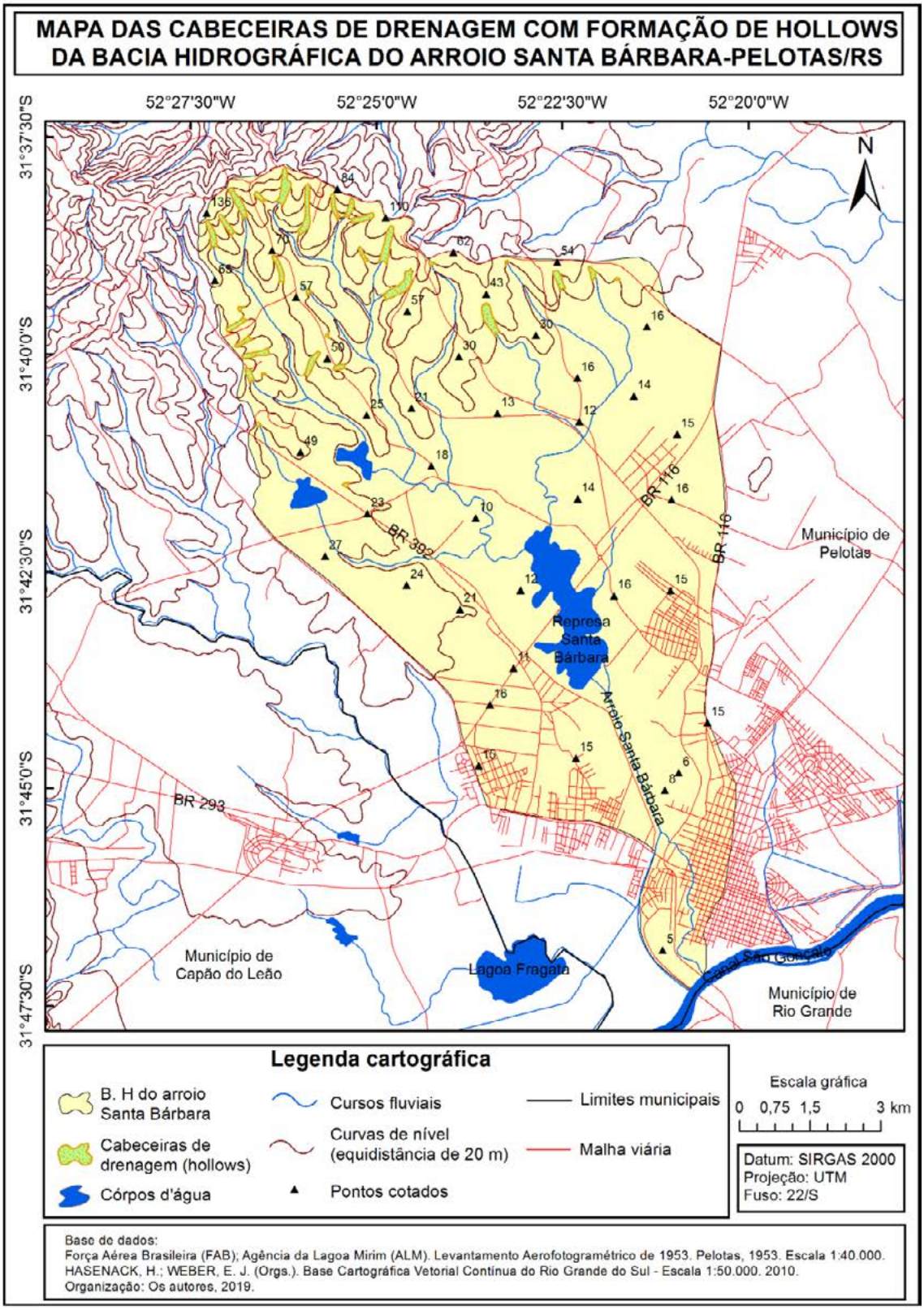


FIGURA 3: Mapa das cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* na Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara/ Pelotas/RS.
Fonte: Os autores, 2020.

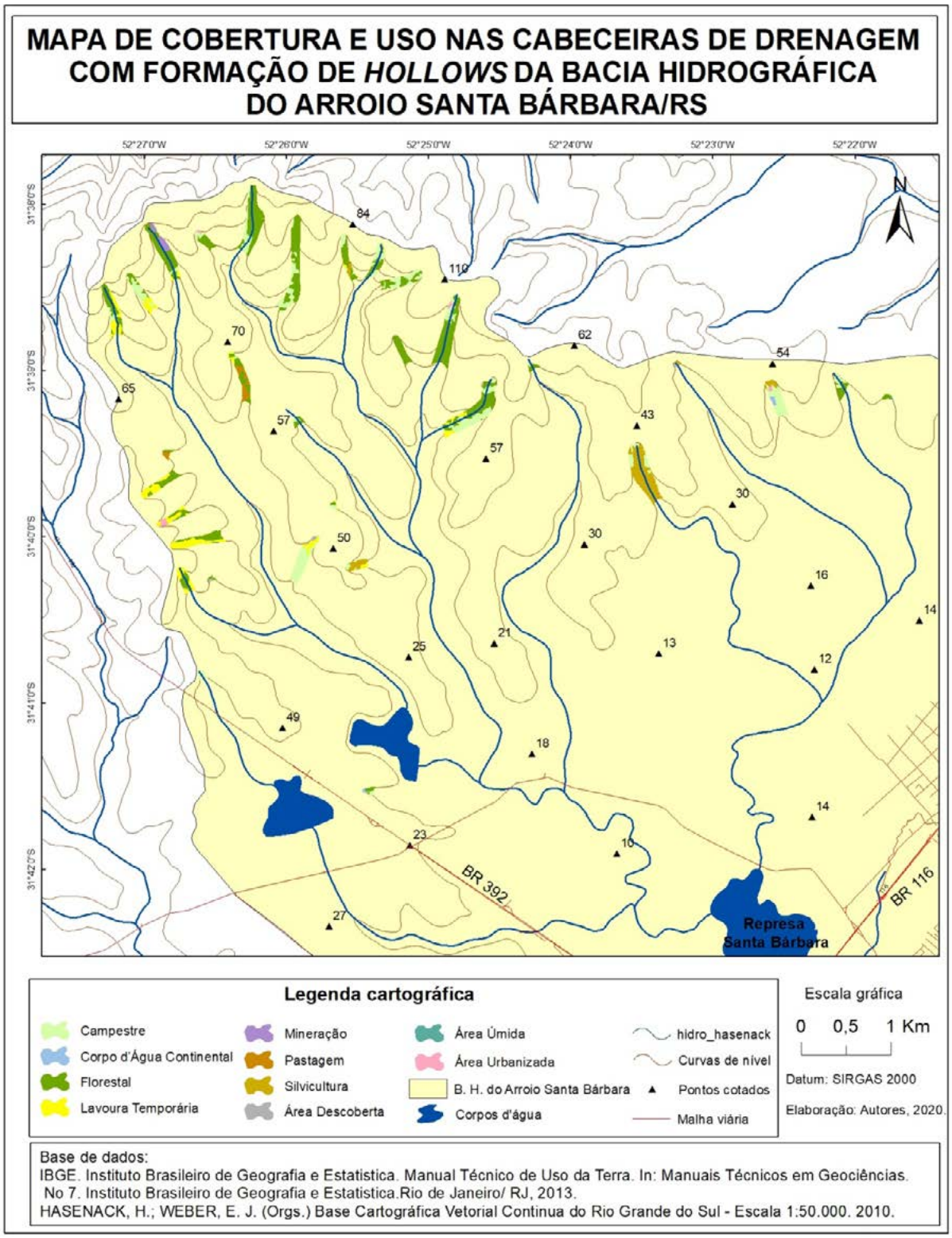


FIGURA 4: Mapa de cobertura e uso da terra nas cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* na Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara - Pelotas/RS.
Fonte: Os autores, 2020.

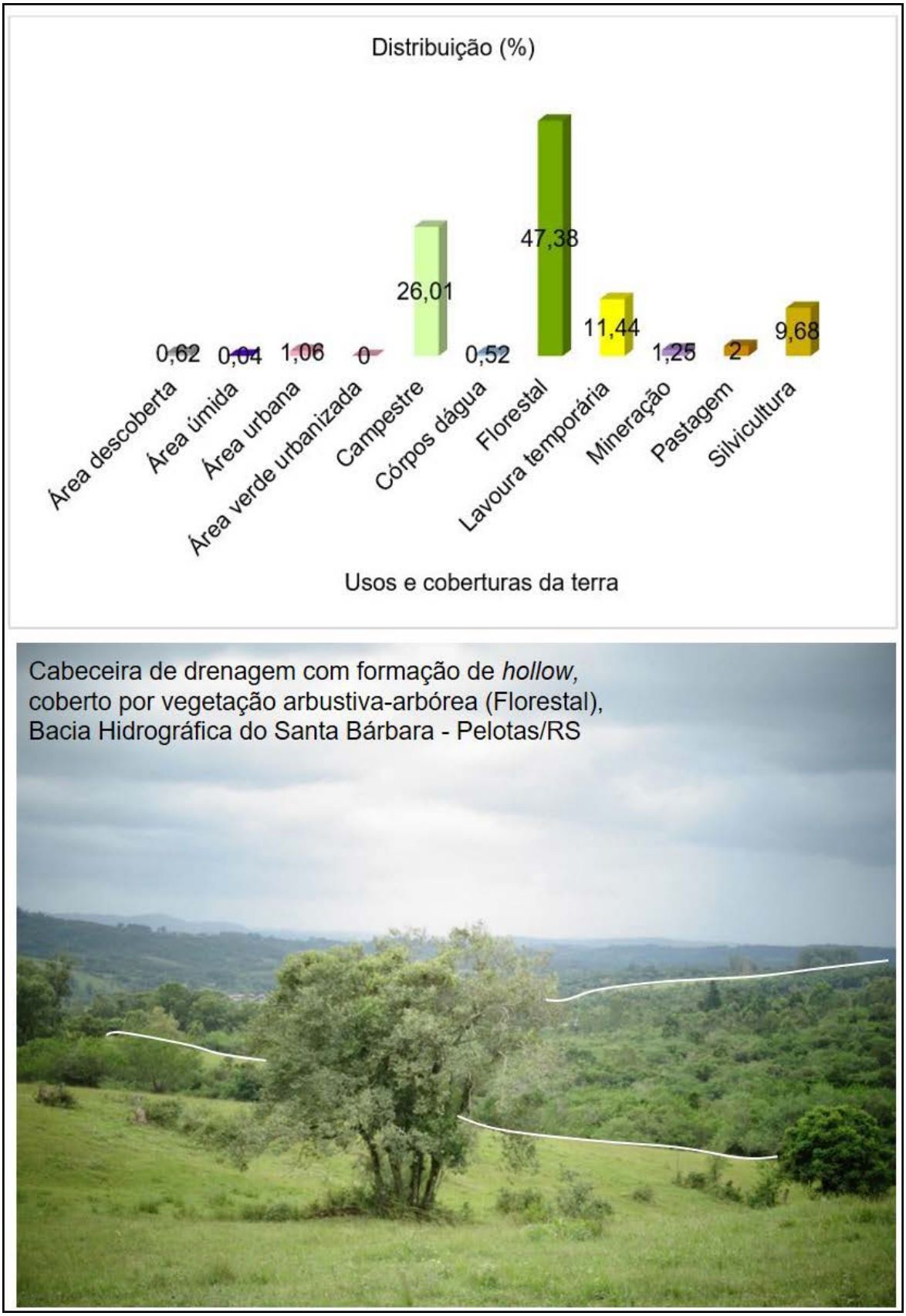


FIGURA 5: Distribuição (%) da cobertura e uso da terra em cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* na Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara - Pelotas/RS.
Fonte: Os autores, 2020.

5. Considerações Finais

A preservação da vegetação natural nas cabeceiras de drenagem com formação de *hollows* na bacia hidrográfica do arroio Santa Bárbara, visto a pequena expressão espacial desses padrões geomorfológicos (apenas 1,32% da área total da bacia), é de suma importância para manutenção do reservatório Santa Bárbara, tanto no sentido de produção de água como no de mitigação na produção de sedimentos e seu assoreamento.

Assim, a partir dos dados levantados, destaca-se a importância da restituição da vegetação natural nesses segmentos de relevo, dadas suas particularidades morfogenéticas e morfodinâmicas, também, pela importância estratégica dessa bacia no abastecimento de água para a cidade de Pelotas.

Referências

BERTOL, I. **Conservação do solo no Brasil**: histórico, situação atual e o que esperar para o futuro. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

DIÁRIO POPULAR. Chuva não altera cenário da Barragem. **Diária Popular**, Pelotas, 13 de maio de 2020. Seção Geral.

DUTRA, D. da S.; REHBEIN, M. O.; Identificação e análise de morfodinâmicas do relevo da área de influência do Escudo Sul-Rio-Grandense no município de Pelotas, RS**. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento.** 1°ed. Campinas: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017, v. 1, p. 6162-6172.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 2. Ed. de Imagens de satélite para estudos ambientais.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB); AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM (ALM). **Levantamento Aerofotogramétrico de 1953.** Pelotas, 1953. Escala 1:40.000

GRAU, H.R.; MITCHELL A. Globalization and Land-Use Transitions in Latin America. **EcologyandSociety**, v.13, n.2,2008.

GUERRA, A.T. & GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico.** 6° Ed.. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008, 652 p.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in Humid Temperate regions. **American Journal of Science**, 188, p 80-97, 1960.

HASENACK, H.; WEBER, E. (2010) - **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** - escala 1:50.000. DVD-ROM, UFRGS-IB-Centro de Ecologia, Porto Alegre, RS, Brasil. ISBN: 978-85-63843-01-2.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. In: Manuais Técnicos em Geociências. No 7. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro/ RJ, 2013.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeto Radambrasil: Vegetação**. Folha Pedro Osório – 1:250.000 (SH. 22-Y-C), 2003.

MENGUE, A. Nível da Barragem Santa Bárbara chega a 2m92cm nesta segunda (30/03/2010). Prefeitura Municipal de Pelotas. Disponível em <http://www.pelotas.com.br/noticia/nivel-da-barragem-santa-barbara-chega-a-2m92cm-nesta-segunda>Acesso em 04 de abril 2020.

PAISANI, J.C.; PONTELLI, M.E.; GEREMIA, F. Cabeceiras de drenagem da bacia do rio Quatorze – Formação Serra Geral (SW do Paraná): distribuição espacial, propriedades morfológicas e controle estrutural. **Revista RA'E GA** 12, p.211-219, 2006.

PRESTES, V. **Erosão hídrica e uso da terra no alto curso do Arroio Quilombo por meio da Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS.** Orientadora: Edvania Aparecida Corrêa Alves. 2018. 64f. TCC (Graduação) – Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

REHBEIN, M. O.; DUTRA, D. S. Mapeamento Geomorfológico da área de influência do Escudo Sul-Riograndense no município de Pelotas/ RS. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 18, p. 01-23, 2020.<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/13844>

ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a questão da Taxonomia do Relevo.** Revista do departamento de Geografia, n. 6, FFLCH/USP, São Paulo, 1992. p. 17-29.

SANEP. Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas. Disponível em <https://portal.sanep.com.br/> Acesso em 10 de dez. 2019.

SANTOS, D. S.; DIAS, F. F. **Uso de Anaglifos como Alternativa para Práticas de Estereoscopia em Sensoriamento Remoto.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Niterói, v. 34, n. 2, p. 105-111, dez. 2011.

SILVA, A. R. E.; REHBEIN, M. O. Análise e mapeamento geomorfológico da área de influência da Planície Costeira de Pelotas (Rio Grande do Sul, Brasil). **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 19, p. 567-585, 2018 <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/1342>.

SILVA, A. R. E.; REHBEIN, M. O. Mapeamento e caracterização de padrões de formas semelhantes de relevo: levantamento de dados morfológicos de ocorrência centro-nordeste do município de Pelotas/ RS. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, v. 25, p. 98-122, 2015.

SILVA, J. X. O que é Geoprocessamento? **Revista CREA** RJ, Rio de Janeiro, 30 out. 2009. p. 42-44

MAPEAMENTO DE FOCOS EROSIVOS LINEARES E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS – O EXEMPLO DO ESTADO DE GOIÁS

Hellbia Samara Moreira de Carvalho Rodrigues
Universidade Federal de Goiás
Jardim Itatiáia CEP: 74690-900
E-mail: hellbia.rodrigues@gmail.com
Selma Simões de Castro
Universidade Federal de Goiás
Jardim Itatiáia CEP: 74690-900
E-mail: selma.castro@uol.com.br

Resumo

A intensa conversão do Cerrado em áreas agrícolas e pecuárias resultantes da expansão da fronteira agrícola, principalmente desde a segunda metade do século passado, ocasionou mudanças abruptas na dinâmica da paisagem. Apesar de economicamente bem sucedido, o processo causou diversos impactos ambientais, como o desenvolvimento de processos erosivos hídricos. Tais processos, na forma de ravinas e voçorocas, sobretudo de médio e grande porte, vem sendo bastante estudados na região do Sudoeste Goiano. Contudo, não havia um estudo da distribuição preferencial dos focos erosivos existentes e tampouco a suscetibilidades a erosão hídrica linear. O presente estudo teve por objetivo apresentar o mapeamento dos focos erosivos assim como da suscetibilidade a erosão hídrica linear para o estado de Goiás. A estratégia metodológica baseou-se em abordagem geoespacial multiescalar decrescente acompanhada de geocartografia.

Palavras-chave: Impacto ambiental, Erosão, Geocartografia.

1. Introdução

Os efeitos das mudanças na cobertura e uso do solo vêm sendo uma questão cada vez mais estudada em diferentes escalas, da global à local, pelo fato do solo ser um recurso natural indispensável para produção de alimentos e conservação ambiental, dentre outros. Apesar da sua importância, 33% dos solos do planeta já se encontram degradados, devido uso e ocupação inadequados, com efeitos deletérios que põem em risco a segurança alimentar (FAO, 2015; PENNOCK, 2019). A perda de solo em contexto geral, nas áreas agrícolas é de 10 a 40 vezes mais rápido do que a taxa de formação do solo, e a cada ano, cerca de 10 milhões de hectares de terras cultiváveis são perdidos devido à erosão do solo (PIMENTEL; BURGESS, 2013).

A forma de ocupação histórica do uso agrícola no Brasil como um todo promoveu intensas mudanças no cenário brasileiro de modo acelerado, sobretudo desde meados do século passado (MANZATTO et al., 2002). Neste, o bioma Cerrado foi priorizado, porém sem deixar de promover impactos, e sobre isso os estudos vem revelando que a erosão hídrica acelerada afetou áreas desmatadas e convertidas sobretudo em pastos, causando uma grande preocupação. Assim, o custo ambiental, que se iniciou pela perda de sua biodiversidade e de vários ecossistemas devido conversão agropecuária seguiu-se da geração de passivos ambientais (BRASIL, 2014), e foi acrescido de outros processos, como os erosivos, tanto on-site como off-site (TELLES e GUIMARÃES, 2009; LAL, 2012), além de assoreamento e de contaminação.

Castro et al., (2010) destacam a necessidade de pesquisar e entender os impactos das mudanças antrópicas causais das alterações das paisagens induzidas pelas mudanças de uso dos solos, sobretudo as intensas e indiscriminadas, como é o caso da erosão, compactação dos solos, contaminação dos recursos hídricos, e da disputa por terras e outros impactos socioambientais decorrentes, que promoveram reconfigurações locais, regionais e mesmo nacionais.

A grande conversão de terras desse bioma em área de atividade agropecuária promovida pela expansão da fronteira agrícola, favorecida por numerosos programas específicos, induziram a incorporação de suas terras ao sistema produtivo, causou perda de cerca de 50% de sua área contínua (HOGAN et al, 2002 a,b), sobretudo sua porção Centro-Sul (PROBIO, 2007), e de numerosas espécies remanescentes, o que levou a situá-lo como um dos 34 hotspots da biodiversidade do planeta (CI, 2005). Este processo, embora tenha desacelerado nas últimas duas décadas, vem novamente sendo alvo de novas mudanças do uso do solo, devido à recente expansão da monocultura da cana de açúcar, que tem como área alvo justamente o Centro-Sul do Cerrado, já convertido em pastos e áreas de cultivo de grãos (PROBIO, 2007; CASTRO e QUEIROZ NETO, 2010; TERRACLASS, 2013; MAPBIOMAS, 2019).

Em particular, esse processo intensivo de conversão de uso solo do estado de Goiás não se fez sem um custo ambiental, a começar pela perda de sua biodiversidade e de vários ecossistemas em consequência do avanço da agropecuária (HOGAN et al, 2002 a; MIZZIARA, 2006; BRASIL, 2014). Outros processos como os erosivos, de assoreamento e de contaminação, acompanharam essa dinâmica (CASTRO, 2010). Diante desse contexto, destaca-se a necessidade de pesquisar e entender os impactos presentes, especificamente a erosão hídrica linear, usualmente classificada em formas de sulcos, ravinas e voçorocas, que decorrem, na maioria das vezes, de mudanças na cobertura e uso do solo (CARVALHO et al., 2006).

Um levantamento bibliográfico sobre erosão hídrica acelerada sobre o Brasil (BARRETO; BARROS; SPAROVECK, 2008) identificou, dentre outros aspectos, o predomínio de estudos sobre erosão laminar envolvendo a Equação

Universal de Perdas de Solos (denominadas internacionalmente de USLE, ou subsequentes) e alguns outros modelos mais concentrados entre 1980 e 2000, como o WEPP –Water Erosion Prediction Project. E Scopel (1998) ressalta que com o avanço tecnológico surgiu a possibilidade de ampliar os estudos de erosão com o uso de técnicas de sensoriamento remoto (SR), por meio de imagens de satélite que possibilitam a identificação tanto da feição erosiva em si, como de áreas de solos degradados e suscetíveis ao processo erosivo. Em especial, o uso do SR de alta resolução para medir a erosão pode fornecer medições diretas, bem como medições para modelos de erosão. Stroonsnijder, (2005) afirma que isso pode ser feito de diversas formas, com interpretação visual de superfícies erodidas, ou identificação automática, ou aplicação da relação empírica entre erosão e reflexão sobre os condicionantes, para uma melhor interpretação.

A erosão linear é menos estudada, mas quando é, geralmente se dá em estudos de caso, localizados, pontualmente. No estado de Goiás, estudos desenvolvidos por Barbalho, (2002), Castro et al., (2004), Santana e Castro, (2006), Nunes, (2015), Barbalho e Castro (2013) e Nunes e Castro (2015), dentre outros, sobre a região Sul e Sudoeste do estado de Goiás, na alta bacia do rio Araguaia, são exemplos recentes. Nunes (2015), em especial, aprofundou o estudo na região Sudoeste com base em modelo de base física, determinando os parâmetros específicos da morfometria do relevo, tais como curvaturas negativas, rampas longas, rupturas negativas de declive e cabeceiras de drenagem.

Apesar da dinâmica econômica e inserção da economia do estado de Goiás no cenário nacional e global, só mais recentemente é que estudos mais detalhados vêm sendo desenvolvidos e divulgados sobre suas características ambientais, o que tem permitido melhorar a avaliação do status de sua degradação ambiental (CASTRO e HERNANI, 2015). Há a disponibilidade de dados como o mapa geológico (CPRM, 2000) e hidrológico (CPRM, 2000), já se pode contar com o de erodibilidade (SCOPEL et al., 2001, o geomorfológico (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006), o de uso do solo (MAPBIOMA, 2016), o de geodiversidade (CPRM, 2008),), o de solos (OLIVEIRA, 2013), o de aptidão agrícola (OLIVEIRA, 2013), e o de vulnerabilidade ambiental (WWF, 2004; GOIÁS, 2014), na maioria disponíveis no Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás (SIEG), constituem-se em dados importantes para subsidiar tanto o estudo como a intervenção na gestão do território goiano.

Em síntese, um território amplamente utilizado para produção agropecuária, tendo o recurso solo como um dos fundamentais traz consigo a questão da degradação por erosão hídrica linear, como uma problemática constantemente levantada por pesquisadores no tanto para o estado de Goiás como Distrito Federal, necessita de um estudo amplo, multiescalar, que apresente um modelo dos principais condicionantes do processo, que identifique, delimite e tipifique as áreas críticas de erosão em seu território, tido como parte significativa de celeiro do mundo. E neste estudo o objetivo é apresentar metodologicamente o mapeamento de focos erosivos lineares e identificação de áreas críticas – o exemplo do estado de Goiás.

2. Área de Estudo

O estado de Goiás (GO) e Distrito Federal (DF) estão situados na porção central do Brasil e integram a região Centro-Oeste do País. Seu principal tipo de cobertura vegetal original é o Cerrado, hoje parcialmente convertido, sobretudo em atividades agropecuárias. Localiza-se entre as Latitudes 12º23'30" e 19º29'52" (Sul) e as longitudes 45º54'30" e 53º15'14"(Oeste) e GO abrange aproximadamente 340.106,492 km² e o DF 5.780 km² (IBGE, 2010) (Figura 1).

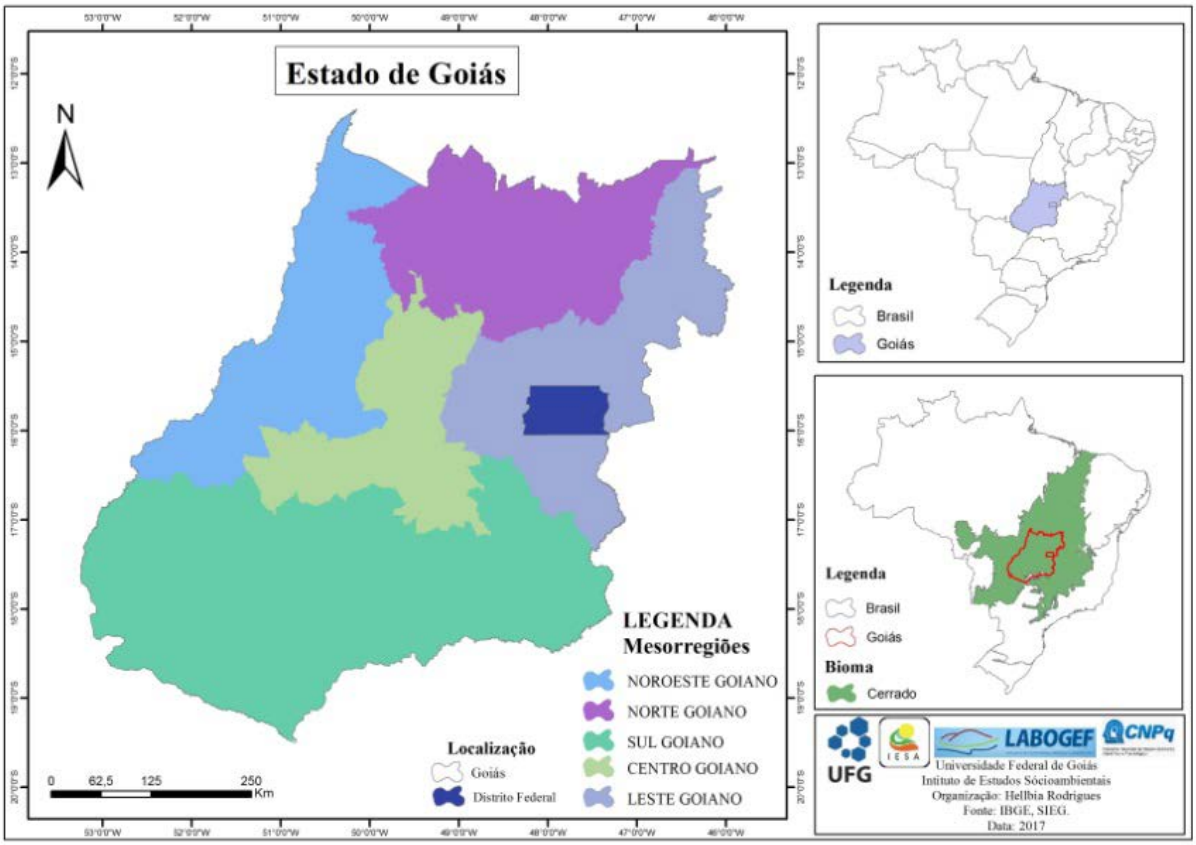


FIGURA 1. Localização de Goiás com suas cinco mesorregiões e o Distrito Federal.
Fonte: Arquivo dos autores.

O estado de Goiás está subdividido em cinco mesorregiões, a saber: Noroeste Goiano; Norte Goiano; Centro Goiano; Leste Goiano e a mesorregião do Sul Goiano, esta a maior em extensão territorial. Abriga uma população aproximada de 6.003.778 segundo censo de (2010) e com estimativa para (2019) de 7.018.354 pessoas, distribuída em 246 municípios, dentre os quais se destaca Goiânia, a capital, com 1.302.001 habitantes segundo censo de (2010) e com estimativa para (2019) de 1.516.113 (IBGE, 2018). No Distrito Federal de Brasília, capital federal, onde predominam serviços terciários e a administração pública federal, o contingente populacional é de 2.570.160 habitantes e com estimativa para (2019) de 3.015.268 habitantes (IBGE, 2018).

A geologia do estado de Goiás, em particular, assenta-se sobre duas províncias: (a) a Faixa Tocantins, do domínio Brasiliano, Neoproterozóico, que corresponde à maior parte do território e inclui a área do Distrito Federal; e (b) a Bacia Sedimentar do Paraná, que se desenvolveu do Paleozóico ao Mesozóico, e que se restringe basicamente à porção sudoeste do Estado (LACERDA FILHO; SILVA; OLIVEIRA, 2000).

Na geomorfologia o estado de Goiás e Distrito Federal possuem extensas Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA), delimitadas por Zonas de Erosão Recuante (ZER), dentre outra. Em todo do estado de Goiás as SRA se destacam em área, ocupando aproximadamente 68% do território goiano, estando subdivididas em quatro com altitudes decrescentes. As SRA possuem variações de altitude e estão bem distribuídas por todo o Estado, mas a SRAIV é a de maior extensão, localizada sobretudo na porção Oeste, numa faixa contínua até o Norte, embora ocorra localizadamente também na porção Nordeste e Sudoeste.

As ZER, que se caracterizam como relevo movimentado, equivalem a aproximadamente 18% da área do Estado, ocorrendo de forma fragmentada na porção Sudeste, Sudoeste, Nordeste e Centro-norte. No Sudoeste são ambientes de domínio de Arenitos e solos de textura arenosa como Neossolos Quartzarênicos, de alta erodibilidade; outra área é o Centro-Norte, ambiente de ocorrência de Xistos e Metasiltitos, com predomínio de Cambissolos de muito alta erodibilidade. Esses ambientes associados à ZER aumentam a suscetibilidade à erosão. Em geral, são áreas de declives acentuados.

Em relação a declividade aproximadamente 76% do Estado possui declividade de 0 a 6%, caracterizada como plana a suave ondulada, associada às SRA, sobretudo a SRA IV, e dominada por Latossolos, de baixa erodibilidade, portanto bastante propícios à atividade agropecuária e ao manejo intensivo, motomecanizado. A segunda classe de maior destaque é a de 6.1 a 12%, ocupando 16,14% da área do Estado, onde também predominam as SRA, em especial a SRA III e II. Os declives mais pronunciados se encontram na porção norte, sudeste e numa pequena faixa na porção oeste, associados a morros e colinas, mas correspondem a apenas 0,02% do território, com declividade e > 45% que correspondem a faixas escarpadas serranas ou das ZER. As declividades que variam de 12.1 a 20% e 20.1 a 45% correspondem a ambientes de declives pronunciados que ocorrem na porção centro-norte, sudeste e sudoeste do Estado, também em ambientes de ZER, mas correspondem um total de 7,91% do território. Assim, pode-se dizer que em termos geomorfológicos o estado não apresentaria elevado potencial erosivo.

Os recursos hídricos do estado de Goiás e Distrito Federal fazem parte do bloco de oito Estados brasileiros que possuem Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), e que fizeram parte de um estudo desenvolvido pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº32/2003 (MMA, 2006), o qual criou um caderno com regiões hidrográficas para auxiliar na administração dos recursos hídricos do País. O estado de Goiás possui uma densa rede de drenagem, um aspecto natural importante tanto para manutenção da biodiversidade, quanto para as áreas de uso e ocupação. Subdivide-se em 5 (cinco) bacias hidrográficas: São Francisco, Javaés, Araguaia, Tocantins e Paraná, e possuem elevada densidade de canais de drenagem, o que leva a um auto potencial erosivo.

O estado de Goiás possui 19 classes de solos, mas a dos Latossolos é considerada dominante, cobrindo aproximadamente 51,25% do território estadual, destacando-se o Latossolo Vermelho, que também é largamente dominante na mesorregião Sul. No restante do Estado os Latossolos se distribuem de forma mais fragmentada. Os Cambissolos Háplicos cobrem 21,74% do Estado e concentram-se ao norte, nordeste e de forma bem fragmentada no Leste. Os Argissolos, que juntos totalizam 8,11% do Estado, se distribuem de forma fragmentada, concentrando-se mais na porção central. Sua principal característica é o incremento de argila no horizonte B, denominado de textural (Bt), que provem do horizonte superficial, tratando-se de argila de atividade baixa (EMBRAPA, 2013). Os Plintossolos representam 7,96% dos solos do Estado, concentrando-se na porção noroeste, na planície do Araguaia e no nordeste do Estado.

Os Neossolos cobrem 7,60% do Estado e se localizam no Sudoeste e Nordeste, sendo constituídos por material mineral e material orgânico pouco espesso, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Diante do exposto é possível considerar que aproximadamente 30% do estado de Goiás apresentam solos suscetíveis aos impactos de erosão por suas características físicas que produzem maior erodibilidade.

3. Metodologia

A abordagem adotada neste trabalho é geocartográfica com ênfase na identificação e avaliação da distribuição espacial dos focos erosivos lineares na escala estadual visando a identificação, a delimitação das áreas críticas no estado de Goiás e sua classificação quanto à intensidade e identificação detalhada dos condicionantes do fenômeno na escala local. O trabalho foi desenvolvido segundo três grandes etapas, as quais são descritas a seguir:

1) **Embasamento metodológico-operacional** – consistiu na revisão da literatura sobre o tema, com vistas a estabelecer principalmente as bases operacionais da pesquisa e identificar os condicionantes envolvidos nos modelos interpretativos do fenômeno erosivo, sejam eles naturais ou de uso e ocupação (SANCHES, 1998; SALOMÃO, 2015). Dada a dificuldade de identificação da tipologia erosiva em imagens de satélite optou-se por agrupar e denominar as feições erosivas apenas como lineares, sem distinguir ravinas de voçorocas. As bases operacionais obtidas referem-se ao formato digital no tratamento das informações.

2) **Elaboração de mapas** no formato digital, utilizando-se de técnicas geocartográficas com auxílio de geotecnologias, tais como sensoriamento remoto aplicado a imagens de satélite de média e alta resolução, para identificação de focos, e em técnicas de geoprocessamento com auxílio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para elaboração dos mapas temáticos relativos aos condicionantes, seus intercruzamentos e relações como o de uso das terras, seguidos de validação em campo. Os mapas utilizados e produzidos estão descritos a seguir.

2.1) *Mapas de Serviço* – refere-se à compilação de mapas existentes na escala estadual destinados à caraterização do meio físico e biótico do estado de Goiás e Distrito Federal, os quais serviram para construção da base de dados da pesquisa e correlações com a distribuição espacial dos focos erosivos; correspondem aos mapas Geológico (RADAMBRASIL, 1983), o Geomorfológico (CARVALHO e LATRUBESSE, 2006), de Solos (OLIVEIRA, 2013), da Rede de Drenagem (IBGE, 2015), do Clima (SILVA, SANTANA, PELEGRINI, 2006; e CARDOSO, MARCUZZO, BARROS, 2014), de erodibilidade (SCOPEL; SILVA, 2001), de erosividade (GALDINO, 2015), de uso dos solos e remanescentes do Cerrado (MAPBIOMAS, 2019). Tais mapas permitiram gerar uma matriz de correlação para identificação dos principais condicionantes de erosão hídrica linear do estado de Goiás e Distrito Federal.

2.2) *Mapa Elaborados* – referem-se aos mapas produzidos por interpretação de imagens de satélite e de outros documentos digitais disponíveis nas bases de dados consultadas gerados nas escalas 1:250.000, 1:100.000 e 1:60.000 e correspondem aos mapas:

- **Mapa de Declividade** – elaborado com base no SRTM (USGA, 2000), na resolução de 30 m, adotando-se cinco classes cinco intervalos de declividade, compatíveis com classes de suscetibilidade à erosão laminar proposta por Salomão (2015), a saber: 0-6; 6.1-12; 12.1-20; 20.1-45; >45%.

- **Mapa de Focos Erosivos lineares -** elaborado na escala 1:15.000 com base nas imagens GeoEye-1, coloridas, com resolução espacial de 1,65 m, de setembro de 2016, disponíveis no sitio GOOGLE EARTH, a escala foi adotada dada a dimensão territorial que foi mapeada, e a identificação dos focos erosivos foi visual na própria imagem de alta resolução, em que cada foco foi representado por um ponto plotado em sua cabeceira, compondo um mapa de pontos, o qual foi anexado de planilha com os critérios de identificação de cada um; em caso de dúvida utilizou-se visualização em 8 m de resolução espacial, para confirmar e pontuar o foco erosivo; utilizou-se o programa ARCGIS e suas ferramentas *Bing*, da extensão *ArcBruTile* para visualização do e criação do *Shapefile* para os pontos de focos erosivos;

A interpretação visual dos focos erosivos baseou-se na classificação supervisionada, utilizando-se dos parâmetros Textura, Tons, Formas / Padrão e Aspectos associados (FLORENZANO, 2011). Procedeu-se à criação de uma gratícula de 3 x 3 km para orientar a varredura detalhada da imagem (NUNES,2015), de modo que toda a região fosse visualizada numa mesma escala, utilizando o *Software* ARCGIS para a criação da malha, com a extensão *Xtoos*. O comportamento espectral também foi um fator utilizado, pois há um padrão segundo cada aspecto numa paisagem (CENTENO, 2009). O solo exposto refletiu em branco, principalmente nos ambientes de solos arenosos, os focos erosivos de médio porte em canais de drenagem quando apresentam-se em linha, eram pouco pronunciados no terreno, já os focos erosivos de grande porte apresentaram-se tanto em formato de linha como ramificados, raramente em formato ovoide.

2.3) **Mapa de Densidade de Focos** - a densidade dos focos erosivos foi calculada com base no tratamento geoestatístico dos pontos lançados no mapa de focos quanto à sua distribuição espacial, com base no estimador de densidade *Kernel*, ferramenta do programa ARCGIS que calcula para uma dada área a magnitude por unidade a partir de recursos de pontos, indicando como os pontos se dispõem numa dada superfície contínua. A escolha do tamanho da célula nessa ferramenta foi de 30m que corresponde ao valor de uma imagem SRTM. A seguir determinou-se o raio de busca que é baseado na unidade linear da projeção da referência de saída, o qual após testes diversos, optou-se por aplicar um raio em km², por apresentar uma melhor visualização das áreas de concentração dos focos erosivos. Para as unidades de área que correspondem aos valores de densidade de saída, também foi selecionada a unidade do Km2, cujos valores de saída representam o valor de densidade e distância entre os recursos planar, permitindo identificar as áreas com maior e menor concentração de focos erosivos, bem como as áreas mais críticas, isto é onde a densidade de ocorrências era maior.

2.4) **de Suscetibilidade à erosão linear** – elaborado na escala 1:100.000, utilizando as variáveis de Erosividade (GALDINHO, 2015), Erodibilidade (RODRIGUES, 2016; adaptado de SALOMÃO, 2015), Declividade (RODRIGUES, 2016; adaptado de SALOMÃO, 2015) e Densidade de Focos (RODRIGUES, 2018). Foi adotado o Escalonamento Multidimensional (EMD), pois permitir a definição de pesos e ponderação entre as variáveis definidas (SAATY, 2008).O EMD é um método que se utiliza de técnica matemática de independência, permitindo mapear distâncias entre pontos em uma representação gráfica espacial, assim como identificar dimensões chave inerentes à avaliações feitas. Representa medidas de similaridade ou dissimilaridade entre pares de objetos como distâncias entre as frentes de um espaço multidimensional de baixa dimensão (SIRECI, 1997). Subdivide-se em EMD não métrico para dados qualitativos, e EMD métrico para dados quantitativos. O EMD métrico foi adotado para espacialização dos dados, em formato quantitativo. Segundo Fávero, et al., (2009) os dados para o EMD métrico necessitam estar em uma escala quantitativa de intervalo ou de razão e dispostos de forma que o cálculo das distâncias da matriz apresentada na equação seja elaborado pela distância euclidiana ou das correlações entre os pares de objetos. Os autores salientam que tanto as distâncias quanto as correlações devem ser calculadas com as variáveis padronizadas, para que, diante do comportamento do dado, seja possível a identificação das similaridades e dissimilaridades de uma área, de forma a visualizá-las em um mapa.

Para o processamento e espacialização dos dados foi utilizado o *Software* ARCGIS, cujos dados (Erosividade, Erodibilidade, Declividade, Densidade de Focos Erosivos Linear) foram transformados em formato *Raster*. Os dados *Raster* foram reclassificados, em unidade, dezena, centena e milhar. Esses números, quando somados por *Algebra de Mapas*, transformam-se em uma síntese que representara as diversas variáveis em uma conjugação numérica matricial. O

produto da Álgebra de Mapas corresponde à junção da matriz de similaridade em um único dado *Raster* em um mapa síntese, que no pós-processamento é transformado em *Polígono*. Os valores impressos no *Shapefile* necessitam de interpretação por análise de multicritérios. Os dados e seus índices, segundo o intervalo disposto para cada variável adotada, assim como os dados quantitativos da reclassificação e as classes de suscetibilidade atribuídas, destinam-se à identificação correspondente do resultado matricial.

2.5) **Mapa de Áreas Críticas** - com o resultado do *Kernel* foi possível identificar as áreas de maior densidade de focos erosivos de forma supervisionada, passando o arquivo do formato Raster para Polígono e sobrepondo com o *Shapefile* de focos erosivos, visualmente identificando os intervalos que correspondiam às áreas críticas. Optou-se pela extração dessas áreas em formato de *Shapefile*, cujos intervalos variam de 0,28 à 1,59 (número correspondente aos focos por km²), igualmente utilizando-se o *Software* ARCGIS.Procedeu-se à avaliação das Áreas críticas em termos de densidades de focos estabelecendo-se as. Foi realizada a correlação espacial entre os focos e os condicionantes do meio físico e selecionou-se duas Áreas Muito Críticas para ilustrar o presente trabalho.

2.6) **Mapa da Área Muito Crítica do Sudoeste Goiano –** na escala local, corresponde ao mapa hipsométrico (de altitudes) e de declividade da área incluindo os focos pontuados, de modo a permitir

3) Interpretação – nessa etapa foram correlacionados espacialmente, por superposição no programa ARCGIS, todos os mapas na escala estadual com o fim de identificar as relações entre a distribuição dos focos erosivos e os condicionantes do meio físico e biótico (substrato geológico, declividade, solos, uso das terras, suscetibilidade erosiva) de modo a compreender as casas da concentração dos focos erosivos em determinadas áreas

4 Resultados e discussões

O mapeamento de focos de focos erosivos lineares indicou a presença de 67.043 focos erosivos lineares. Os mapas de focos e de isodensidade dos focos são apresentados nas figuras 2 e 3, e permitem perceber claramente uma distribuição espacial preferencial dos focos no estado de Goiás e Distrito Federal do ano de 2016, configurando concentrações ou agrupamentos (clusters), que devido à proximidade dos pontos, configuram zonas mais escuras. As densidades predominantes para todo o Estado variaram de 0 à 18 focos/Km² na escala adotada, correspondendo às áreas de mínima e máxima ocorrência de focos erosivos, respectivamente.

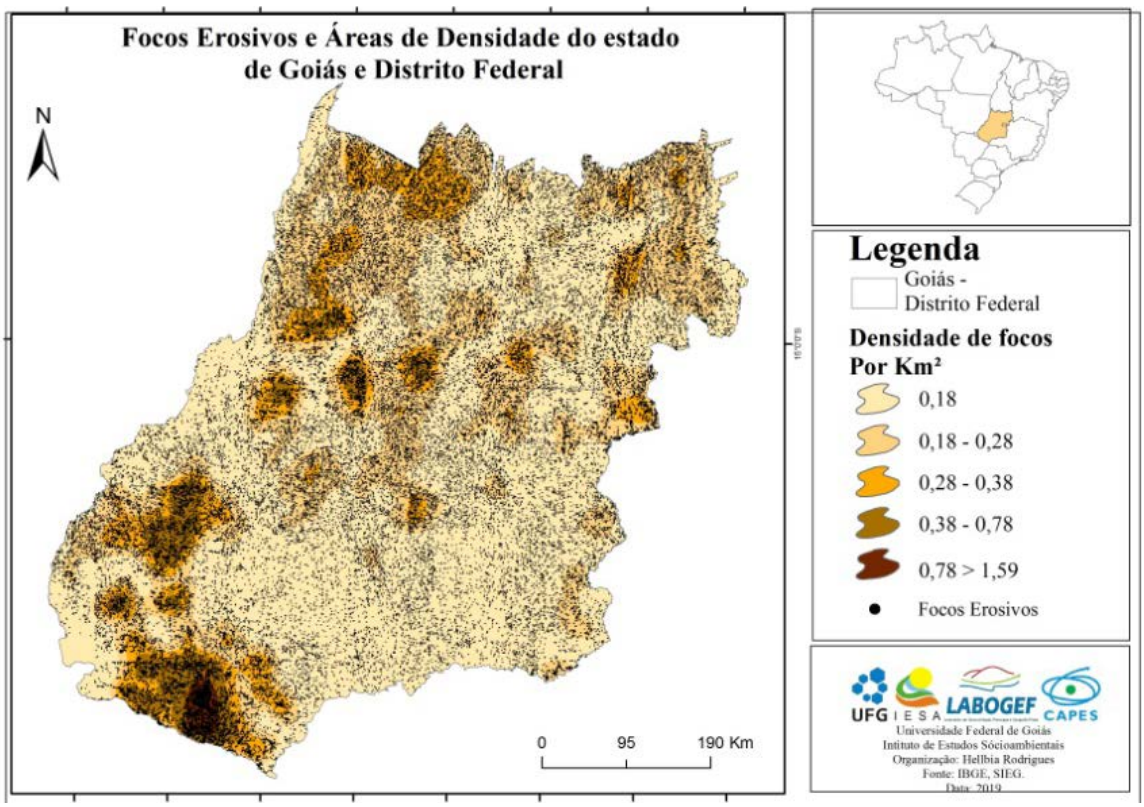


FIGURA 2. Focos Erosivos Lineares e Densidade de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal, 2016. Fonte: Arquivo dos autores.

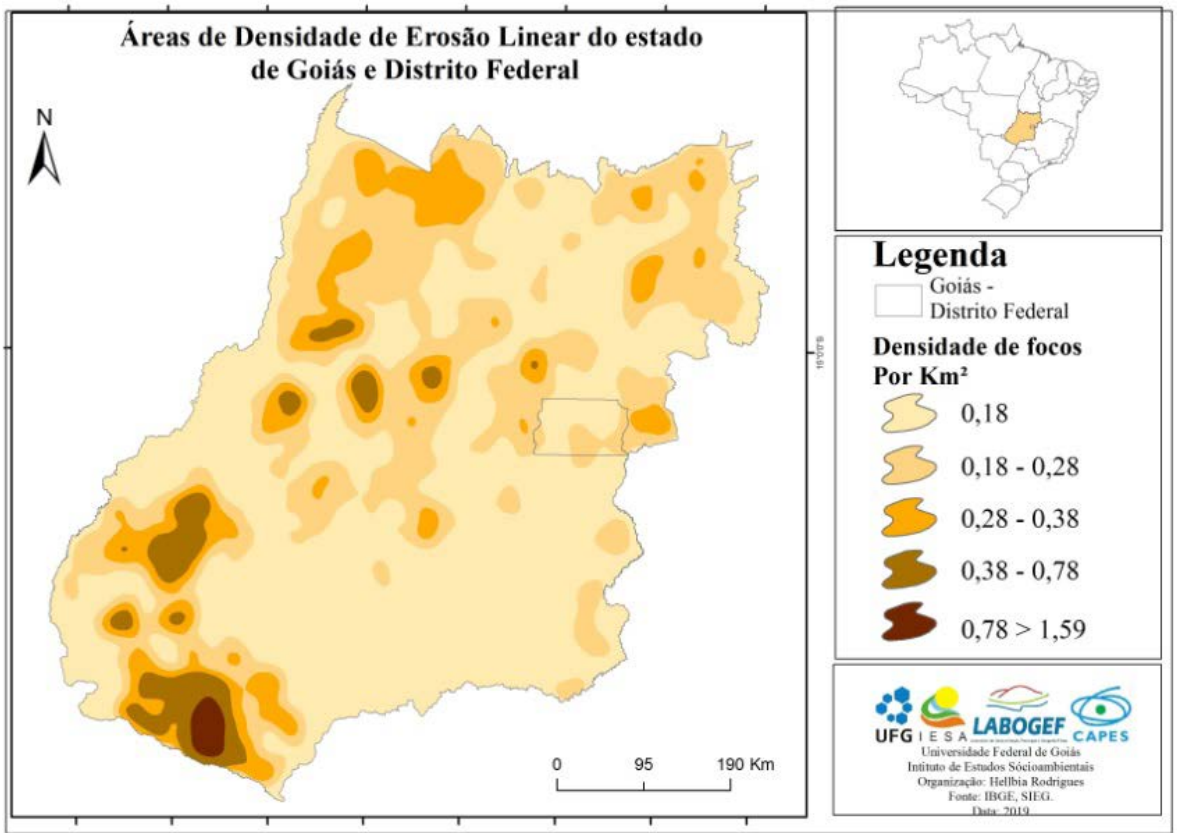


FIGURA 3. Densidade de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal, 2016. Fonte: Arquivo dos autores.

Pode-se constatar que a área de maior densidade de focos erosivos lineares do Estado se localiza na Mesorregião Sul Goiano, mais especificamente na porção sudoeste. A densidade varia de 0 à > 1,59 focos/Km², e os de grandes dimensões, situam-se preferencialmente em ambientes sustentados por arenitos da formação Botucatu/Pirambóia e do Grupo Bauru, em Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA), onde a declividade varia de 0 à 12%. Trata-se de relevo suave, com topos amplos e encostas igualmente suaves configurando rampas longas, mas os solos são considerados frágeis, como os Neossolos Quartzarênicos associados à Latossolos Vermelho-Amarelos de textura média a arenosa, ocupando extensa área. São solo de muito alta erodibilidade, com alta densidade de rede de drenagem e predomínio de pastagem com remanescentes de Cerrado fragmentados.

Tais dados corroboram diversos estudos anteriores realizados nos últimos mais de 15 anos, como o realizado na Alta Bacia do rio Araguaia (ABA), por Santana, et al., (2007), numa escala média ou regional (1:250.000). A autora identificou 304 focos erosivos de grande porte, nos 62.000 km². Com relação à densidade dos focos, utilizando a ferramenta Kernel do ARCGIS, a autora constatou que os focos se apresentavam distribuídos de forma concentrada, configurando agrupamentos, tratados como polígonos, que coincidiam com áreas de alta erodibilidade, dominadas por Neossolos Quartzarênicos, associados à pastagem e estradas mal planejadas. Ao trabalhar a pluviometria e a erosividade da ABA, a autora detectou a presença de epicentros de chuvas que coincidiam com esses polígonos contendo a maior densidade de focos. Contudo, a erosividade, caracterizada como tipicamente tropical, não foi determinante, pois não revelara a mesma correlação espacial.

Como relatado por Barbalho (2003) e Castro (2005), esse setor foi intensamente estudado em escalas de detalhe (1:50.000 e maiores), por ser considerado de elevada concentração de focos erosivos lineares de médio a grande porte. Esses focos identificados por Barbalho (2003) e Castro (2005), foram cadastrados pelo IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas e São Paulo (IPT, 1998) e a extinta METAGO – Metais de Goiás (IPT/METADO, 1998). Na maioria surgiram na década de 1981, quando a fronteira agrícola lá chegou, (SILVA, 2000; CASTRO, 2005).

Em Mineiros, Nunes e Castro (2015) trabalhando em escala ainda de maior detalhe (1: 2000) e com imagens de alta resolução, contabilizaram 5.678 focos erosivos sobre imagem Spot disponível no Google Earth e RapidEye, identificando desde pequenas ravinas até grandes voçorocas, cobrindo uma área afetada de aproximadamente 2.658,24 ha. Também identificaram áreas de densidade alta que variam de 0,28 à > 1,59 focos/km², contribuindo diretamente para o assoreamento de canais fluviais, em especial do rio Araguaia.

Na mesorregião do Noroeste Goiano há poucas áreas com densidade de focos elevada, e os focos têm dimensão menor (pequenas ravinas), com valores de densidade variando de 0 à 0,78 focos/Km². Há na área um mosaico diversificado de solos com Argissolos, Plintossolos, Latossolos, e predomínio de classes de baixa erodibilidade. O predomínio de pastagem como principal uso, associado a SRAs, os Morros e Colinas descontínuos constituem áreas preferenciais, mas as áreas de maior densidade de focos erosivos está ligada diretamente às áreas de alta erosividade, contrariamente à Alta Bacia do rio Araguaia (ABA) e seu setor Sul. Entretanto, na mesorregião Noroeste chama a atenção o número elevado de focos por estar associado à rede de drenagem, assim como às estradas e a trilheiros de gado em áreas de pastagem. Ferreira; Ferreira; Lobo, (2007) realizaram um estudo dessa região, avaliando o risco de desmatamento, classificando-o como de alto risco por ser favorável à conversão do Cerrado em áreas de agricultura e sobretudo de pecuária extensiva. Dados recentes do MapBioma

(2016) mostram que a área já está altamente fragmentada. Os focos estão ligados à atividade humana sendo possível identificar que na mesorregião Noroeste os focos erosivos estão associados aos manejo inadequado das terras.

Na Mesorregião Norte Goiano, a densidade de focos varia de 0 à 0,38 focos/Km², não sendo elevada se comparada às demais mesorregiões. No entanto, a área de densidade elevada corresponde à área onde predominem solos de baixa erodibilidade, o que pode auxiliar é a cobertura vegetal, ambiente que ainda predominam fragmentos extensos de Cerrado. É preciso observar que há limitações para se detectar áreas erodidas via SR em ambientes com cobertura vegetal, assim como o sombreamento do relevo das bordas das encostas, o dificulta a visualização (VRIELING, 2006). No caso da mesorregião Norte Goiano, a maior densidade de focos está claramente associada à pastagem e trilheiros, apresentando-se como pequenas ravinas sem cortes abruptos, mas esse número pode ser maior, por de ser uma área de relevo movimentado.

Na porção Central do estado de Goiás, a mesorregião do Centro Goiano, a densidade de focos que varia de 0 à 0,78 focos/Km². A dimensão dos focos erosivos variou, desde pequenas ravinas até grandes e extensas voçorocas, estas associadas às áreas urbanas ou mesmo aos maiores canais de drenagem. Os litotipos encontrados compõem um mosaico diversificado, embora os de maior ocorrência sejam o xisto e o metagabronorito. O relevo é dominado por amplas SRAs como a III e IV, a ZER e pequenas ocorrências de Morros e Colinas, cujas declividades variam de 0 – 20% e os solos configuram um mosaico de Latossolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos, este dois últimos de maior erodibilidade.

Goiânia já possui vários estudos sobre erosão urbana, incluindo cadastramento e monitoramento de focos erosivos, como os realizados por Nascimento (1992), Nascimento e Sales (1994), Santos (1997), Faria (2007) e Cavalcante (2019). Um fator condicionante da erosão é a falta ou ineficiência de infraestrutura nos bairros espontâneos, ou seja irregulares na origem, que se sucederam de sudeste a noroeste configurando um arco, sobretudo desde os anos 1980, sendo bairros sem rede de drenagem urbana, e mesmo sem disposição adequada de arruamentos e lotes, não raro cortando as curvas de nível e no mesmo sentido (CAVALCANTE, 2019).

Na mesorregião do Leste Goiano as densidades variam de 0 - 0,78 focos/Km², situadas preferencialmente em terrenos onde predominam substratos Laterita, Argila e Areia; Depósitos de areia; Filito e Quartzito, sustentando SRAs II e III e sua circundante ZER. Quanto aos solos, há um mosaico diversificado, contendo Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos, cuja erodibilidade pode ser baixa (Latossolos), moderada (Argissolos) e até alta (Cambissolos). Mas, a erosividade é baixa, não se notando um padrão de correlação quanto a esse aspecto. Ainda nessa mesma região ocorrem áreas de alta densidade de focos variando entre 0,18 - 0,38 focos/Km², solos frágeis, sobretudo na Microrregião do Vão do Paranã. Possui Latossolos Vermelho-Amarelos, Plintossolos Pétricos e Argissolos Vermelho-Amarelos, que juntos cobrem mais de 50% da área, e onde foi constatada a predominância de solos suscetíveis à compactação, assim como solos favoráveis ao desenvolvimento de erosões (PONCIANO, 2017).

A porção de menor densidade de focos erosivos localiza-se a sudeste da Mesorregião Sul Goiano, a qual, apesar de ser uma área de intensa atividade agropecuária, não apresentou áreas de elevada densidade de focos.

Em síntese, o mapeamento dos focos erosivos do Estado como um todo, sua distribuição, permite constatar uma correlação entre as maiores densidades

de focos e determinados fatores do meio físico e mesmo de uso ocupação, ou seja, com a fragilidade de certos litotípos e solos associados que favorecem o processo por sua suscetibilidade, como os arenitos da Formação Botucatu e os Neossolos Quartzarênicos derivados, como uma clara assinatura geológico-geomorfológica do processo erosivo, em especial quanto às grandes ravinas e as voçorocas, mas, não se podendo descartar a relação entre um número elevado de focos e extensas áreas de pastagens.

Já para as áreas urbanas com alta densidade de focos erosivos (Goiânia, Distrito Federal), também há uma associação das densidades mais elevadas com o meio físico, em que o que mais sobressai é a associação com a impermeabilização do solo.

Por fim, nota-se que a porção Norte, marcada por relevos mais movimentados, com variação de 12,01 à > 45% de declive, até mesmo as áreas de alta erodibilidade e ambientes classificados como extremamente suscetíveis à erosão laminar, não apresentam focos ou eles são em sua maioria pequenas ravinas e pouco profundas, podendo até mesmo serem corrigidas por manejo adequado das terras, em especial nas áreas de pastagens. Um fator que pode explicar isso é a cobertura vegetal, por ser no estado de Goiás o ambiente onde se encontra maior área preservada da vegetação natural do Cerrado.

No na isodensidade especializada, áreas de maior densidade de focos erosivos foram denominadas Áreas Críticas (AC), por apresentarem a maior concentração de focos erosivos do estado de Goiás e Distrito Federal, as quais espacialmente configuram polígonos bem definidos. Elas ajudam a identificar a assinatura de condicionantes quando correlacionadas espacialmente com outros mapas temáticos, auxiliando na identificação das prováveis causas do fenômeno. Por isso necessitam de uma avaliação em escala mais detalhada.

Neste trabalho as AC foram identificadas e exportadas como áreas específicas e receberam um número para identificação do sentido sul para o norte, apenas identificá-las. Em seguida foi elaborada uma tabela de classificação com base na densidade calculada para cada AC, atribuindo-se assim o cálculo do nível de criticidade, como pode-se observar na figura 4. Assim as áreas de alta densidade que correspondem a uma maior ocorrência de focos erosivos lineares, encontram-se no intervalo entre 0,28 à ≥ 1,59 focos/km². Com os dados de densidade de focos devidamente tabulados para todas as AC foi possível classificá-las quanto ao grau de criticidade, tendo sido agrupadas em três classes de acordo com o conjunto de dados quantitativos, a saber: Área Muito Crítica, Área Crítica e Moderadamente Crítica.

Convém esclarecer que as AC como um todo apresentaram uma grande variação de sua dimensão espacial, havendo AC cujo polígono representa 26,27 km² até AC com 12889,04 km². Por essa razão, a classificação de criticidade de uma AC, de muito crítica à moderadamente crítica, levou em consideração a densidade de focos.

O mapeamento dos focos é um dado fundamental mesmo que não haja na dissociação entre ravinas e voçorocas, e que nesse momento juntamente a dados físico-naturais de (erosividade, erodibilidade, declividade), variáveis essas que representam clima, solos e geomorfologia e densidade de focos erosivos lineares, conjugam-se como variáveis para se chegar e entender ao mapa de suscetibilidade à erosão linear.

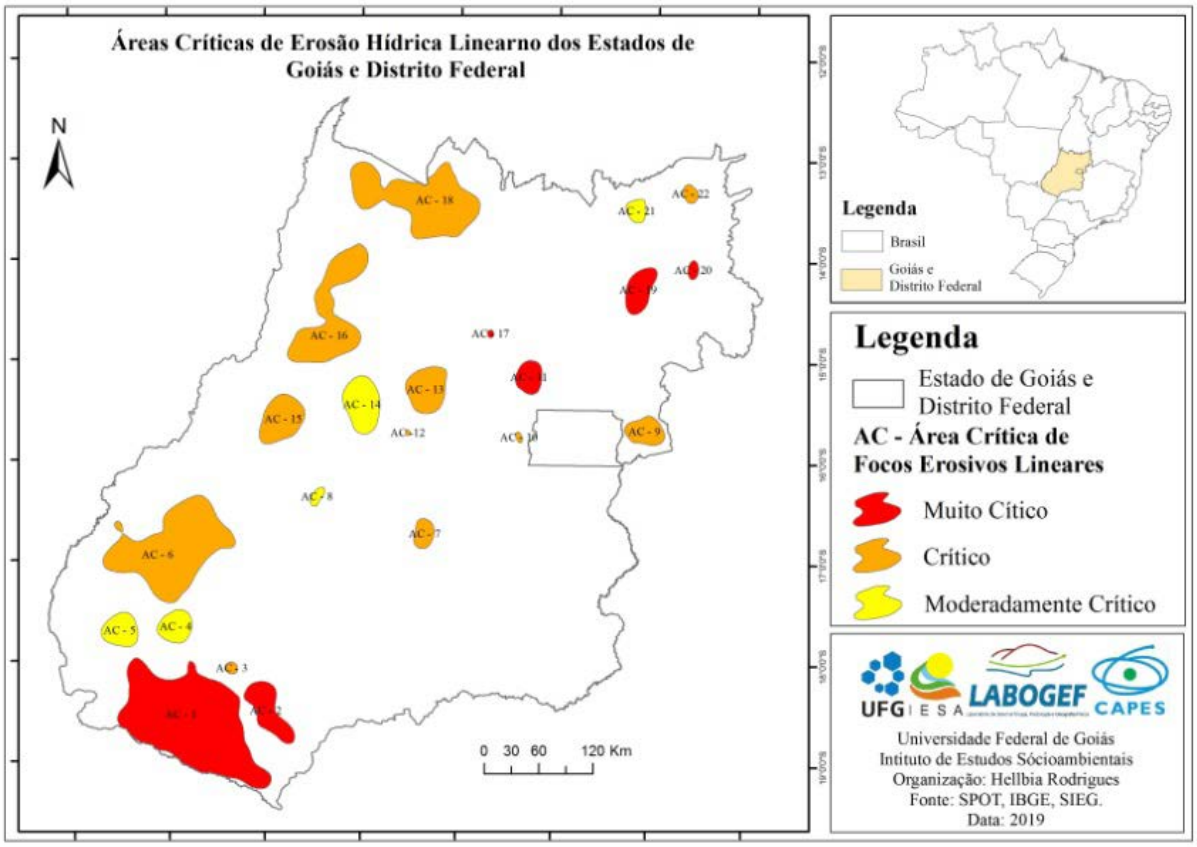


FIGURA 4. Áreas Críticas de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal. Fonte: Arquivo dos autores.

O estado de Goiás possui sua área voltada basicamente à agropecuária, exceto o Sul Goiano em que a agricultura se destaca, e obter o dado de suscetibilidade à erosão hídrica linear pode instrumentalizar o poder público assim como as entidades privadas par as políticas de manejo e de planejamento ambiental intervencionista.

A figura 5 apresenta a espacialização da suscetibilidade à erosão hídrica linear do estado de Goiás. Nesse mapa as áreas classificadas como I - Extremamente suscetíveis à erosão hídrica linear correspondem à aproximadamente 13995 km² (4,09%), localizando-se na porção Sudoeste, na Mesorregião Sul Goiano e na porção Sul da Mesorregião Norte Goiano. Das quatro variáveis adotadas para o mapeamento, na classificação três se apresentaram preponderantes: a erodibilidade, a densidade de focos e a erosividade.

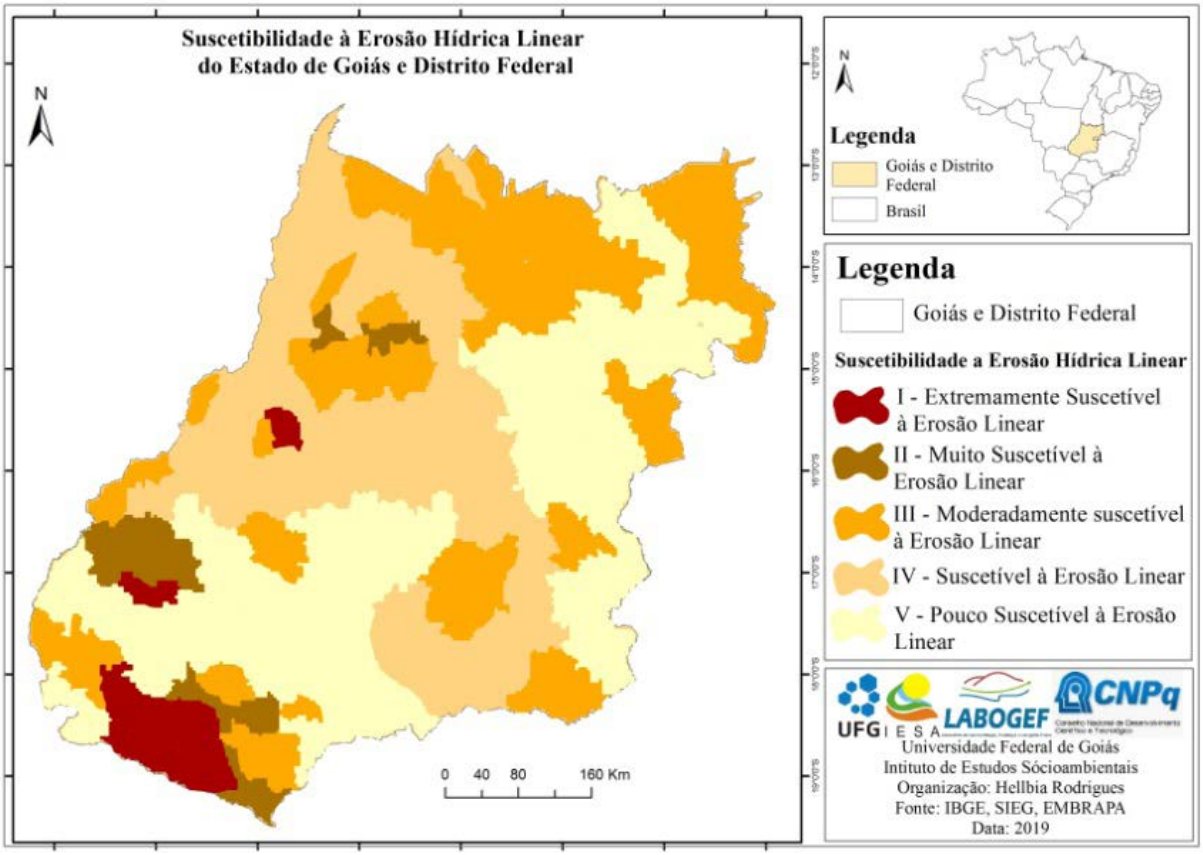


FIGURA 5. . Suscetibilidade a Erosão Hídrica Linear do estado de Goiás e Distrito Federal.
Fonte: Arquivo dos autores.

As áreas extremamente suscetíveis se subdividem em três. A de maior extensão localiza-se no extremo Sudoeste, possui alta densidade de focos erosivos que varia de 0,28 à > que 1,59 focos/km², por isso classificada como muito crítica. As duas outras áreas são menores, mas também extremamente suscetíveis à erosão hídrica e possuem uma densidade de focos que varia de 0,28 à 0,78 focos/km² sendo consideradas áreas críticas.

Nos aspectos físicos os litotípos predominantes nas áreas são os arenitos que compõem o grupo Bauru (Cretáceo) e São Bento (Triássico), da bacia Sedimentar do Paraná, ambientes importantes de recarga dos aquíferos. Machado (2017) lembra que os arenitos são areia litificada composta principalmente pelo quartzo, e que ações de intemperismo podem destruir os minerais de maior instabilidade e os mais estáveis quimicamente são enriquecidos, como o quartzo.

São áreas classificadas como de muito alta a alta erodibilidade, caracterizadas por ambientes com ocorrência de um mosaico de solos em associação, sendo Latossolos Vermelho distróficos típicos, textura média, álico + Neossolos Quartzarênicos órticos, latossólicos e típicos, álicos; assim como ocorrem também a associação de Latossolos Vermelhos distróficos típicos + Cambissolos distróficos petroplínticos, e ainda Neossolos Quartzarênicos. São solos considerados suscetíveis quanto seus componentes físicos estruturais, segundo Salomão (2015).

O relevo dessas áreas apresentou declividades que variaram de 0 a 12 %, na SRA III, com apenas alguns trechos de SRAII e da ZER. Trata-se de um ambiente de relevo pouco movimentado, no entanto, possui uma densa rede de drenagem, correspondente à bacia hidrográfica do Rio Paraná, fator de fragilidade quanto

ao disciplinamento das águas. Santana et al., (2007) ao realizarem o mapa dos focos erosivos da ABA, identificaram que boa parte das erosões estão associadas à rede de drenagem, principalmente às suas cabeceiras e/ou perpendicularmente aos canais, e essa é uma informação que vem de encontro com os resultados do mapeamento aqui realizado.

5. Considerações Finais

O estado de Goiás foi uma área que instigou a realização da pesquisa por ser apontada na economia e na ciência como um celeiro de produção de grãos e carne, para abastecimento mundial. E para tanto um dos principais recursos para a produção é o solo, sendo este um recuso sujeito à degradação, na qual a erosão hídrica é considerada uma das principais.

A suscetibilidade à erosão hídrica linear elaborada com base nas variáveis físicas, a saber o clima (erosividade), solos (erodibilidade), relevo (declividade) e (densidade de focos erosivos lineares), apresentou áreas com índices elevados, especialmente no Sudoeste, o que confirma os dados já apontados nos mapas anteriores, por ser uma área de variáveis intrínsecas a suscetibilidade erosiva, corroboradas pelo mapa de focos. São áreas que necessitam de plano adequando de manejo, e monitoramento, por possuírem propensão à ocorrência de processos erosivos

A correlação ao uso ocupação das terras deixa evidente que a atividade de pastagem ocorre em grande percentual nas áreas de maior suscetibilidade o coloca em evidencia a necessidade de manejo adequado, por se constituírem áreas de maior fragilidade.

Ao se considerar as áreas de densidade de focos classificadas quanto a criticidade é possível afirmar que são ambientes distintos segundo a região de ocorrência. As AMC identificadas ocorrem em ambientes de extrema suscetibilidade à erosão hídrica linear no Sudoeste, já na porção Centro-Norte ocorre em ambientes pouco suscetíveis à erosão hídrica linear, e ao Nordeste, em ambientes moderadamente suscetíveis à erosão hídrica linear.

Nos mapeamentos buscou-se compreender os condicionantes na área que influenciam na ocorrência de focos erosivos lineares. O mapeamento dos focos realizado possibilitou a identificação da distribuição das erosões em todo o estado de Goiás e Distrito Federal, sobretudo diante a produção da isodensidade, que colocou em evidencia as áreas críticas de ocorrência de focos erosivos.

Agradecimentos

A Capes pela bolsa de doutorado, ao Laboratório de Geomorfologia Pedologia e Geografia Física/LABOGEF e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGeo do Instituto de Estudos Socioambientais/IESA da Universidade Federal de Goiás/UFG.

Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, A. de.; GATIBONI, L. C.; ROVEDDER, A. P.; COSTA, F. de S. Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil. In: CASTRO, S. S. de.; HERNANI, L. C. (Org.) **Solos frágeis: caraterização, manejo e sustentabilidade**. Embrapa. Brasília – Distrito Federal, 2015.

BARBALHO, M. G. da S.; CASTRO, S. S. de. Impactos erosivos lineares: Distribuição, fatores, condicionantes naturais e antrópicos nas bacias dos rios Claro e dos Bois, estado de Goiás – Uma contribuição metodológica**. 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**. 2014.

BARBALHO, M. G. S. Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e diretrizes para o controle dos processos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia (GO/MT). 2002. 146 f**. Dissertação (Mestrado em Geografia)** – Instituto de Estudos Sócio-ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

BARBALHO, M. G. S. Processos erosivos lineares nas bacias dos rios Claro e dos Bois, afluente do rio Araguaia no estado de Goiás: relações com a cobertura vegetal e o uso da terra. 2010, 194p. Tese de **Doutorado (Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais**) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

BARRETTO, A.G.O.P.; BARROS, M. G.E. & SPAROVEK,G. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo**. R. Bras. Ci. Solo**, 32:2443-2460, 2008.

BERNALDEZ, F. P. Ecologia y paisaje. H. Blume Ediciones, Madrid- España.1981.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Ed. Ícone, ed. 7. São Paulo, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto **TerraClass Cerrado. MMA**. Brasília, 2015.

CARVALHO, J. C. de.; SALES, M.; MORTARI, D.; FÁZIO, J. A.; MOTTA, N. O. da.; FRANCISCO, R. A. Processos Erosivos. In: CARVALHO, J. C. de.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da S. (Org.) **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. FINATEC, Brasília, 2006.

CARVALHO, T. M; LATRUBESSE, E. M. Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito- Secretaria de Indústria e Comércio. **Superintendência de Geologia e Mineração**. Goiás, 2006.

CASTRO, S. S. Erosão hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 17, p. 38-60, 2005.

CASTRO, S. S.; XAVIER, L. S.; BARBALHO, M. G. S. Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha: condicionantes dos processos erosivos lineares. Goiânia: **Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás**, 2004.

CAVALCANTI, L. C. de S. Cartografia de paisagens: fundamentos. **Oficina de textos**, São Paulo, 2014.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Escala 1:500.000. CPRM/SIC-FUNMINERAL. In: MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A. de.; LACERDA FILHO, J. V. de.; COSTA, H. F. Goiânia, 2008.

DAEE/IPT – Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas. **DAEE/IPT**, 2ªed. 1989, p-92.

FARIA, K. M. S. de. Caracterização dos remanescentes de Cerrado e suas relações com o uso e ocupação das terras da Alta bacia do rio Araguaia. 2006, p177**. Dissertação (Mestrado em Geografia**) – Instituto de Estudos Sócio-ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L. da; CHAN, B. L. Análise de dados: Modelagem multivariada para tomada de decisão. **Elsevier**, Rio de Janeiro, 2009.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E.; LOBO, F. C. Riscos de desmatamento e potencial de regeneração da vegetação nativa: Definindo prioridades e estratégias territoriais. **Boletim Goiano de Geografia**, v.27, n.1. Goiânia, 2007, p.83-96.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - (FAO). Status of the World´s Soil Resources 2015. Disponível em www.fao.org/puplications. Acesso em: dez. de 2015.

GALDINO, S. Distribuição espacial da erosividade da chuva no estado de Goiás e Distrito Federal. **Embrapa monitoramento por satélite**. Campinas – São Paulo, 2015.

GALDINO, S.; SANO, E. E.; ANDRADE, R. G.; GREGO, C. R.; NOGUEIRA, S. F.; BRAGANTINI, C.; FLOSI, A. H. G. Large-scale

modeling of soil erosion with rusle for Conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures**. Land Degradation & Developmen**t, v.27. 2016, p.773 – 784.

FLORENZANO, T. G. Interpretação de imagens. INPE, 2011. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/Interpreta_UsoEscolar-2011.pdf. Acesso em: fevereiro de 2017.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remote para geomorfologia In: FLORENZANO, T. G. (Org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

HOGAN, D. J.; AZEVEDO, A. M. M.; CARMO, R.L.; GAMA, I.; DARCIE, C; DELGADO, C. C. Um breve Perfil Ambiental da Região Centro-Oeste. In: Daniel Joseph Hogan *et al* (Org.). **Migração e Ambiente no Centro-Oeste. Campinas,** SP: MPC Artes Gráficas em Papel, 2002b, p. 175-276.

HOGAN, D. J.; CUNHA, J.M. P.; CARMO, R.L. Uso do Solo e Mudanças de sua Cobertura no Centro-Oeste do Brasil: consequências demográficas, sociais e ambientais. In: Daniel Joseph Hogan *et al* (Org.). **Migração e Ambiente no Centro-Oeste:** , 2002a, p. 149-174.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico de uso da terra. Manuais técnicos em Geociências. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos. Acesso em: Julho de 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo: Bacia do Pardo Grande. V.3, 1990.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe - Paranapanema. **Rel. Técnico** 24.739, São Paulo, 1986.

IPT; METAIS DE GOIÁS (1998) Investigação, caracterização da fenomenologia e diretrizes para o controle corretivo e preventivo de nove feições erosivas lineares e respectivas bacias de contribuição, Bacia do Alto Araguaia, GO/MT. **Relatório Técnico 36**. 904, 90p.

LACERDA FILHO, J. V. de.; SILVA, A. da.; OLIVEIRA, C. C. de. Arcabouço geotectônico do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Programa levantamento geológico básicos do Brasil. In: FILHO, J. V. de L.; SILVA, A. R.; SILVA, A. da. 2ª ed. CPRM/METAGO/UNB. (Org.) **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. Goiânia-Goiás, 2000.

MIZIARA, Fausto. Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no cerrado: o caso de Goiás. In: Guimarães, L. D. A, SILVA, M. A. D, ANACLETO, T. C. (org**.). Natureza Viva Cerrado: caracterização e conservação**. Cap.VII.,1.ed. Goiânia: Editora UCG, 2006. 115.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. Third edition**. Blakwellp publlisching**. Oxford U. K. 2005. 316p.

NUNES, D. E.; CASTRO, S. S. de. Compartimentação morfopedológica aplicada à distribuição de padrões espaciais de processos erosivos em solos frágeis – Município de Mineiros, GO. In: **Solos Frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade.** (Org.) CASTRO, S. S. de. HERNANI, L. C. Embrapa, Brasília, DF, 2015.

NUNES, E.D. Modelagem de Processos Erosivos no Município de Mineiros – GO**. Tese (Doutorado em Geografia)** – Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

OLIVEIRA, V. A. de. Estado de Goiás e Distrito Federal - Pedologia. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2013.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. A erosão do solo ameaça a produção de alimentos. **Agriculture**, v. 3. Nova York – EUA, 2013, p.443-463.

PONCIANO, T. A.; FARIA, K. M.; SIQUEIRA, M. N.; CASTRO, S. S. de. Fragmentação da cobertura vegetal e estado das Áreas de Preservação Permanente de canais de drenagem no município de Mineiros, Estado de Goiás**. Ambiência**, v. 11, n. 3. Guarapuava – Paraná, 2015, p.545 – 561.

PONCIANO, T. A.; RODRIGUES, H. S. M. de.; FARIA, K. M.; Abordagem morfopedológica para avaliação histórica da estrutura da paisagem no Vão do Paranã (GO**). Ateliê Geográfico**, v13, n.2. Goiânia, 2019, p. 111-127.

RODRIGUES, H. S. M. de. Análise geoespacial do processo erosivo hídrico linear no estado de Goiás e Distrito Federal. **Tese de doutoramento**. Universidade Federal de Goiás. Curitiba, 2020.

SAATY, T. Decision marking with the analytic hierarchy process. **Services Sciences**, vol. 1.n.1. 2008.

SALES, M. M.; NASCIMENTO, M. A. L. S. do. Erosões urbanas em Goiânia – cadastramento e diagnóstico. In: CARVALHO, J. C. de.; CAMPOS, I. C. de O.; SOUZA, N. M. de.; AGUIAR, C. S. de..; FARIAS, R. de J. da C. (Org.) **I Simpósio sobre solos tropicais e processos erosivos no Centro-Oeste**. Universidade Federal de Goiás, Brasília, 2003.

SALOMÃO, F. X. de T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SLIVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. (Org.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2015.

SANTOS, S. A. Análise de suscetibilidade e potencial à erosão laminar da área de preservação ambiental das nascentes do rio Vermelho. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. João Pessoa – Paraíba, 2015.

SANTANA, M. P.; CASTRO, S. S.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Chuvas, erosividade, erodibilidade, uso do solo e suas relações com focos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia. **Sociedade e Natureza. Uberlândia**, 19(2): p. 103-121. dez., 2007.

SCOPEL, I. Avaliação da erosão com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e a equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR). **Tese de doutoramento. Universidade Federal do Paraná.** Curitiba, 1988.

SCOPEL, I.; SILVA, M. R. Erodibilidade no estado de Goiás**. Uniciências**, v.8, n.1 e 2. Anápolis-GO, 2001, p. 129-140.

SIRECI, S. G. Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications. In: BORG, I.; GROENNEN, P. (Org.) **Book review**. University of Massachusetts, Amherst. 1997.

STROOSNIJDER, L. Measurement of erosion: Is it possible?. ELSEVIER, **Catena,** v.64, 2005, p.162-173.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; YONG, L. Gully erosion: Impacts, factors and control. Elsevier – **Catena**, 2006, p.132-153.

SILVA, S. D. e.; PIETRAFESA, J. P. SANTOS, A. E. A. F. dos; O Cerrado e a produção sucroalcooleira expansão e transferência histórico-geográfica da produção de etanol em Goiás. In: PIETRAFESA, J. P. SILVA, S. D. e. (Org.) **Transformação do Cerrado: Progresso, consumo e nature**za. ed PUC, Goiânia- Goiás, 2001.

VRIELING, A. Satéllite remote sensing for water erosion assessment: a review. **Catena**, 65, 2006, p.2-18.

MAPEAMENTO DE FUNDOS DE VALE DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS IV (PIABANHA) E VII (RIO DOIS RIOS) DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO A PARTIR DO PACOTE DE FERRAMENTAS VALLEY-BOTTOM EXTRACTION TOOL

Jaime da Costa Maia Neto
Universidade Federal Fluminense
Avenida Litorânea, s/n, Campus Praia Vermelha – Boa Viagem, Niterói – RJ CEP: 24.210-240
E-mail: jaimemaia@id.uff.br
João Victor Jesus Zebende
Universidade Federal Fluminense
Avenida Litorânea, s/n, Campus Praia Vermelha – Boa Viagem, Niterói – RJ CEP: 24.210-240
E-mail: jzebende@id.uff.br
Raúl Sánchez Vicens
Universidade Federal Fluminense
Avenida Litorânea, s/n, Campus Praia Vermelha – Boa Viagem, Niterói – RJ CEP: 24.210-240
E-mail: rsvicens@gmail.com

Resumo

Os fundos de vale são uma forma de relevo que pode servir como base para estudos variados e auxiliar no entendimento de diversos processos naturais e também antrópicos. Para que possam ser estudados, uma das etapas cruciais é a sua delimitação, que conta cada vez mais com a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) durante esse processo. A partir disso, o pacote de ferramentas Valley-Botton Extraction Tool (V-BET) se destaca por apresentar como característica diferencial a utilização da declividade da área de drenagem para a definição dos fundos de vale. Assim, o presente trabalho testou a eficiência desse método utilizando MDEs de baixa resolução, encontrando bons resultados de precisão do algoritmo e também destacando algumas de suas limitações em relação aos dados utilizados, à escala analisada e às diferentes geografias presentes na área de estudo.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Mapeamento de paisagens; Fundos de vale.

1. Introdução

Os fundos de vale são uma forma de relevo que pode servir como base para estudos variados e auxiliar no entendimento de diversos processos naturais e também antrópicos. Podem servir, por exemplo, para se buscar o entendimento de como afetam comportamentos hidrológicos relacionados ao escoamento, desvendar dinâmicas e serviços que prestam dentro de um ecossistema, servir como peça chave na classificação de rios, compreender processos como erosão, sedimentação, movimentos de massa e inundações, possuírem papel importante no manejo e modelagem hidrológica, dentre outras aplicações (Gallant e Dowling, 2003; Nagel *et al.*, 2014; Thoms, Scown e Flotemersch , 2018; Zhao e Ding, 2016; Zhao *et al.*, 2019).

Tendo em vista a grande abrangência de assuntos que podem ser abordados analisando-se fundos de vale, torna-se evidente a grande relevância que possuem. Portanto, pode-se levantar a questão sobre como mapear essa forma de relevo, visto que uma boa representação espacial da mesma é muitas vezes crucial para desenvolver estudos e pesquisas que envolvem o assunto. É possível argumentar que o mapeamento de campo é o método mais preciso para se mapear uma região de estudo, no entanto esse método quase sempre é caro e demanda grande quantidade de tempo, o que não condiz com a velocidade e agilidade muitas vezes exigidas dentro de uma pesquisa. Assim, o uso de modelos de elevação digitais (MDEs) se apresentam como um caminho para mapear e extrair características dos fundos de vale de maneira mais rápida e em maiores escalas do que era possível há pouco tempo (Zhao *et al.*, 2019)the valley floor width is increasingly recognized as a key parameter and has been employed for many applications (e.g., river classification.

Sob essa perspectiva, o presente trabalho destaca o pacote de ferramentas *Valley-Botton Extraction Tool* (V-BET), desenvolvido por Jordan T. Gilbert e que pode ser utilizado em sistemas de informação geográfica (SIGs), que se mostra como um método interessante para a delimitação de fundos de vale. Essa ferramenta apresenta como característica diferencial a utilização da declividade da área de drenagem para a definição dos fundos de vale. Além disso, necessita apenas de um MDE da bacia hidrográfica e o arquivo vetorial da rede de drenagem como dados de entrada, o que torna sua utilização bem simples. Pode ser incluído também um raster de acumulação de fluxo, mas este pode ser obtido através do próprio algoritmo do pacote de ferramentas, um assunto que será tratado mais tarde.

A partir disso, os objetivos principais do presente artigo será demonstrar a qualidade e precisão dos resultados gerados pelas ferramentas na delimitação de fundos de vale e fazer uma análise comparativa entre os resultados obtidos em diferentes regiões onde o algoritmo foi empregado. Isso permitirá que possamos definir onde a ferramenta teve melhores desempenhos levando em consideração características diferentes que compõem a morfologia de um local, como graus de elevação, grandeza dos rios e largura dos fundos de vale.

2. Área de estudo

Para a realização desse trabalho foram escolhidas como áreas de estudo as regiões hidrográficas IV (Piabanha) e VII (Rio Dois Rios) do estado do Rio de Janeiro. Os motivos para essa decisão levaram em consideração alguns aspectos importantes para a avaliação do desempenho do algoritmo do V-BET.

O primeiro ponto importante é o tamanho da área na qual será aplicado o mapeamento através do V-BET. O pacote de ferramentas já foi anteriormente testado no estado do Rio de Janeiro, mais especificamente na região da Bacia Hidrográfica do Rio Muriaé, que representa uma área de aproximadamente 3790,6 km², onde foram encontrados resultados satisfatórios (Zebende e Vicens, 2020).

A partir disso, dentro do presente trabalho, buscou-se testar se o algoritmo também teria um bom desempenho quando utilizado para analisar uma área de maior extensão. No caso, a área de estudo se apresenta dividida em duas Regiões Hidrográficas (RHs) do Rio de Janeiro, tendo a RH IV uma extensão de aproximadamente 3462,6 km² e a RH VII de aproximadamente 4473,3 km² (valores calculados através de ferramentas de um SIG). A partir disso, a Figura 1 apresenta o mapa de localização da área de estudo subdividido entre as duas Regiões Hidrográficas:

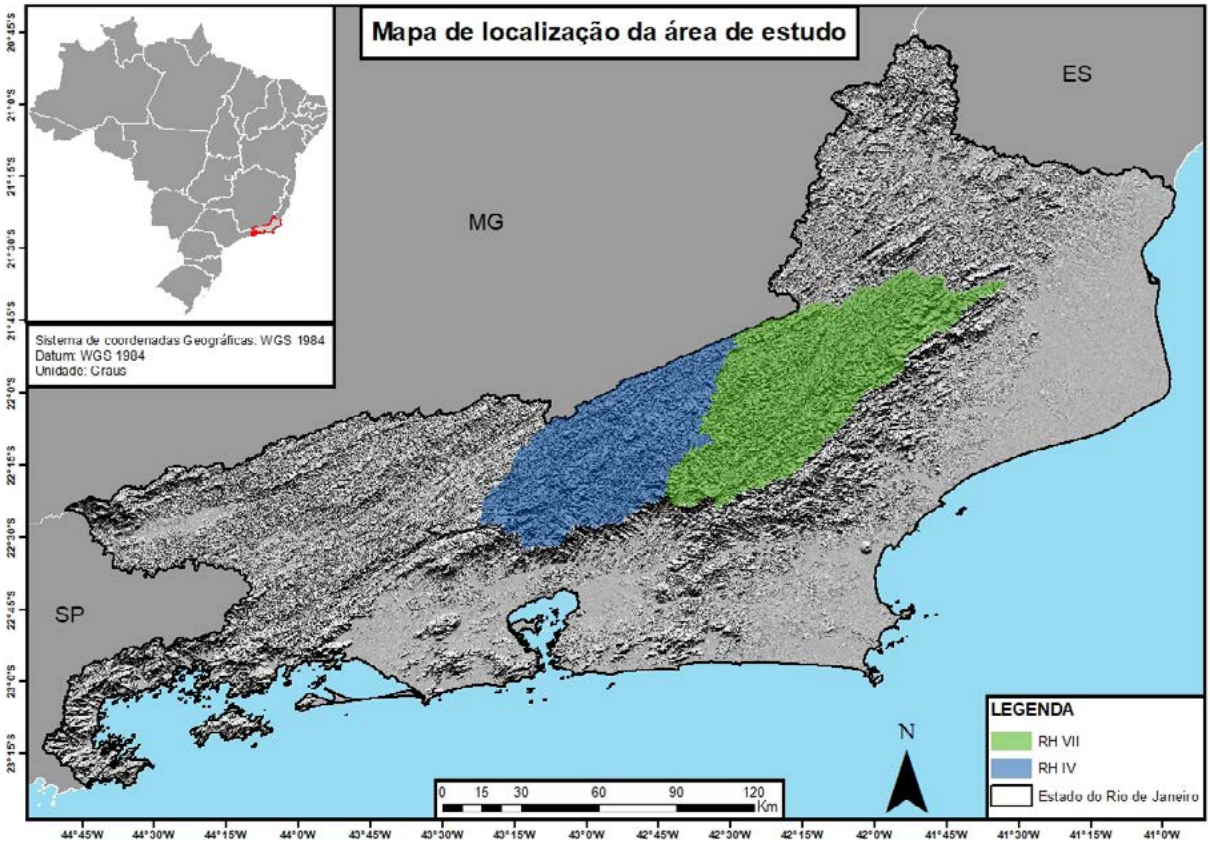


FIGURA 1: Mapa de localização da área de estudo.
Fonte: Produzido pelos autores.

O segundo ponto a se destacar são as características físicas e geomorfológicas da área de estudo. As duas RHs encontram-se adjacentes uma à outra, apresentando relevo acidentado que fazem parte dos domínios morfoestruturais do planalto de reverso e das escarpas serranas, segundo classificação da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Por conta dessas condições, a área de estudo apresenta muitos rios bem encaixados (muitas vezes seguindo os "grandes degraus" desse relevo), o que é um dos diferenciais em relação a área de estudo do trabalho de Zebende, que se encontra predominantemente no domínio morfoestrutural das depressões interplanálticas com alinhamentos serranos escalonados, o que se traduz em rios e fundos de vale mais alargados.

Por conta dessas diferenças e particularidades se apresenta como terceiro ponto importante a possibilidade de avaliar se o algoritmo continuará a apresentar um comportamento e resultados satisfatórios apesar das variáveis. Isso ajudará a legitimar a viabilidade para utilização do V-BET em diferentes regiões e tipos de terreno.

3. Metodologia

3.1 - Preparação para a utilização do pacote de ferramentas V-BET a partir da definição da rede de drenagem

Os materiais utilizados nessa pesquisa incluem um MDE do estado do Rio de Janeiro, com resolução espacial de 30 metros, e *rasters* de relevo sombreado (*hillshade*) e de declividade (*slope*) que abrangem a área de estudo do projeto, todos fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, o projeto TOPODATA. Também foram utilizados os shapefiles que contêm os limites das Regiões Hidrográficas do Rio de Janeiro, obtidos no banco de dados do INEA.

Além disso, contamos com o pacote de ferramentas V-BET, incorporado à toolbox do ArcMap. Ele pode ser obtido de forma gratuita no link: https://bitbucket.org/jtgilbert/riparian-condition-assessment-tools/wiki/.

Para entender como o V-BET funciona, primeiramente, torna-se necessário avaliar as premissas na qual ele se baseia:

1. A largura do fundo de vale é uma função da área de drenagem à montante, com fundos de vale mais largos correspondendo a áreas de drenagem maiores.

2. A inclinação média do fundo de vale está relacionada à área de drenagem à montante, o que se traduz em fundos de vale mais planos quanto maior for a área de drenagem.

3. Fundos de vale são, segundo definição conceitual de Gallant e Dowling (2003), áreas relativamente planas, geralmente, demarcadas por mudanças abruptas na declividade.

Outro ponto importante de ser mencionado é o fato de que, segundo Gilbert et al (2016), a ferramenta foi projetada e testada para fornecer resultados precisos usando dados relativamente grosseiros, como MDEs de 10 metros do portal do Serviço Geológico Americano (USGS), ou dados de alta resolução topográfica, como os obtidos através de LiDARs (Light Detection And Ranging) aerotransportados, com resoluções de 1 metro.

No entanto, por serem materiais de difícil acesso, optou-se pela utilização do MDE com resolução de 30 metros anteriormente citado, pois faz parte de um banco de dados bem completo, disponível de forma gratuita e sendo de fácil acesso para os objetivos de pesquisa.

Por fim, para que o V-BET pudesse ser utilizado, necessitaram-se algumas etapas, começando com a preparação dos dados de entrada, o que incluiu o uso da ferramenta *Mosaic To New Raster* no *ArcMap* para unir os arquivos de altitude (MDEs), declividade (*slope*) e relevo sombreado (*hillshade*). A seguir, realizou-se o recorte deles através da ferramenta *Clip*, selecionando-se apenas o que estava dentro das áreas da RHs de interesse.

3.2 – Definição da rede de drenagem

Após isto, a próxima etapa é a definição de rede de drenagem. Para isto, utiliza-se a ferramenta *Fill* a partir dos MDEs já editados, com o objetivo de preencher inconsistências e imperfeições presentes nos *rasters*. Na sequência, utiliza-se a ferramenta *Flow Direction* para definir o fluxo da drenagem e a ferramenta *Flow Accumulation* que calcula o fluxo conforme determinado pelo acúmulo do peso de todas as células que fluem para cada célula descendente.

Pode-se ressaltar que um dos motivos para a divisão da área de estudos em RHs é a existência dessa etapa. Isso se dá pelo fato de que nela o V-BET se guia através da informação sobre a acumulação de fluxo. Por conta disso, quando se utiliza a ferramenta respeitando as delimitações das Regiões Hidrográficas, torna-se mais fácil para o algoritmo a realização de seu trabalho, uma vez que existe dentro de cada uma das RHs apenas uma grande orientação do fluxo hídrico.

A utilização dessas ferramentas na sequência descrita gera no fim deste processo dados matriciais (a acumulação de fluxo). Para podermos prosseguir, o próximo passo é transformar os dados matriciais em dados vetoriais. Para isso, primeiramente utilizou-se a ferramenta *Con*, que executa uma avaliação condicional if/else em cada uma das células de entrada de um raster de entrada, ou seja, realiza uma binarização do raster de acumulação de fluxo, transformando os pixels com valor inferior a 1000 em zero (0) e o restante em um (1). Depois de tudo isso a drenagem está delimitada (os pixels classificados como 0 são eliminados), mas ainda faltam mais duas operações.

A primeira se dá através da ferramenta *Stream Order*, que serve para criar uma classificação hierárquica da rede de drenagem, sendo a utilizada nesse projeto a sugerida por Strahler (1957). E finalmente utiliza-se a ferramenta *Stream to Feature*, que conclui a definição da rede de drenagem, gerando dados prontos para serem utilizados no V-BET.

3.3 - Utilizando o V-BET

Após toda a preparação dos dados de entrada, finalmente pode-se utilizar o algoritmo. Segundo o que é explicado por Gilbert et al (2016), o V-BET funciona seguindo 7 etapas.

Na primeira etapa ocorre a segmentação da rede de drenagem usando o raster de acumulação de fluxo (em que o valor para cada célula representa a área de drenagem à montante em km²) em contato com o arquivo vetorial. Para isso o algoritmo permite a classificação de três segmentos utilizando valores escolhidos pelo pesquisador, sendo divididos em grande drenagem, média drenagem e pequena drenagem.

Para a RH IV (Piabanha) foram definidos como trechos de grande drenagem aqueles que apresentavam áreas superiores a 80 km² e como pequena drenagem aqueles inferiores a 20 km², sendo classificados como média drenagem os valores intermediários. Já para a RH VII (Rio Dois Rios), foram definidos como trechos de grande drenagem aqueles que apresentavam áreas superiores a 80 km² e como pequena drenagem aqueles inferiores a 10 km², sendo classificados como média drenagem os valores intermediários.

A segunda etapa é a formação automática do buffer da rede de drenagem, segundo valores estabelecidos pelo pesquisador. Esses valores podem ser definidos través da utilização da ferramenta *Measure tool*, utilizada no *ArcMap* para medir distâncias. Com essa ferramenta, medimos as larguras máximas dos fundos de vale grandes, médios e pequenos.

Os valores utilizados na RH IV (Piabanha) foram de 130 metros para os buffers grandes, 70 metros para os médios e 40 metros para os pequenos. Para a RH VII (Rio Dois Rios) os valores foram definidos como 80, 50 e 30 metros para buffers grandes, médios e pequenos, respectivamente.

A terceira e quarta etapas envolvem o desenvolvimento do *raster* de declividade e um recorte dos *buffers* de acordo com a inclinação da área de drenagem. O V-BET realiza uma análise da inclinação do MDE utilizado e atribui um valor calculado da declividade (em graus) para cada pixel. Para que essa etapa ocorra

da maneira correta é necessário que o pesquisador defina limites mínimos de declividade para cada classificação de *buffer* (grande, médio e pequeno). Esses valores puderam ser obtidos com auxílio da ferramenta *Identify*, que ao ser utilizada revela com um clique do mouse as informações contidas nos pixels do raster de declividade.

A partir disso é possível ter uma boa noção dos valores de declividade de maneira geral, para que os valores possam ser definidos. Nesse caso, foram atribuídos para a RH IV limiares de declividade de 16° para os buffers grandes, 20° para os médios e 30° para os pequenos. Já na RH VII esses valores foram de 7°, 10° e 12° para buffers grandes, médios e pequenos, respectivamente.

Por último, na quinta etapa os *buffers* são recortados e transformados em novos polígonos, que na sexta etapa são fundidos e, finalmente, na sétima etapa ocorre a definição dos fundos de vale através de um "polimento" desses polígonos que foram unidos. Essa última etapa envolve um processo de eliminação de polígonos desconexos que podem se formar por apresentarem os valores semelhantes aos que foram definidos para o uso do V-BET e a partir disso o algoritmo reconhece esses polígonos como não pertencentes aos fundos de vale e os eliminam. Além disso, o algoritmo evita que polígonos que estejam a uma distância menor que a definida através de uma distância de agregação escolhida pelo pesquisador (nessa pesquisa esse valor é de 400 metros para ambas as RHs) não sejam unidos, evitando que correntes de cabeceira se liguem, gerando uma divisão errada entre bacias hidrográficas. Por fim o polígono é suavizado e o fundo de vale está definido através do V-BET.

Para exemplificar de maneira visual todo o procedimento, segue abaixo a Figura 2 que mostra as etapas passo a passo:

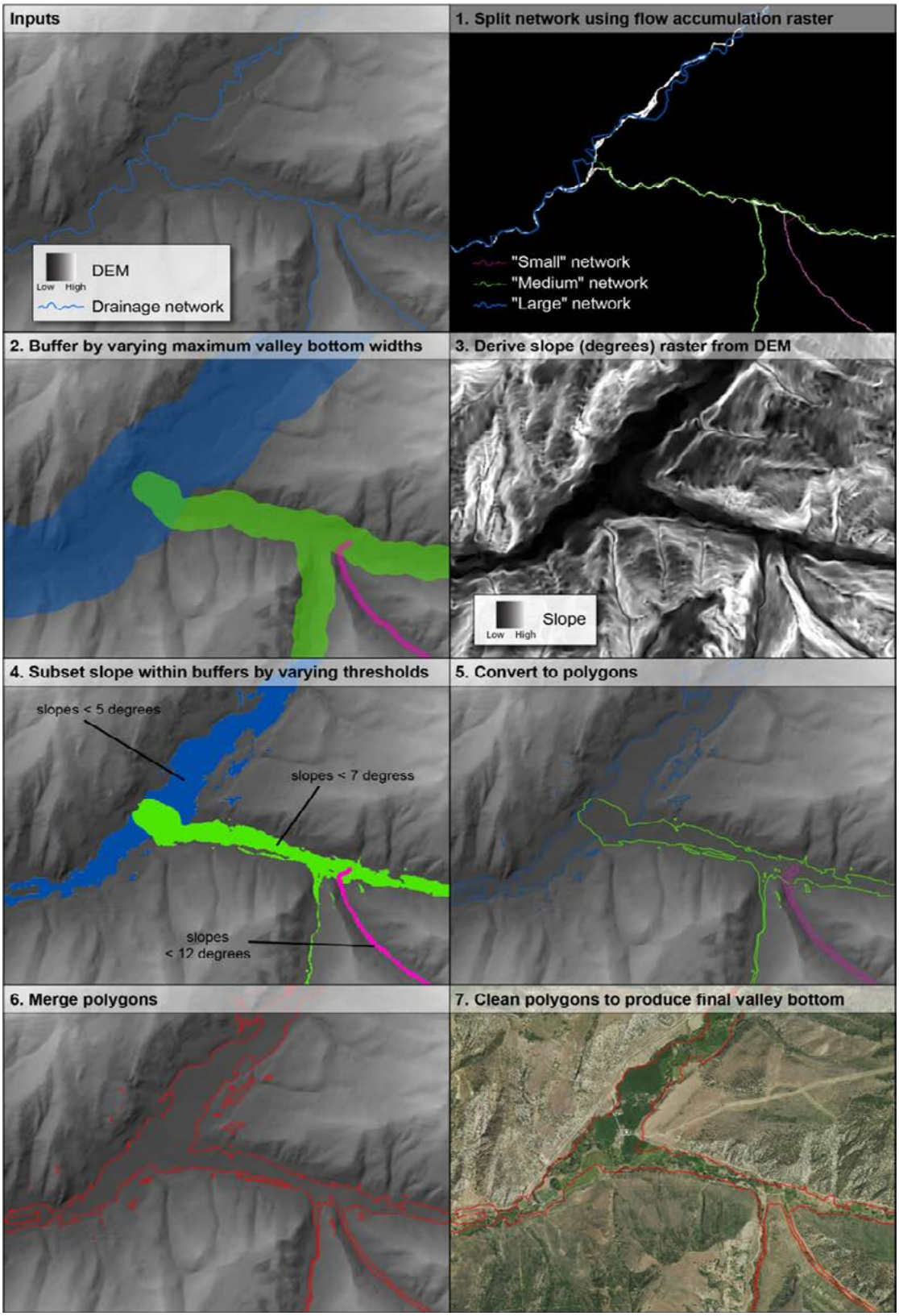


FIGURA 2: Tabela com o passo a passo dos processos realizados pelo V-BET (Dados de entrada; 1. Segmentação da rede de drenagem; 2. Buffer da drenagem; 3. raster usado para recorte do shape pela declividade; 4. Subconjunto de declividade dos buffers de acordo com a variação dos limites; 5. Conversão para polígonos; 6. Polígonos fundidos; 7. Limpeza dos polígonos para produzir o fundo de vale finalizado).
Fonte: (GILBERT et al, 2016. p. 4).

3.4 – Validação

Para a validação dos resultados obtidos através do V-BET, utilizou-se o Índice ou Coeficiente Kappa, associado à matriz de confusão. Para que isso fosse possível, foram necessárias mais algumas etapas.

Primeiramente, foram gerados, a partir de pontos randômicos, 20 buffers para cada um dos tipos de fundos de vale classificados pelo V-BET (buffers de 100, 150 e 300 metros para fundos de vale pequenos, médios e grandes, respectivamente), somando 60 pontos amostrais em cada uma das Regiões Hidrográficas que compõe a área de estudo.

Em seguida, criou-se uma classificação visual de referência para que a validação através do Índice Kappa pudesse ser realizada. Para isso, foram utilizados os MDEs em conjunto com os *rasters* de relevo sombreado e de declividade, além de uma segunda forma de visualização do terreno através do *Google Earth Pro*, o que possibilitou classificar de forma manual os fundos de vale dentro das áreas delimitadas pelos buffers.

Após isso, os dados foram binarizados de forma que o número 1 (um) representa a área dos fundos de vale e o número 0 (zero) representa a área dos "não fundos de vale" tanto na classificação manual quanto na classificação do V-BET. Esse procedimento facilita o cálculo dos acertos e erros da área em hectares que foram classificados pelo V-BET. A Figura 3 abaixo resume de forma simples todas etapas metodológicas, baseadas no estudo de Zebende e Vicens (2020), descritas anteriormente:

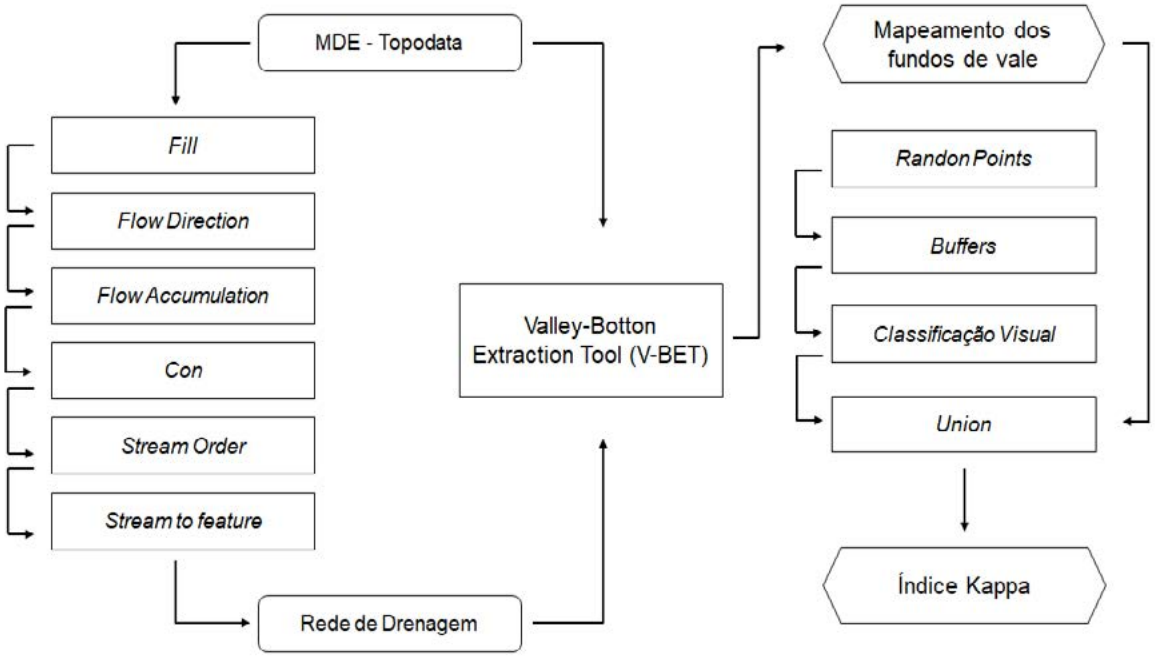


FIGURA 3: Fluxograma metodológico
Fonte: (ZEBENDE e VICENS, 2020, p. 536).

4. Resultados e discussões

Dos 7935,9 km² da área de estudo, o V-BET classificou como fundos de vale uma área de 479,64 km² (247,53 km² na RH IV e de 232,11 km² na RH VII), o que representa cerca de 6,04% desse total. Dentro dessa área classificada, realizou-se uma verificação onde pode-se perceber alguns erros. Alguns trechos que deveriam estar

Vale ressaltar que os resultados do V-BET apresentaram pontos onde as redes de drenagem se conectavam de maneira errada. No entanto esses erros foram mínimos e puderam ser reduzidos através de alguns testes e ajustes dos limiares de declividade e de extensão radial da drenagem, o que se traduziu, no fim, em uma etapa de edição manual breve.

Outro ponto importante para se ressaltar é que o mapeamento desenvolvido nesse trabalho tem como objetivo uma escala de 1:250.000, o que significa que áreas inferiores a 0,5 km² foram generalizadas. A partir disso, pode ser observado o resultado do mapeamento das RHs IV e VII na Figura 4, ambos em uma escala menor que a do objetivo inicial:

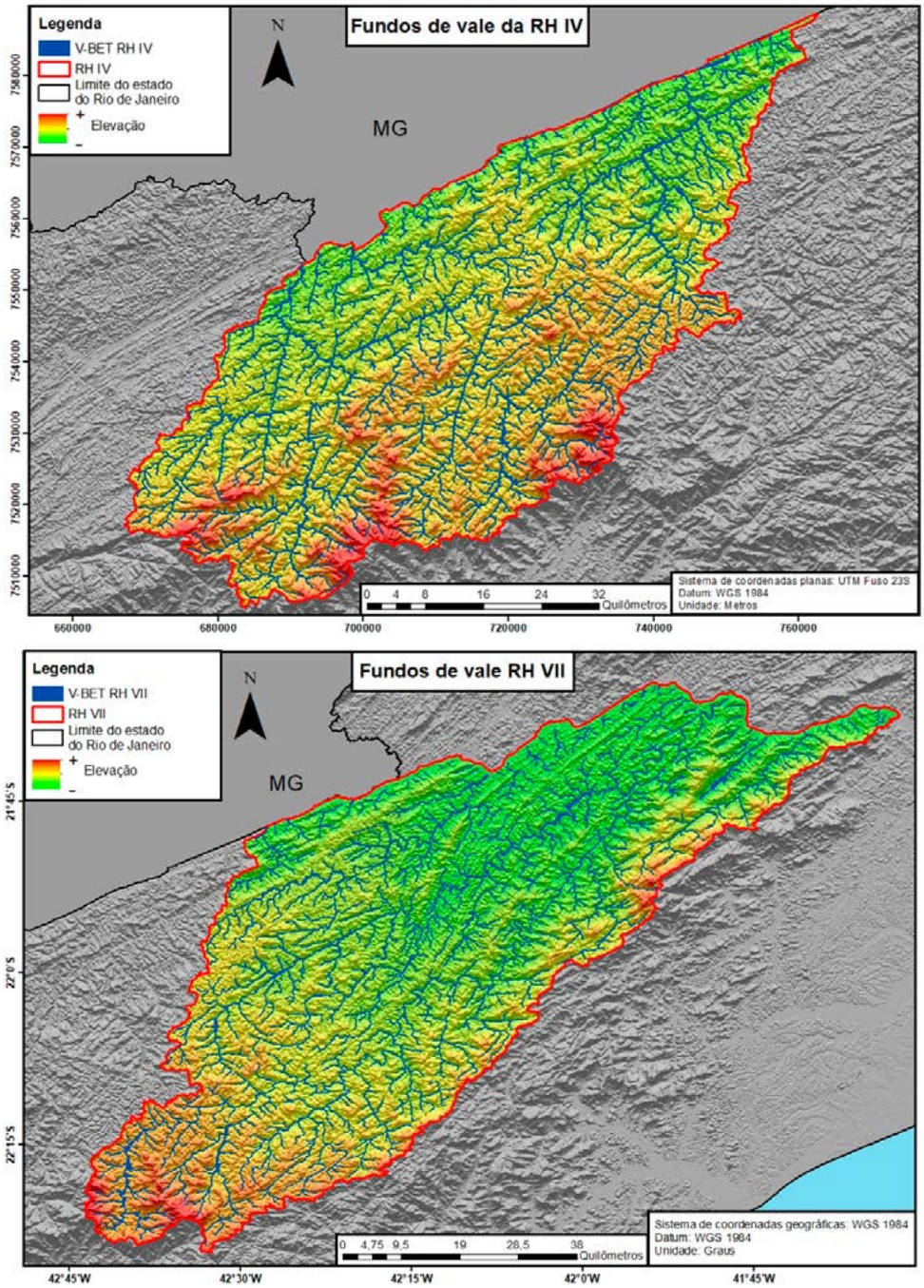


FIGURA 4: Fundos de vale delimitados pelo V-BET nas RHs IV e VII.
Fonte: Produzido pelos autores.

Apesar da redução da escala para a apresentação dentro do modelo de artigo, é importante explicitar que quando utilizada a escala correspondente ao objetivo do estudo, a visualização atinge um nível de fácil compreensão, com fundos de vale bem demarcados e visíveis. Isso pode ser confirmado pela da visualização dos mapas completos de cada uma das RHs, acessíveis através do link: https://drive.google.com/drive/folders/1fJfogtbTNgtBPcgEJkqkq-WHay2skLjvx?usp=sharing.

Partindo para outro ponto, podemos destacar que a análise dos resultados foi dividida também entre as Regiões Hidrográficas. Na RH IV a classificação geral dos fundos de vale obteve uma exatidão global de 85% para um índice kappa de 0,694 e na RH VII a exatidão foi também de 85% para um índice kappa de 0,698. Ambos os resultados podem ser considerados bons segundo a classificação proposta por Landis e Koch (1977).

Com os resultados obtidos também é possível dizer que o algoritmo se comportou melhor atuando em vales maiores na RH IV, apresentando neles uma exatidão global de 86% para um kappa de 0,716, e em vales médios (apesar de uma pequena margem) na RH VII, com exatidão de 86% para um kappa de 0,719.

Os erros de comissão, relacionados à classificação, puderam ser notados principalmente nos vales médios na RH IV e nos vales pequenos na RH VII. Já os erros de omissão, ligados ao pesquisador, puderam ser mais observados, novamente, nos vales médios da RH IV e nos vales grandes da RH VII.

Com esses resultados, pode-se perceber semelhanças entre os dados encontrados para a RH VII e a Bacia do Rio Muriaé, objeto de estudo do trabalho de Zebende e Vicens (2020). Em ambas a regiões o maior percentual de erros relacionados à classificação pôde ser observado nos vales pequenos, o que pode ser atribuído à resolução do MDE utilizado nas duas pesquisas.

Já os dados obtidos para a RH IV não seguem esse mesmo padrão. Isso pode se dar pelo fato de a região apresentar maiores elevações e variações de altitude, o que consequentemente gera mais variáveis e cria maior dificuldade de delimitar os limiares de declividade.

Apesar disso, nas duas subseções da área de estudo, o desempenho do V-BET se traduziu em uma classificação dos fundos de vale considerada boa, o que o torna uma ferramenta eficiente mesmo com a utilização de dados mais grosseiros, como os MDEs com resolução de 30 metros (o que é um ponto positivo, visto que MDEs de maiores resoluções para o território brasileiro ainda são escassos).

Além disso, a possibilidade de mapear áreas relativamente extensas com um tempo de processamento rápido se mostra como mais um ponto positivo que deve ser levado em consideração dentro do planejamento de uma pesquisa.

A seguir é possível observar na Figura 5 os resultados do índice kappa e a matriz de confusão das classificações das RHs IV e VII, respectivamente:

REGIÃO HIDROGRÁFICA IV									
Vales Pequenos	Vales	Não Vales	Total	Omissão	**Vales maiores**	Vales	Não Vales	Total	Omissão
Vales	27,2274	6,85207	34,0795	20%	Vales	165,52	54,642	220,162	25%
Não Vales	3,00065	25,6695	28,6702	10%	Não Vales	19,3208	325,754	345,075	6%
Total	30,22805	32,52157			Total	184,8408	380,396		
Comissão	10%	21%		***0,687***	Comissão	10%	14%		***0,717***
Vales Médios	Vales	Não Vales	Total	Omissão	**Total**	Vales	Não Vales	Total	Omissão
Vales	62,5219	23,5719	86,0938	27%	Vales	255,27	85,05	340,32	25%
Não Vales	6,61739	48,7376	55,355	12%	Não Vales	28,94	399,96	428,90	7%
Total	69,13929	72,3095			Total	284,21	485,01		
Comissão	10%	33%		***0,574***	Comissão	10%	18%		***0,694***

REGIÃO HIDROGRÁFICA VII									
Vales Pequenos	Vales	Não Vales	Total	Omissão	**Vales maiores**	Vales	Não Vales	Total	Omissão
Vales	20,5921	4,10219	24,6943	17%	Vales	156,757	18,9388	175,696	11%
Não Vales	6,73635	31,3191	38,0555	18%	Não Vales	59,2428	330,298	389,541	15%
Total	27,32845	35,42129			Total	215,9998	349,2368		
Comissão	25%	12%		***0,645***	Comissão	27%	5%		***0,696***
Vales Médios	Vales	Não Vales	Total	Omissão	**Total**	Vales	Não Vales	Total	Omissão
Vales	52,5609	5,95958	58,5205	10%	Vales	229,91	29,00	258,91	11%
Não Vales	13,6485	69,0798	82,7283	16%	Não Vales	79,63	430,70	510,33	16%
Total	66,2094	75,03938			Total	309,54	459,70		
Comissão	21%	8%		***0,719***	Comissão	26%	6%		***0,698***

FIGURA 5: Índice Kappa e a matriz de confusão das classificações das RHs IV e VII.
Fonte: Produzido pelos autores.

5. Considerações finais

Através da presente pesquisa, o pacote de ferramentas V-BET revelou-se como uma ferramenta eficaz. Apesar de ser projetado para utilizar MDEs com resoluções de até 10 metros, o algoritmo funcionou bem com a utilização de MDEs de menor resolução (30 metros), conseguindo permitir uma análise satisfatória da morfologia de drenagem da área de estudo. Além disso, esse método também apresenta um tempo de processamento rápido, o que é um dos seus principais pontos positivos, e resultados satisfatórios em relação à escala de análise aplicada para a área de estudo.

Apesar de ter apresentado resultados um pouco inferiores nas áreas com maiores elevações e variações de altitude, o resultado alcançado demonstra precisão dentro do que se considera como boa. Isso demonstra a versatilidade que o V-BET apresenta para o mapeamento dos fundos de vale, podendo ser aplicado em diferentes regiões com geografias variadas.

Cabe ressaltar que para que a utilização do V-BET seja proveitosa e bem executada, o pesquisador deve se ater aos limiares que serão definidos para a utilização da ferramenta, pois quanto melhores eles forem, menos testes terão de ser feitos utilizando o algoritmo, o que irá proporcionar alcançar mais rapidamente os resultados desejados.

Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório de Geografia Física (LAGEF), da Universidade Federal Fluminense (UFF), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por todo o apoio prestado à essa pesquisa.

Referências

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro.** [Brasília], 2000.

GALLANT, J. C.; DOWLING, T. I. **A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. Water Resources Research**, v. 39, n. 12, 2003.

GILBERT, J. T.; MACFARLANE, W. W.; WHEATON. J. M. **The Valley Bottom Extraction Tool (V-BET):** A GIS tool for delineating valley bottoms across entire drainage networks. Computers and Geosciences, v. 97, p. 1–14, 2016.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The Meausurement of observer agrément for categorical data.** Biometrics, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

NAGEL, D. E. *et al.* **A landscape scale valley confinement algorithm:** Delineating unconfined valley bottoms for geomorphic, aquatic, and riparian applications. USDA Forest Service - General Technical Report RMRS-GTR, n. 321 RMRS-GTR, 2014.

STRAHLER, A. N. **Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology.** Transactions of the American Geophysical Union, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.

THOMS, M.; SCOWN, M.; FLOTEMERSCH, J. **Characterization of River Networks:** A GIS Approach and Its Applications. Journal of the American Water Resources Association, v. 54, n. 4, p. 899–913, 2018.

ZEBENDE, J.; VICENS, R. Mapeamento de fundos de vale da bacia hidrográfica do rio Muriaé – RJ a partir do pacote de ferramentas Valley Botton Extraction Tool. In: Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro, V., 2020, Niterói. **Anais...** Niterói: GEOPARTNERS, 2020. p. 530 – 540.

ZHAO, Y. *et al.* **A new algorithm for the automatic extraction of valley floor width.** Geomorphology, v. 335, p. 37–47, 2019.

ZHAO, Y.; DING, A. **A decision classifier to classify rivers for river management based on their structure in China:** An example from the Yongding river. Water Science and Technology, v. 74, n. 7, p. 1539–1552, 2016.

MAPEAMENTO DO POTENCIAL ESPELEOLÓGICO DA REGIÃO NOROESTE DO ESPÍRITO SANTO: IDEIAS INICIAIS

Rodrigo Sesconete Araujo
Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Nova Venécia
Rod. Miguel Curry Carneiro, 799, 29830-000 Nova Venécia, ES, Brasil
E-mail: rodrigosesconete@gmail.com
Manuela Corrêa Pereira
Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Nova Venécia
Rod. Miguel Curry Carneiro, 799, 29830-000 Nova Venécia, ES, Brasil
E-mail: manuelacp1@gmail.com

1. Apresentação

A espeleologia, mais comumente estudo de cavernas, é a ciência que se dedica as cavidades naturais subterrâneas, buscando entender como se rege a formação deste ambiente, como se dá sua evolução em determinados locais, podendo abordar pontos importantes como o turismo, formas de vidas antigas (paleontologia), variações climáticas dentre outros pontos que influenciam no desenvolvimento do conhecimento.

A área de estudo desta pesquisa abrange as folhas de Ecoporanga (CASTAÑEDA *et al.* 2007), Montanha (RONCATO JÙNIOR *et al.,* 2009), Mantena (GRADIM *et al.* 2005), Nova Venécia (QUEIROGA *et al.,* 2009), São Gabriel da Palha e Linhares (BALTAZAR *et al.,* 2010*)*, situadas na região noroeste do Espírito Santo. Esta região apresenta extensa faixa de rochas denominadas granitóides do tipo S da supersuíte do Orógeno Araçuaí[1].

Os estudos na área da espeleologia da região em destaque, ainda se mostram incipientes, tendo em vista que se restringiram a cadastrar cavernas encontradas nesta região, como é o caso do relatório técnico de levantamento espeleológico para a linha de transmissão 230 kV Linhares – São Mateus (2017), e levantamento espeleológico em regiões não cársticas no estado do Espírito Santo (SOUZA, 2018), artigo publicado para o 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Neste âmbito, o seguinte estudo busca analisar um possível potencial espeleológico para a região noroeste do Espírito Santo, mesmo que, a formação litológica apresentada, seja classificada de acordo com o mapa de potencial espeleológico em escala nacional do CECAV, (2020), como de baixo potencial. Contudo, estudos recentes realizados nos estados de Santa Catarina (MOCHIUTTI, 2020), São Paulo (ZAMPAULO *et al,* 2007) e Paraíba (CHAVES, 2017), contrapõem esta conjuntura.

2. Objetivo Geral

O objetivo da pesquisa consiste em elaborar um mapa de potencial espeleológico da região noroeste do Espírito Santo, a fim de, conduzir a uma avaliação mais refinada sobre o potencial espeleológico, da região em questão.

3. Referencial Teórico

O território brasileiro constitui-se de terrenos que detém uma grande probabilidade de ocorrência cavernas com diferentes litologias. De acordo com Piló e Auler (2011), temos conhecimento de menos de 5% das cavidades naturais subterrâneas, mesmo possuindo um potencial espeleológico que se encontra numa faixa com centenas de milhares de cavernas.

Como já dito, alguns estudos com abordagem em granitos são encontrados no Brasil, como é o caso do estado da Paraíba, onde Chaves (2017, p. 84), destaca as tipologias de cavernas encontradas no complexo paisagístico da Pedra da Boca:

...o complexo paisagístico da Pedra da Boca, constituído geologicamente par um corpo intrusivo discordante (batólito), de composição granítica com aproximadamente 10 km de diâmetro, que aflora na porção nordeste do Planalto da Borborema apresenta singularidades morfológicas decorrentes de aspectos estruturais e esculturais.
Com relação aos aspectos estruturais, além da própria natureza da rocha podem ser destacados os planos de descontinuidades posicionados em diversas direções existentes no corpo intrusivo. Dentre essas descontinuidades destacam-se os alívios de pressão litostática. Estas, que concedem as encostas um aspecto de

1 Para mais detalhes sobre a geologia do Orógeno Araçuaí, buscar pelos autores Roncato Junior e Pedrosa Soares *et al.*

"acebolamento" em associação com outras descontinuidades (planos de falhas e fraturas) que potencializam conjuntamente os processos que respondem pele recuo paralelo das vertentes, facilitando a esculturação dos relevos residuais ao longo das vertentes, possibilitando o desenvolvimento de cavidades ou abrigos que são uma das mais importantes feições do relevo em toda essa área (Figura 30).
Outro tipo de cavidade natural, existente na região é formado pelo acumulo de blocos que precipitam das vertentes. Esses ao caírem se acumulam de forma aleatória no sopé das vertentes, ou em alguns casos quando o vale é estreito, ficam prisioneiras das mesmas constituindo o segundo tipo de cavidade frequente em toda região.

Outra forma de cavidade granítica encontrada na Paraíba, são as cavidades por acúmulo em blocos, sendo um tipo de cavidade formada por acúmulo de blocos rochosos no sopé das vertentes. Para Palmer (2009), este tipo de cavidades é chamado de Talus, sendo formado ao se posicionar de forma aleatória, originando as cavernas.

Outra pesquisa recente, que aborda as cavidades em granitos, é a pesquisa realizada na Ilha de Santa Catarina, por Mochiutti (2020), que aborda um complexo de cavernas graníticas. Dentre estas cavernas é destacado que:

Mesmo sem possuir a mesma projeção das cavernas carbonáticas, as cavernas em granito são igualmente relevantes, e em alguns casos podem sim atingir dimensões
destacadas, a exemplo da Gruta do Riacho Subterrâneo, localizada no município de Itu, que tem sido considerada a primeira no ranking brasileiro, da América do Sul e do Hemisfério Sul para esta litologia, estando entre as seis maiores do mundo com seus cerca de 1900 metros de extensão (medida de ponta de trena) (IGUAL, 2011, apud MOCHIUTTI, 2020, p.31).

Além do mais, a pesquisa nos traz diversos fatos sobre cavernas em granitos, onde destaca que nos últimos tempos, em diversos países tem-se notado cada vez mais a ocorrência de cavidade em rochas não carbonáticas (cavernas graníticas). Muitas vezes, espeleólogos não consideram ambientes com paisagens compostas por granitos como locais para a ocorrência de cavernas, devido ao fato de que, em suma, as cavidades encontradas em granitos, são em sua maioria, bem menores do que as encontradas em rochas carbonáticas. Mochiutti (2020) ainda relata que:

Estudos geológicos e geomorfológicos de regiões onde ocorrem rochas ígneas, tais como granitos, não costumam fazer menção à existência de formas subterrâneas, seja pelas dimensões pouco expressivas ou porque as cavidades geralmente são consideradas apenas um acidente geológico ou geomorfológico (HARDT, 2002), fato este apontado em Piló e Auler (2011), quando colocaram que grande parte das cavernas em granito encontradas no Brasil corresponde a "cavernas de pequeno porte" (p.13).

As cavernas em granito estudadas por autores como Chaves (2017) e Mochiutti (2020), podem contribuir para a compreensão dos estudos espeleológicos nos granitóides e metagranitóides da região noroeste do Espírito Santo, já que são rochas que se assemelham em sua constituição mineralógica.

Zampaulo *et al,* (2007) é um dos poucos trabalhos que discorre sobre as grutas desenvolvidas nos granitóides. De acordo com o referido autor as grutas desenvolvidas nos granitóides podem ser mais recorrentes do que o esperado:

As cavernas de origem granitóide, como as que ocorrem na Serra dos Cocais, representam aproximadamente 2% do total de cavidades cadastradas no país (SBE, 2007). Em atividades de prospecção espeleológica em diversas áreas cristalinas ou metamórficas, pôde-se verificar que a ocorrência de tais cavidades não pode ser considerada um acaso, já que é possível encontrar este tipo de formação com muita freqüência, o que ressalta a necessidade de estudos sistemático neste ambiente.

Mesmo sendo consideradas cavidades pequenas, sua gênese é considerada praticamente desconhecida, além de abrigarem sistemas biológicos complexos (ZAMPAULO *et al.* 2007). Ainda sobre os estudos destas cavidades em granitóides, Zampaulo *et al.* (2007), diz que:

Na referida área, existe também um conjunto de cavernas granitóides (aproximadamente dezesseis), algumas consideradas como as maiores do Brasil. No entanto, até o momento apenas duas cavidades (Gruta Espírito Santo e Gruta Santa Rita) foram registradas no Cadastro Nacional de Cavidades, após atividades realizadas pela Associação Civil Eco Vida Ambiental (EVA) e Grupo de Estudos Ambientais da Serra do Mar (GESMAR), com o apoio da SBE.

4. Proposta de metodologia

Para atender o objetivo desta pesquisa os seguintes procedimentos metodológicos estão sendo realizados:

a. Levantamento de dados bibliográficos de técnicas de mapeamento espeleológico de cavidades em granito;

b. Levantamento de bases vetoriais e matriciais dos temas: litologia (CPRM, 2020), estrutura (CPRM, 2020), hidrografia (CPRM, 2020), hipsometria (Imagem SRTM – INPE, 2020), e declividade (Imagem SRTM – INPE, 2020), através imagem de satélite da região noroeste do Espírito Santo, disponibilizado pelo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil), utilização do programa QGIS, com o intuito de espacializar as classes de potencial espeleológico da região noroeste do Espírito.

c. Para alcançar o mapa de potencial espeleológico, serão atribuídos pesos aos temas, compilados na etapa anterior, (litologia, estrutura, hidrografia, hipsometria e declividade), em seguida, será realizada uma análise multicritério, na qual serão espacializadas as classes de potencial espeleológico através do software QGIS.

Pesquisa de dados e referências teóricas

Nesta primeira fase, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a formação de cavernas em granito e outras litologias, buscando abarcar como os fatores paisagísticos como estrutura, litologias, hidrografia e etc., podem influenciar estas formações paisagísticas. Também nesta fase, realizou-se o levantamento das bases vetoriais e matriciais de aspectos como declividade, litologia, estrutura e outros, através de dados governamentais, como por exemplo, dados do CPRM e INPE, e também a pesquisa de trabalhos técnicos e acadêmicos especificamente no norte e noroeste do Espírito Santo, com enfoque para a área de pesquisa inicial.

Início dos Procedimentos de Geoprocessamento

Esta fase, ainda em processamento, consiste na adaptação das bases cartográficas no formato *raster*, onde terá como finalidade o layout do mapa de potencial espeleológico da região noroeste do Espírito Santo.

Estas bases serão adequadas às coordenadas UTM 24S, *Datum* SIRGAS 2000, onde serão atribuídos pesos a cada variável trabalhada no levantamento: litologia, estrutura, declividade, hipsometria e etc. A atribuição de pesos se fundamentará na literatura sobre o tema norteando-se para compreender em que medida cada aspecto analisado contribui para a espeleogênese da área de estudo. O resultado final será o mapa de potencial espeleológico da região noroeste do Espírito

Santo, com o intuito de contribuir para um melhor acervo bibliográfico para futuras pesquisas na região.

5. Desafios

Os desafios, encontrados durante a execução do projeto, são: a dificuldade em encontrar projetos, teses, artigos e/ou publicações que abordem o estudo de cavidades em granitos, tampouco em granitóides, pois, como já bem explanado, estas rochas não possuem um grau alto de incidências cavernícolas, o que propicia a um baixo acervo de referências bibliográficas, o que nos faz entender, que este minério ainda pode nos propiciar estudos diversos em demais áreas, além de também propiciarem a nos trazer novas descobertas dentro das ciências humanas e da terra.

A escassez de referências sobre a região de enfoque da pesquisa, também se configura como um desafio para a execução do projeto. Estudos sobre a geodiversidade do Espírito Santo devem ser estimulados, para que o estado possa construir um acervo sobre temas tão relevantes ao planejamento ambiental.

6. Agradecimentos

Ao IFES, por me proporcionar esta bolsa em auxilio e contribuição aos estudos agora sendo elaborados. A Deus, por continuar me dando saúde e forças para avançar.

Referências

BALTAZAR, O. F. *et al.* **Nota Explicativa das Folhas São Gabriel da Palha e Linhares**: escala 1:100.000. **Geologia das Folhas de São Gabriel da Palha e Linhares SE.24-Y-C-III/SE.24-Y-D-I** Belo Horizonte: CPRM; UFMG, 2010. (Programa Geologia do Brasil).

CASTAÑEDA, C. *et al.* **Nota Explicativa da Folha Ecoporanga**. Escala 1:100.000. In: **Geologia da folha Ecoporanga SE.24-Y-A-III**. Belo Horizonte: CPRM; UFMG, 2007. (Programa Geologia do Brasil).

CECAV, Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Base de dados das cavernas localizadas no Espírito Santo e em Minas Gerais**. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/>, 2020. Acesso em: janeiro de 2021.

CHAVES, J. J. da S. **Estudo Geomorfológico da Cavidades Naturais da Paraíba.** 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba – Centro de Ciências Exatas e da Natureza – UFP, João Pessoa, 2017.

CPRM-SGB, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. **Dados, Informações e Produtos do Serviço Geológico do Brasil.** Disponível em: < http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html> Brasil. Acesso em: novembro de 2020.

ECONSERVATION. (2017b). **Relatório de Controle Ambiental** (RCA) da Linha de Transmissão 230 KV - SE Linhares 2 - SE São Mateus 2 e Subestação 230/138-13,8 KV São Mateus 2.

GRADIM, C. T. *et al.* **Nota Explicativa da Folha Mantena**. Escala 1:100.000. In: **Geologia da folha Mantena SE.24-Y-A-VI**. Belo Horizonte: CPRM; UFMG, 2005. (Programa Geologia do Brasil).

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Topodata Brasil. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil.** Disponível em: < http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php> São José dos Campos – São Paulo. Acesso em: novembro de 2020.

MOCHIUTTI, N. F. B. **Cavidades naturais subterrâneas em granito:** estudo de caso do Sistema de Cavernas da Água Corrente - Ilha de Santa Catarina, SC – Brasil. 2020. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Filosofia e Ciências Humanas – UFSC, Florianópolis, 2020.

PALMER, A. N. (2009). Cave Geology. 2 ed. Kansas, Allen Press 454p.

PILÓ, I. B.; AULER, A. **Introdução à Espeleologia.** In: CECAV. III Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Brasília: CECAV/ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2011. Cap. 1, p. 7- 23.

QUEIROGA, G. N. *et al.* **Nota Explicativa da Folha Nova Venécia**. Escala 1:100.000. In: **Geologia da folha Nova Venécia SE.24-Y-B-IV**. Belo Horizonte: CPRM; UFMG, 2012. (Programa Geologia do Brasil).

RONCATO JÚNIOR, J. G. *et al.* **Nota Explicativa da Folha Montanha**. Escala 1:100.000. In: **Geologia da folha Montanha SE.24-Y-B-I**. Belo Horizonte: CPRM; UFMG, 2012. (Programa Geologia do Brasil).

SOUZA, J. M. de. **Levantamento Espeleológico em Regiões não Cársticas no Estado do Espírito Santo.** 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2018.

ZAMPAULO, A. R. de; SOUZA, J. F. de; PEREIRA, M. H.; LUZ, C. S. **Impactos em Grutas Graníticas na Serra dos Cocais (Valinhos-SP):** Patrimônio Espeleológico Desconhecido. 2007. - Grupo de Estudos Ambientais da Serra do Mar – GESMAR - Sociedade Brasileira de Espeleologia. ANAIS do XXIX Congresso Brasileiro de Espeleologia 2007.

MAPEAMENTO DOS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SÃO LOURENÇO PELO MÉTODO DO ANÁGLIFO

Letícia Costa Paranaiba
Graduação em Geografia pela
Universidade Federal de Uberlândia –
Instituto de Ciências Humanas do Pontal– Campus Pontal
R. Vinte, nº 1600 - Tupã, Ituiutaba - MG, 38304-402
E-mail: leticiaparanaiba@ufu.br
Leda Correia Pedro Miyazaki
Docente do Curso de Graduação em Geografia e
Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia –
Instituto de Ciências Humanas do Pontal - Campus Pontal
R. Vinte, nº 1600 - Tupã, Ituiutaba - MG, 38304-402
E-mail: lecpgeo@gmail.com

Resumo

O objetivo da pesquisa foi elaborar um mapeamento dos compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço localizado no município de Ituiutaba, uma vez que não possui um estudo com essa magnitude (escala semidetalhada), sendo um dos documentos cartográficos mais significantes para subsidiar os diagnósticos ambientais que embasam o planejamento urbano-ambiental. Para a realização da pesquisa foram elencados os seguintes procedimentos: a) Revisão bibliográfica sobre a temática; b) Trabalhos de campo; c) Elaboração de mapas temáticos; d) Utilização de técnicas de fotointerpretação, estereoscopia digital, o método do anáglifo para elaboração do mapeamento do relevo. A pesquisa resultou em um mapa geomorfológico inédito detalhando aspectos do relevo ainda não trabalhados na área, no qual especializou-se os compartimentos dos topos, das vertentes e dos fundos de vale, bem como algumas feições geomorfológicas como as cabeceiras de drenagem em anfiteatro.

Palavras-chave: mapa geomorfológico, bacia hidrográfica, compartimentos geomorfológicos.

1. Introdução

Os estudos voltados ao conhecimento geográfico-geomorfológico estão cada vez mais auxiliando interpretações referentes a evolução das paisagens, bem como suas características, processos e a interrelações entre as dinâmicas da sociedade e da natureza na constituição do espaço geográfico.

Quando o estudo do relevo é realizado sob uma perspectiva geográfica, uma das possibilidades é compreender não apenas as dinâmicas dos processos naturais, cuja principal preocupação é entender as formas de relevo (tempos longos), mas sim, incluir nessa reflexão as dinâmicas da sociedade, sob uma perspectiva da morfodinâmica atual (tempos curtos). Uma vez que, nesta concepção de tempos curtos, o ser humano é capaz de desenvolver atividades que modelam o relevo em um curto período de tempo, induzindo ou acelerando processos naturais, como os erosivos, o que acaba rompendo o equilíbrio dinâmico. Neste ponto de vista o ser humano é um dos principais agentes esculturadores do relevo e acelerador/intensificador de processos ditos naturais.

Diante disso, é preciso pensar em uma Geomorfologia que seja capaz de compreender e explicar a gênese de formas atuais do relevo e suas características, privilegiando as feições e processos que ocorrem na escala do local, ou seja, escala de semidetalhe, pois esta permite os estudos, as análises, os monitoramentos dos processos geomorfológicos, contribuindo desta forma para o planejamento ambiental e urbano. Uma das maneiras de se interpretar o relevo e identificar as principais formas é por meio da compartimentação geomorfológica. Assim, os três principais compartimentos geomorfológicos e suas respectivas morfologias são os domínios dos topos, das vertentes e dos fundos de vales, cuja a concepção geomorfológica adotada pauta-se na perspectiva de integração dos dois primeiros níveis metodológicos de AB' Saber (1969). O primeiro, sendo a estrutura superficial da paisagem que se preocupa em obter informações sistemáticas referentes a todos os compartimentos e formas de relevos observados. O segundo nível refere-se a fisiologia da paisagem que estudo a dinâmica dos processos morfodinâmicos atuantes na paisagem, para conhecer a funcionalidade na sua totalidade.

A partir da aplicação dessa concepção teórica-metodológica proposta por AB' Saber é possível mapear as principais formas de relevo e suas respectivas feições geomorfológicas para identificar as unidades morfológicas na escala de semidetalhe.

Assim o mapeamento geomorfológico é de suma importância, pois além de ajudar a entender a dinâmica do relevo, também pode ser instrumento de auxílio, tanto por parte do poder público no quesito de crescimento/expansão territorial urbana e estruturação da cidade, como para o ensino didático de Geografia Física. De acordo com Ross (2014), o relevo não é algo concreto, que se pode tocar, ele é abstrato sendo uma forma geométrica que se mantem em função do substrato rochoso que o sustenta e os processos exógenos e endógenos que os geram.

Segundo Rodrigues e Britto (2000, p. 1), os "mapas geomorfológicos de detalhe apresentam a possibilidade de mostrar as formas de relevo mais próximas à percepção visual humana em função de sua escala de generalização e representação". Para os autores os diferentes tipos de relevo, sejam eles colinas, morros, planícies aluviais podem ser representados em sua real dimensão e posicionamento, possibilitando expressar características específicas dessas formas, tais como a declividade, as rupturas de declive e feições erosivas.

A cartografia geomorfológica é "a representação gráfica da superfície terrestre, em parte, ou no seu todo, de acordo com a escala" mais adequada para o desenvolvimento de uma investigação (GUERRA, 1993, p. 76). Antes de mapear um recorte espacial deve-se haver um estudo detalhado através de trabalho de gabinete e principalmente trabalhos de campo para subsidiar o início da investigação.

A falta de mapeamento com escala semidetalhada ou detalhada, tem gerado uma lacuna, principalmente na elaboração de estudos acadêmicos que são utilizados por parte do poder público e privado para fundamentar o planejamento e as pesquisas científicas.

Segundo Nunes (2002), Nunes, Freire e Perez (2006), Nunes e Fushimi (2010) e Nunes et al (2012), o mapa geomorfológico é uma importante ferramenta na pesquisa do relevo, contribuindo em estudos de diagnósticos e prognósticos para áreas urbanas e rurais, uma vez que fundamenta os diagnósticos ambientais, os Estudos de Impactos Ambientais, a aplicação de políticas públicas, tudo para subsidiar a escolha de áreas adequadas para instalação de empreendimentos entre outros. A morfologia do relevo apresenta-se como importante aspecto a ser considerado na compreensão dos fatores responsáveis pela história da ocupação e expansão das cidades sobre as diversas formas de relevo do município.

Para Tricart (1965), os elementos de descrição do relevo são informações que podem e devem ser obtidas em cartas topográficas, acrescidas de informações que estas cartas não fornecem como por exemplo as rupturas topográficas e os rebordos de pequenos patamares, discutindo a concepção e os princípios da carta geomorfológica detalhada.

Argento (1998) diz que o grande potencial da aplicação de mapeamentos geomorfológicos está relacionado aos projetos de planejamento da ocupação humana voltados para a prevenção de problemas futuros e para a economia dos recursos investidos.

Florenzano (2008, p. 12) diz que a "geomorfologia dispõe de uma grande variedade de métodos, técnicas e equipamentos que permitem estudar profundamente formas de relevo e processos geomorfológicos, ao combinar modelos de previsão, observação de campo e informações extraídas de dados de sensoriamento remoto e de experimentos laboratoriais". Assim, cabe cada pesquisador escolher a melhor técnica, o melhor equipamento e a base de dados que tornará seu estudo validado, pois são inúmeras as possibilidades.

A ação da sociedade tem acelerado e intensificado o rompimento do equilíbrio dinâmico dos processos naturais, ou seja, a natureza está sendo modificada muito mais rápido do que o tempo necessário para sua regeneração. Isso acaba justificando a importância de se caracterizar e conhecer a dinâmica geomorfológica dos municípios, interpretando a relação sociedade e natureza, pois todos os processos são interligados e quando se altera uma variável, todas as outras tendem a ser alteradas e os impactos negativos são manifestados (MIGUEL, et. al., 2014).

Assim, o objetivo dessa pesquisa foi elaborar um esboço de mapa geomorfológico na escala de semidetalhe da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, buscando identificar a rede de drenagem e os divisores de águas e realizar a espacialização da compartimentação geomorfológica (domínios dos topos, das vertentes e dos fundos de vales) através da aplicação de técnicas de estereoscopia digital e o método do anáglifo.

2. Área de estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço é localizada nos municípios de Ituiutaba e Prata (figura 1), no estado de Minas Gerais. A área de estudo possui uma extensão de aproximadamente 36 km e uma área de 295 km². A bacia tem vários canais de primeira ordem totalizando 86 sendo eles influenciadores do cálculo de densidade de rios (número de canais de primeira ordem dividido pela área total) resultando no valor da Dr igual a 0,2915 rios/km². Além disso, possui uma densidade de drenagem (Dd) igual a 0,85 km/km² que corresponde ao valor do comprimento total dos cursos de água da bacia dividido pela área total (ALLAN-SILVA, 2014).

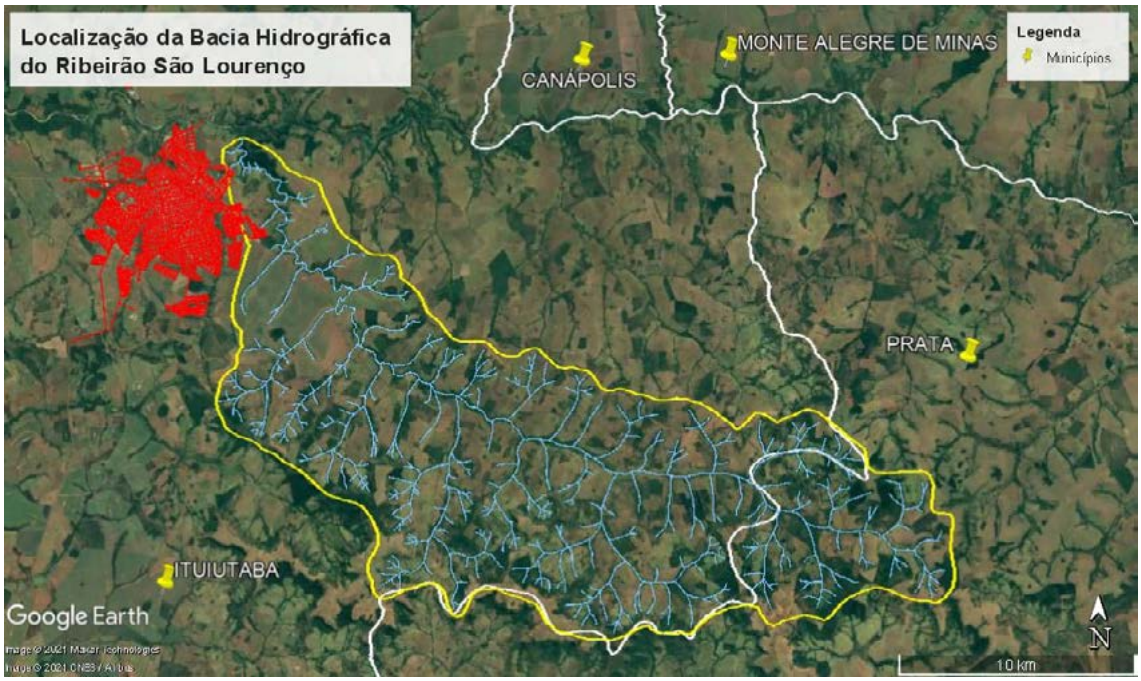


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço Autor: PARANAIBA, L. C (2021) Fonte: Google Earth Pró

De acordo com Mendes e Queiroz (2011) o clima predominante da região é quente e úmido nas estações de primavera e verão e escasso de precipitações nas estações de outono e inverno, influenciadas pela MEC (Massa Equatorial Continental) e MPA (Massa Polar Atlântica), respectivamente. Este fator exógeno é de suma importância para a modelação dos relevos do município.

O clima da bacia é predominantemente quente e úmido na primavera/verão e frio e seco no outono/inverno. Pelos altos índices de pluviosidade serem nos meses de outubro a abril, são nesses meses que o ribeirão está em seu período cheio, enquanto de maio a setembro ocorre o período de estiagem, ocasionando um aumento nos preços das contas de água e de energia da população.

A litologia é composta por rochas do Grupo Bauru da Formação Adamantina e Marília e do Grupo São Bento da Formação Serra Geral. Portanto, com o agente exógeno atuando sobre essa morfoestrutura formaram-se, de acordo com Pedro Miyazaki (2018), morfoesculturas do tipo colinas suavemente onduladas e do tipo tabuliformes.

O solo é composto por 3 grupos de solos principais, sendo os Latossolos, Neossolos e Litossolos, cujo primeiro ocupa a maior parte da bacia.

Segundo Mendes (2016) a bacia do Ribeirão São Lourenço encontra-se localizada no Domínio Morfoclimático do Cerrado, que na situação atual encontra-se muito alterado, uma vez que a vegetação nativa corresponde, a quase 36% da área total, sendo ela dividida em floresta (20,51%), cerrado denso (4,87%), cerrado ralo (6,21), campo úmido/vereda (4,32%). No demais uso e cobertura da terra, compreende a silvicultura (0,78%), a pastagem (53,41%), agricultura (9,39%), cultura irrigada (0,22%), área urbana (0,25%) e represa (0,04%).

Um dos eixos de expansão da malha urbana tem ocorrido no sentido ao Ribeirão São Lourenço. Nas imagens do Google Earth pode-se observar bairros próximo ao ribeirão, tal como Drummond, Buritis, Di Maria e Nadime Derze Jorge, sendo esse primeiro o mais próximo do ribeirão e o último o mais próximo ao ponto de captação da Superintendência de Águas de Esgotos (SAE). Esse é um problema que deve ser observado e estudado para que não desencadeie contami-

nação das águas, solos e que as matas ciliares e de galeria possam ser protegidas, assim como as áreas degradas recuperadas, pois atualmente este manancial é a principal fonte de captação de água da cidade. Vale ressaltar que de acordo com A *Lei nº 12.651/12, do Código Florestal Brasileiro*, os cursos d'água de menos de 10 metros de largura deve haver uma distância entre a construção e o rio de 30 metros e os cursos d'água que possuem entre 10 a 50 metros de largura deve ter 50 metros de distância. Isso não está sendo respeitado.

Diante dos poucos trabalhos acadêmicos sobre os aspectos geomorfológicos no município de Ituiutaba-MG, escolheu-se como área de estudo a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, que é um importante curso d'água do município e fonte de abastecimento da área urbana, o que a torna uma unidade de estudo que necessita de investigações mais detalhadas sobre os aspectos físicos para subsidiar o planejamento e a ações que visam a proteção dos recursos hídricos.

3. Metodologia

A primeira etapa da pesquisa envolveu a pesquisa bibliográfica, no qual foi possível realizar uma revisão teórica-metodológica por meio de uma ferramenta de busca do Google Acadêmico, utilizando-se palavras chave. Assim foram selecionados uma série artigos de revistas, além de trabalhos publicados em eventos. Outra fonte de dados foram os repositórios das universidades, no qual obteve-se os arquivos de trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses que abordaram sobre a temática da pesquisa. Todos contribuíram para a elaboração conceitual e metodológica que balizaram a pesquisa.

Os autores que foram utilizados como referência no contexto da cartografia geomorfológica foram: Rodrigues e Britto (2000), Ross (2014), Casseti (2005), Nunes (2002), Nunes, Freire e Perez (2006), Nunes e Fushimi (2010), Nunes et al (2012), Tricart (1965), Argento (1998), Florenzano (2008).

Nesse sentido, a revisão bibliográfica foi de grande relevância para a compreensão dos processos de formação dos relevos, dos processos e formas e princípios básicos sobre a cartografia geomorfológica e os métodos e técnicas que contribuíram para o entendimento da temática e para a elaboração dos mapas temáticos, respectivamente.

A segunda etapa envolveu a obtenção de imagens ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros no site da *Alaska Satellite Facility*, para elaboração das cartas temáticas de hipsometria e declividade. Ambas auxiliaram na interpretação e caracterização do esboço geomorfológico.

A terceira etapa envolveu o trabalho de gabinete voltado para elaboração do esboço do mapeamento dos compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço. Optamos por chamá-lo de esboço por não apresentar as morfologias das vertentes (côncavas, convexas e retilíneas). Para isso, foram seguidos os procedimentos metodológicos de Pedro Miyazaki e Penna (2016), Pedro Miyazaki (2017), Gomes (2019), Pedro Miyazaki e Gomes (2020). Foram utilizadas uma série de técnicas, programas e sites (todos disponíveis gratuitamente) para a elaboração do esboço geomorfológico.

A obtenção de pares estereoscópios da área de estudo foi realizada por meio do Google Earth Pro. Foi realizada uma configuração no programa para que as imagens pudessem ser salvas formando pares de imagens de uma mesma área, mas sobre pontos de vista diferentes. Para que isso pudesse ocorrer a ferramenta de visualização 3D foi ativada. Nesse sentido, para a geração do esboço do mapa geomorfológico com uma melhor qualidade de

detalhes, a bacia foi dividida em 3 partes para obtenção dos pares estereoscópicos. O primeiro par capturado envolveu o baixo curso do Ribeirão São Lourenço, o segundo par contemplou o médio curso e por fim obteve-se as imagens do alto curso. Para a captura das duas imagens (que formam um par estereoscópico), tomou-se o cuidado de manter a altitude do ponto de visão do Google Earth Pro e um leve deslocamento das imagens para o lado direito e depois para o lado esquerdo, resultando em duas imagens de uma área, mas com pontos de visão diferentes.

A elaboração do anáglifo foi realizada no programa *Stereo Photomaker*, onde foram inseridas as imagens esquerda e direita, uma com a cor vermelha e a outra com a cor azul. Após isso, essas imagens foram corrigidas e ajustadas no programa que gerou as imagens anáglifo. Para que o ajuste das imagens ficasse sobrepostas corretamente foi necessário a utilização dos óculos 3D com lentes azul e vermelha. Os três anáglifos foram salvos e trabalhados posteriormente no programa QGIS.

O georreferenciamento dos anáglifos foi feito no QGIS utilizando como base uma imagem georreferenciada. O georreferenciamento de cada anáglifo com a utilização dos óculos 3D. Dessa forma com a ferramenta georreferenciador, com o auxílio da imagem ALOS PALSAR (uma imagem de satélite já georreferenciada) e dos óculos 3D, foram adicionados 15 pontos no anáglifo e na imagem de satélite. Posteriormente, para ter uma melhor precisão no georreferenciamento, ajustamos as coordenadas para que ficasse próximo a 0, em seguida seu processamento e a criação do anáglifo georreferenciado.

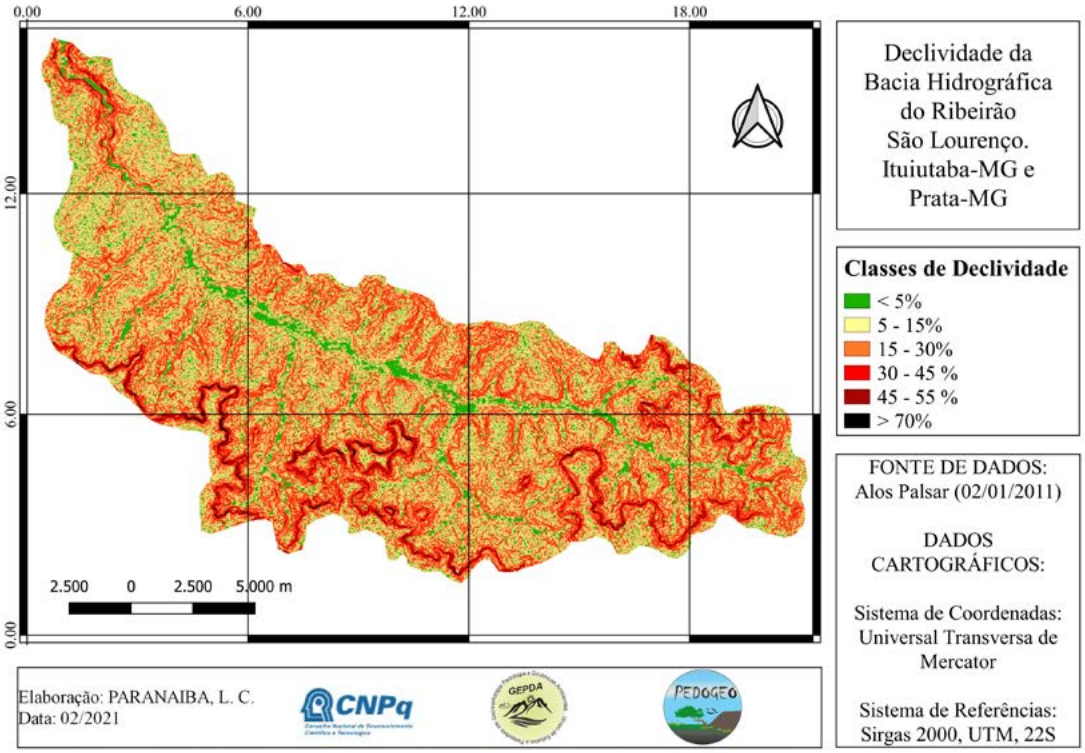
Após o georreferenciamento dos anáglifos, foi adicionado os 3 recortes no software QGIS para de fato começar a interpretação das imagens com o auxílio dos mapas de hipsometria e declividade. Ainda se utilizou os óculos 3D e as chaves de interpretação de imagens (textura, padrão, tonalidade) para delimitar os compartimentos do relevo (domínio dos topos, das vertentes e dos fundos de vale), identificação das feições geomorfológicas e feições hídricas. O primeiro passo foi delimitar a rede de drenagem que é composto pelos cursos d'água, canais de escoamento e lago, seguido pelos divisores de água que deram base para a geração dos Domínios de Topos e das Vertentes. Após isso, identificaram-se as cabeceiras de drenagem em anfiteatros e as vertentes côncavas, convexas e retilíneas. Para isso, foi utilizado como referencial teórico metodológico o trabalho de Fushimi e Nunes (2010).

4. Resultados e discussões

Partindo do princípio que a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço é uma área de grande relevância para o município de Ituiutaba, principalmente para a cidade, foram elaborados mapas temáticos que pudessem auxiliar na interpretação do relevo, tornando-se ferramentas visuais importantes que especializam as cotas altimétricas, as declividades e as feições geomorfológicas, principalmente as cabeceiras de drenagem em anfiteatro onde se encontram as nascentes que abastecem os canais fluviais.

O mapa de declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço (figura 2) foi elaborado com 5 classes com cores distintas que representam desde a menor até a maior declividade. A cor verde representa a declividade menor que 5% (< 5%), a amarela representa de 5 à 15%, a laranja representa de 15 à 30%, a vermelha representa de 30 à 45%, a marrom representa de 45 à 55% e a preta representa maior que 70% (> 70%).

Figura 2: Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço



Autor: PARANAIBA, L. C. (2021)

Esse mapa comprova a morfoescultura do um relevo formado pelas colinas suavemente onduladas, visto que grande parte da bacia possuem as classes predominantes de 5 a 15% e 15 a 30%, caracterizando um relevo pouco declivoso. Além disso, é possível verificar que existem algumas pequenas áreas que são bastante declivosas correspondendo as classes de 30 até 45% e superiores a 45%. Isso confirma o delineamento formado por vertentes íngremes dos relevos residuais do tipo tabuliformes. Outra característica importante se refere interessante é que a classe de menor declividade se encontra próximo aos fundos de vale, enquanto as de maior declividade se situam as cabeceiras de drenagem.

O mapa de hipsometria (figura 3) da bacia foi elaborado com 5 classes altimétricas com cores distintas que vão da menor à maior altitude. A cor azul claro representa a hipsometria menor que 490 (< 490m), a verde representa de 490 à 540 metros, a amarela representa de 540 à 590 metros, a laranja representa de 590 à 650 metros, a vermelha representa de 650 à 700 metros e a preta representa maior que 750 metros (> 700m).

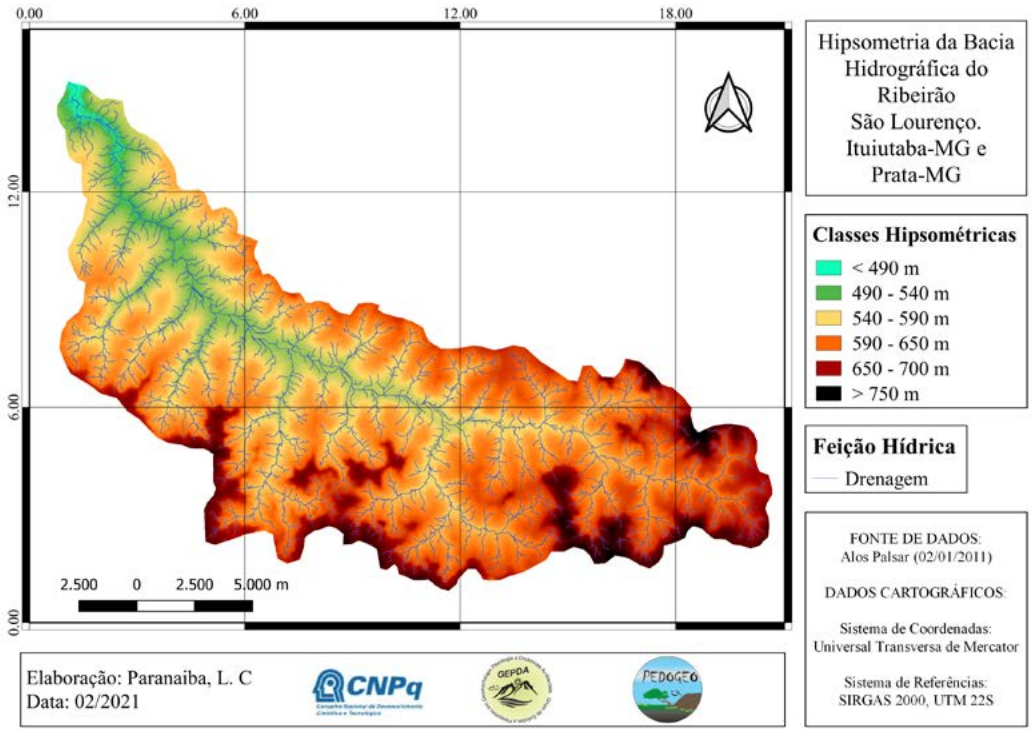


Figura 3: Mapa de Hipsometria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço
Autor: PARANAIBA, L. C. (2021)

Nesse sentido, nota-se que a bacia possui expressiva variação de altitude, porém de forma linear pelo fato de o relevo ser de colinas suavemente onduladas. Além disso, correlacionando com o mapa de declividade, os lugares mais altos também se situam nesses relevos residuais de tabuliformes, enquanto o mais baixo se situa na foz da bacia onde é desaguado no Rio Tijuco.

Outra espacialização que foi realizada no intuito de caracterizar melhor a bacia hidrográfica foi o esboço dos compartimentos geomorfológicos (figura 4). Nele identificou-se três compartimentos geomorfológicos, tais como os domínios dos topos e das vertentes, as feições geomorfológicas das planícies aluviais e alvéolos, cabeceira de drenagem em anfiteatro, divisores de águas, as feições hídricas, tais como a rede de drenagem e os fundos de vale em V e em berço.

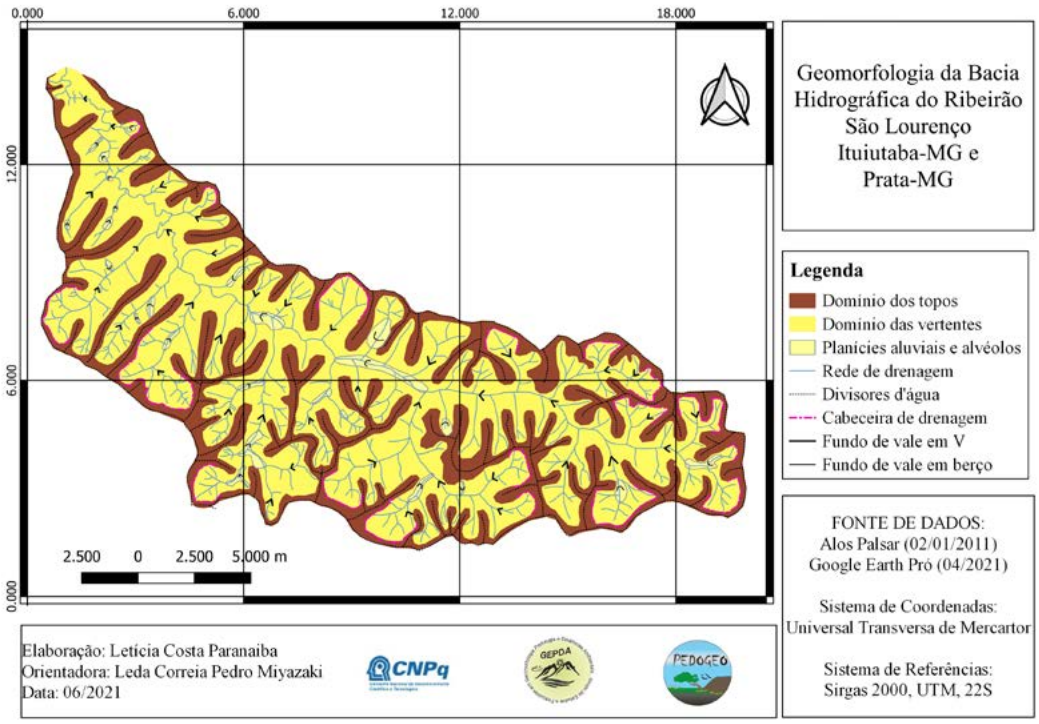


Figura 4: Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço Ituiutaba-MG e Prata-MG
Autor: PARANAIBA, L. C. (2021)

O compartimento geomorfológico identificado como domínio dos topos foi espacializado por um polígono na cor marrom, sendo a "parte mais elevada de um morro ou de uma elevação" (GUERRA; GUERRA, 1993, p. 416). Essa classificação representa os topos das colinas suavemente onduladas, cuja característica principal é serem mais amplos, convexizados e suaves, quando comparados aos topos dos relevos tabuliformes, tornando-se a morfologia predominante. No entanto, uma pequena área da bacia possui topos mais estreitos, porém chapados, situados na parte mais elevada da bacia, são típicos dos relevos tabuliformes. Vinculados a esse domínio encontram-se os divisores de águas (figura 5.1), sendo denominado como "uma linha separadora de águas pluviais" (GUERRA; GUERRA, 1993, p. 139). Existe o divisor de águas principal e os secundários que são esparsados.

Dessa forma, nos trabalhos de campo, foi identificado o crescimento da cidade de Ituiutaba rumo ao São Lourenço. Essa expansão urbana já ultrapassou o domínio dos topos próximo a foz, chegando até mesmo nos domínios das vertentes. Essa expansão tem ocasionado um desmatamento das matas nativas, como o cerrado ralo, denso e florestas, podendo, no futuro, chegar até nos fundos de vale, gerando mais desmatamento das matas ciliares e de galeria, além disso poderá intensificar a degradação da bacia no que se refere as queimadas de origem antrópica e a disposição de resíduos sólidos.

Um dos fatores dessa expansão desenfreada é uma possível especulação imobiliária devido a uma grande área sem construção passível de ser um bairro, antes do bairro Nadime Derze Jorge. Vale ressaltar que os bairros citados (Drummond, Buritis, Di Maria e Nadime Derze Jorge) que estão se expandindo rumo a bacia são todos de periferia e estão longe do centro da cidade, fazendo com que esse bairro sem construção valorize ainda mais sua terra. Além disso, próximo a foz e a cidade, possui uma área bastante expressiva de atividade agrícola que se encontra situada, tanto nos domínios dos topos, quantos das vertentes. Já as demais áreas de topo da bacia, o uso da terra é composto por pastagens e resquícios de vegetação.

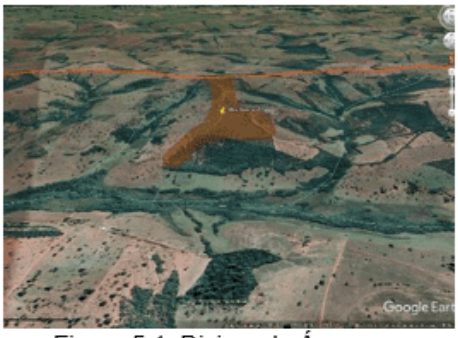


Figura 5.1: Divisor de Águas



Figura 5.2: Fundo de Vale em Berço

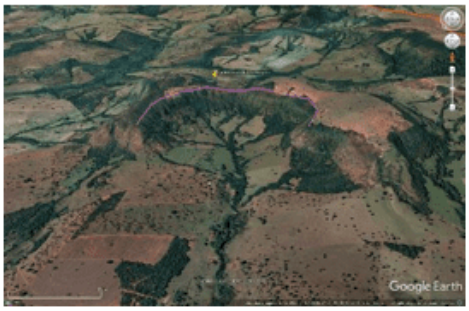


Figura 5.3: Cabeceira de Drenagem

Figura 5: Feições geomorfológicas e hídricas Autor: PEDRO MIYAZAKI, L. C. (2021) Fonte: Google Earth Pró

O domínio das vertentes é caracterizado por "planos de declives variados que divergem das cristas ou dos interflúvios, enquadrando o vale" (GUERRA, GUERRA, 1993, p. 434), ou seja, as vertentes são as partes declivosas de um relevo que separa o topo e o fundo de vale, formando um comprimento de rampa, um plano inclinado.

É possível observar neste domínio as morfologias de vertentes côncavas associadas as cabeceiras de drenagem em anfiteatro, local onde encontram-se nascentes do canal principal e afluentes. A segunda feição identificada nos trabalhos de campo foram as vertentes convexas que são dispersoras de águas pluviais na bacia e por fim, as vertentes retilíneas que contribuem para uma melhor fluidez e drenagem das águas pluviais. Vale ressaltar que as vertentes possuem declividades mais acentuadas próximas aos relevos tabuliformes, sendo caracterizadas como litólicas, por apresentar a exposição de rocha arenítica (Formação Marília) e outras mais regolítica, por serem constituídas por solos eluviais e/ou aluviais, como os Neossolos ou rampas de colúvio (sedimentos consolidados) possuem declives acentuados como mostrado no mapa de declividade.

Nos trabalhos de campo, foi identificado que as vertentes ocupam a maior parte da bacia sendo a cobertura da terra predominante as pastagens, com pequenas porções de vegetação do tipo nativa e algumas áreas com atividades voltada para a agricultura. Foi possível identificar nessas áreas que as práticas conservacionistas dos solos são aplicadas parcialmente, existem propriedades rurais que utilizam técnicas mecânicas de conversação dos solos, tais como terrações em curvas de níveis e bacias de contenção. Essas intervenções mecânicas tem contribuído para conter o avanço de erosões do tipo ravinas e voçorocas, no entanto, foi possível constatar que ainda existem manifestação dessas formas erosivas em alguns compartimentos geomorfológicos.

A não adoção de práticas conservacionistas dos solos ocasionam danos nas áreas de onde ainda existe vegetação nativa, pois quando essas áreas não são cercadas o gado acaba entrando, pisoteando determinados locais e danificando tanto o solo, quanto a vegetação. Além disso, pode-se mencionar os agrotóxicos que são utilizados no plantio (como nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar) gerando prejuízo à natureza, isso tem enfraquecimento o solo, contaminado os afluentes do ribeirão e possíveis danos nas matas ciliares e matas de galeria, além de ocasionar perda de solos, erosões lineares e erosões laminares.

Os fundos de vales identificados na bacia apresentam morfologias em V e em berço (figura 5.2). Os fundos de vale em V possuem uma forma mais encaixada e é comum encontrar mais próximo a foz o afloramento de rochas basálticas, cuja ocorrência se dá do meio curso para o baixo curso do Ribeirão São Lourenço. As planícies aluviais de acordo com Guerra (1993, p. 338) "têm formas alongadas (quando de nível de base local) e são produzidas pelos depósitos deixados pelos rios.". Essas feições foram mapeadas e identificadas no médio curso do canal, são identificadas como veredas por serem áreas bastante úmidas e com vegetação típica, como o Buriti.

Assim como todos os elementos da bacia hidrográfica, o fundo de vale, por ser uma área bastante úmida, é muito importante principalmente para manter os ecossistemas e biodiversidades próximo a ele. É nele que abriga as matas ciliares e de galeria que são agentes filtradores de resíduos, evitando impactos da chuva e escoamento superficial generalizado que geraria uma maior erosão e o próprio assoreamento (acúmulo de resíduos no fundo). Os fundos de vale do Ribeirão São Lourenço possuem vastas matas ciliares e de galeria, porém, quando o ribeirão está em seu período de cheia, partes dele se tornam pontos turísticos e de lazer, onde as pessoas desfrutam das cachoeirinhas que ele abriga. O mau uso dessas cachoeirinhas tem ocasionado desmatamentos dessas matas, solos e do próprio canal, devido a restos de resíduos sólidos e lixos jogados pelos frequentadores, no qual são carregados pelas águas rumo a foz, gerando mais poluição nos canais fluviais.

A cabeceira de drenagem (figura 5.3) de acordo com o Guerra (1993, p. 64), refere-se a "área onde os olhos d'água que dão origem a um curso fluvial, é o oposto da foz." Dessa forma, essa feição geomorfológica foi identificada no mapa, sendo especializadas apenas as mais representativas.

As cabeceiras de drenagem abrigam as nascentes da bacia, sendo feições geomorfológicas que necessitam ser preservadas, uma vez que são os locais que fornecem água para os afluentes do Ribeirão São Lourenço, principal corpo d'água que abastece a área urbana do município. Durante os trabalhos de campo foi possível verificar que a maior parte dessas cabeceiras estão sofrendo com o desmatamento, o que acaba contribuindo para o aumento do escoamento superficial concentrado em detrimento da infiltração (processo que contribui para o abastecimento do aquífero ou lençol freático). Esse escoamento concentrado acaba contribuindo para a aceleração das erosões lineares que se encontram, na maioria dos casos, vinculadas a rede de drenagem da bacia.

Considerações finais

Dessa forma, podemos observar que a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço apresenta grande importância para a cidade de Ituiutaba e que infelizmente a sociedade em geral não tem se preocupado com a degradação que essa fonte de recurso hídrico tem sofrido, o desmatamento, as queimadas, as erosões poderão agravar o quadro de degradação ambiental e comprometer a qualidade de vida dos ocupantes, tanto da bacia, quanto das áreas adjacente. Sendo assim, o esboço do mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

pôde espacializar os principais compartimentos do relevo, além de algumas feições geomorfológicas. Isso permitiu não apenas a elaboração de um material inédito para o município, mas também possibilitou entender a inter-relação entre a forma do relevo, a ocupação e os problemas ambientais decorrentes.

Devido à grande importância que essa bacia possui para o município, sobretudo, para área urbana, uma vez que é a bacia hidrográfica é fonte de captação das águas que abastecem a área urbana, é preciso ser melhor estudada para que se possa subsidiar ações que visam a recuperação de áreas degradadas em razão da expansão urbana, pastagens, queimadas, atividades agrícolas, lazer nas cachoeirinhas sem consciência, e principalmente proteção das cabeceiras de drenagem em anfiteatro onde encontram-se as nascentes da bacia.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de iniciação científica que possibilitou a dedicação integral a pesquisa. Também agradecemos ao Instituto de Ciências Humanas do Pontal, ao Curso de graduação em Geografia, o Grupo de Pesquisa GEPDA e laboratório PEDOGEO pelo apoio relacionado a infraestrutura e amparo teórico-metodológico.

Referências

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia,** São Paulo, no 18, p. 1-23, 1969;

ARGENTO, M. S. F. **Mapeamento geomorfológico**. In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. da (orgs.). 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 365-391, 1998;

BONFATTI, B. R.; ALMEIDA, J. A. de. O uso de anaglifos na delimitação de unidades de mapeamento para levantamento semidetalhado de solos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.13, n.2, p. 164-170, 2014

BRASIL. LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. ***Código Florestal Brasileiro***. *Seção 1, art. 4.* Brasília, 25 de maio de 2012.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. 2005;

Chuvas aumentam nível do São Lourenço em Ituiutaba, diz SAE**. G1,** Ituiutaba, 2014. Disponível em: http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/2014/11/chuvas-aumentam-nivel-do-sao-lourenco-em-ituiutaba.html. Acesso em: 02/2021

FITZ, P. R. **Cartografia básica.** 2008.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008;

_____. Geotecnologias na Geografia Aplicada: Difusão e Acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, 17 (2005) 24-29. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47272/51008. Acessado em: 01/2021

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. Mapa Geomorfológico do município de Presidente Prudente-SP: elaboração e representação dos principais compartimentos de relevo. In: **XVI Encontro Nacional de Geógrafos, 2010, Porto Alegre - RS**. Anais do XVI Encontro de Geógrafos Brasileiros - Porto Alegre, 2010;

ALLAN-SILVA, G; COSTA, R. A. **Paisagem e Fragilidade Ambiental Natural da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, Ituiutaba/Prata - MG**. Caminhos de Geografia (UFU), V. 12, P. 151-167, 2011

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 8ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

JOLY, F. **A Cartografia**. Tradução de Tânia Palegrini - Campinas: Papirus, 1990

MENDES, L. da. S. **Avaliação das Áreas Potenciais para Preservação Ambiental e Áreas de Conflito na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço – Ituiutaba/MG.** Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental). Instituto de Ciências Agrárias - ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

MARTINELLI, M. Os mapas da Geografia. In: XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005, Macaé. **Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia**, v.1, 2005;

NUNES, J. O. R. Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para construção de aterro sanitário em Presidente Prudente. Presidente Prudente, 2002. 211 p. **Tese (Doutorado em Geografia com ênfase em Desenvolvimento Regional e Planejamento Ambiental)** – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista;

NUNES, J.O.R., FREIRE, R. PERES, I. U. Mapa geomorfológico do perímetro urbano da cidade de Presidente Prudente. In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia e Regional Conference on Geomorphology,** Goiânia, 2006. Anais...CDROM.

NUNES, *et al.* Elaboração de mapeamento geomorfológico utilizando técnicas de estereoscopia digital. **In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, 2012. Anais...CDROM;

PEDRO MIYAZAKI, L. C.; GOMES, A. A. G. de O. Anáglifo, fotointerpretação e imagens do Google Earth como alternativa para elaboração do mapeamento geomorfológico da Serra do Corpo Seco -Ituiutaba-MG (Brasil). **Revista Physis Terrae**. Uminho: Portugal, v.2, n. 2, 2020, p. 43-65; Disponivel em: https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/view/49966. Acessado em: 03/2020;

PEDRO MIYAZAKI, L. C. Caracterização do relevo da área urbana do município de Ituiutaba/mg. In: PORTUGUEZ, A. P.; ARAÚJO SOBRINHO, F. L. **Inquietações Geográfica**s. Ituiutaba: Barlavento, 2018. p. 90-121;

PEDRO MIYAZAKI, L. C. Elaboração da carta de compartimentação geomorfológica para estudo do relevo na área urbana de Ituiutaba/MG. **Revista Espaço em Revista**. Catalão: UFG, v.19, n. 2, 2017, p. 1-17; Disponivel em: https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/view/49966. Acessado em: 03/2020;

PEDRO MIYAZAKI, L. C.; PENNA, M. C. M. A utilização do mapeamento geomorfológico como instrumento de identificação e caracterização morfoescultural na bacia hidrográfica do Córrego do Carmo – Ituiutaba/MG. **Caderno Prudentino de Geografia**. Presidente Prudente: AGB/UNESP, v.1, n. 38, 2016, p. 78-98; Disponivel em: file:///C:/Users/lecpg/Downloads/5314-20324-1-PB.pdf. Acessado em: 07/2021;

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia:** ambiente e planejamento. 9. Ed. São Paulo: Contexto, 2014.

ROSS, J. L. S. A Geografia: da natureza à sociedade. In: **Geografia do Brasil**. ROSS, J. L. S. (org). 4. Ed. São Paulo: Edusp. 2003.

RODRIGUES, S. C.; BRITO, J. L. S. Mapeamento geomorfológico de detalhe: uma proposta de associação entre o mapeamento tradicional e as novas técnicas em geoprocessamento. **Caminhos de Geografia**, 1 (1), p. 1-6, Uberlândia: UFU, set. 2000. Disponível em:< http://www.caminhosdegeografia.ig.ufu.br/>. Acesso em 14 jun. 2010;

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 2014, 82p;

SILVA, G. A.; COSTA, R. A. Paisagem e fragilidade ambiental natural da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, Ituiutaba/rata-MG. **Revista Caminhos de Geografia**. V.12, n. 39, set/2011, p. 151-166; Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia. Acessado em: 03/2020;

SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUAS E ESGOTOS. **Programa Amigos do Ribeirão São Lourenço recebe 3.500 mudas doadas pela Nestlé Ituiutaba.** Disponível em: https://www.sae.com.br/noticias/Programa-Amigos-do-Ribeirao-Sao-Lourenco-recebe-3500-mudas-doadas-pela-Nestle-Ituiutaba. Acesso em: 02/2021

_____. **SAE realiza recuperação das Áreas de Preservação Permanente da principal bacia hidrográfica de Ituiutaba.** Disponível em: https://www.sae.com.br/noticias/SAE-realiza-recuperacao-das-areas-de-Preservacao-Permanente-da-principal-bacia-hidrografica-de-Ituiutaba. Acesso em: 02/2021

_____. **Estiagem provoca queda no nível do Ribeirão São Lourenço, e SAE aciona captação de água do Rio Tijuco.** Disponível em: https://www.sae.com.br/noticias/Estiagem-provoca-queda-no-nivel-do-Ribeirao-Sao-Lourenco-e--SAE-aciona-captacao-de-agua-do-Rio-Tijuco. Acesso em: 02/2021

SOUZA, T, de A. de; OLIVEIRA, R. C. de; **Avaliação da potencialidade de imagens tridimensionais em meio digital para o mapeamento geomorfológico.** REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.2, N.4, p.1348 – 1355, 2012.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da Fotogrametria**. Disponível em: < http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/fotogrametria.pdf>. Acessado em: 01/2021

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria básica**. 2009; Disponível em: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf Acessado: 01/2021;

TRICART, J. **Principes et méthodes de La géomophologie**. Paris: Masson e Cie, 1965;

MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO BENTO, NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Anderson da Silva Santos
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – CERES campus Caicó/RN
Rua Joaquim Gregório, S/N, Penedo, 59.300-000
E-mail: santos.anderson1998@hotmail.com
Raquel Cardoso de Araújo
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – CERES campus Caicó/RN
Rua Joaquim Gregório, S/N, Penedo, 59.300-000
E-mail: raquelcdr909@gmail.com
Raiane Islane Araujo de Souza
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – CERES campus Caicó/RN
Rua Joaquim Gregório, S/N, Penedo, 59.300-000
E-mail: raianesouza.93@outlook.com
Urbano Aires da Costa Dantas
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – CERES campus Caicó/RN
Rua Joaquim Gregório, S/N, Penedo, 59.300-000
E-mail: Dantasurbano@gmail.com
Saulo Roberto de Oliveira Vital
Universidade Federal da Paraíba
Campus I - Jardim Cidade Universitária, João Pessoa - PB, 58051-090
E-mail: Saulo.vital@academico.ufpb.br

Resumo

Devido à ausência de trabalhos de mesma temática no município de São Bento (PB), o presente artigo foi elaborado com vistas a ser pioneiro. O mapeamento foi elaborado a partir da interpretação dos mapas de declividade, hipsometria, orientação das vertentes, além de dados referentes à litologia e o índice de dissecação do relevo, considerando as variáveis morfométricas do relevo. Constatou-se que o referido município possui um relevo predominantemente plano, com elevação média que varia de 410 a 446 metros de altitude, com percentual de declividade que varia entre 0 a 45% e o índice de dissecação do relevo apresentou duas classes de dissecação, sendo elas fraca e muito forte. Concernente ao mapeamento geomorfológico proposto, obtivemos o mapeamento de quatro níveis taxonômicos para o relevo do município de São Bento (PB), sendo elas duas unidades morfoestruturais, duas unidades morfoesculturais, duas subunidades (morfoesculturas) e, por último, seis modelados de denudação e agradação. Conclui-se que os resultados obtidos para esta pesquisa foram satisfatórios e fundamentam a importância do mapeamento geomorfológico, que está em consonância com diversas áreas do conhecimento, e que pode ser fundamental para os estudos que visam definir a vulnerabilidade do meio ambiente, do uso e ocupação do solo, das análises de risco e processos erosivos.

Palavras-chave: Geomorfologia. São Bento (PB). Mapeamento.

1. Introdução

A geomorfologia é entendida por Araújo (2018) como o estudo das formas do relevo, que permanece em evolução ao longo do tempo geológico. Esses estudos se voltam aos processos morfogenéticos, mas algumas formas da terra devem ser explicadas não só através da natureza e intensidade desses processos, mas também é necessário levar em consideração os eventos pretéritos, os quais possuem sua parcela de contribuição para esculpir o relevo na forma em que é conhecido atualmente.

Para Guerra (1972), a geomorfologia é a ciência que estuda as formas do relevo com base em sua origem, estrutura, natureza das suas rochas, clima regional e as diversas formas endógenas e exógenas, que são fatores que modelam o relevo terrestre, sendo assim um estudo sistemático das formas do relevo, se baseando nas leis que determinam a sua formação e evolução.

O mapeamento geomorfológico assume um papel importante, porque auxilia no reconhecimento das principais unidades geomorfológicas locais, bem como no reconhecimento de suas características morfométricas que são determinantes no que tange às fragilidades ou potencialidades da área de estudo, tais como: a geologia, o percentual de declividade das vertentes, a morfologia e a orientação azimutal das encostas. Ressalta-se que, para sistematização do mapeamento geomorfológico, é importante considerar os resultados obtidos com a fase inicial do mapeamento, que consiste na fase de pré-mapeamento, onde são confeccionados os mapas que servirão de base para respaldar o mapeamento geomorfológico padrão, ou seja, os mapas que correspondem aos resultados obtidos com as investigações litológicas e geofísicas da área de estudo, como: o mapa litológico, de hipsometria, de declividade, curvatura e aspecto.

É importante considerar os resultados obtidos durante o pré-mapeamento, pois essas informações subsidiarão o desenvolvimento do mapa geomorfológico adequado à escala pretendida e com uma riqueza de detalhes que auxiliará os tomadores de decisão no tocante as investigações acerca dos riscos geomorfológicos, bem como na mitigação dos possíveis danos ou acidentes envolvendo a questão do risco associado aos fatores geofísicos.

Buscando entender a geomorfologia do município de São Bento-PB, este trabalho tem como objetivo identificar e mapear as unidades geomorfológicas do referido município, até o quarto nível taxonômico.

2. Metodologia

A área de estudo para a realização dos mapas é do município de São Bento (Latitude: 7° 16’ 60’’ Sul, Longitude: 37° 30’ 0’’ oeste), localizado no interior no estado da Paraíba, a 383 km de distância da capital João Pessoa-PB.

No mapa geomorfológico, foi utilizada a metodologia de Diniz et. al. (2017) como base para ajudar na identificação das áreas taxonômicas, o 3º táxon (Subunidades Morfoesculturais): que são um conjunto de relevos que se divide entre as unidades morfoestruturais em qualidade de modelos e texturas distintos. Para classificação dos táxons foi empregado o modelo de Jurandir Ross, no qual define o **1º táxon**: unidade morfoestrutural (bacia sedimentar, que define um determinado padrão de formas grandes do relevo); o **2º táxon**: são as unidades morfoestruturais, geradas pela ação climática ao longo do tempo geológico. O **4º táxon**: são os tipos de formas de relevo, dentre de cada Unidade de Padrão de Formas Semelhantes (Figura 1). O **3º táxon** foi tirado do manual técnico de geomorfologia (2009), que se refere à unidade geomorfológica (compartimento do relevo).

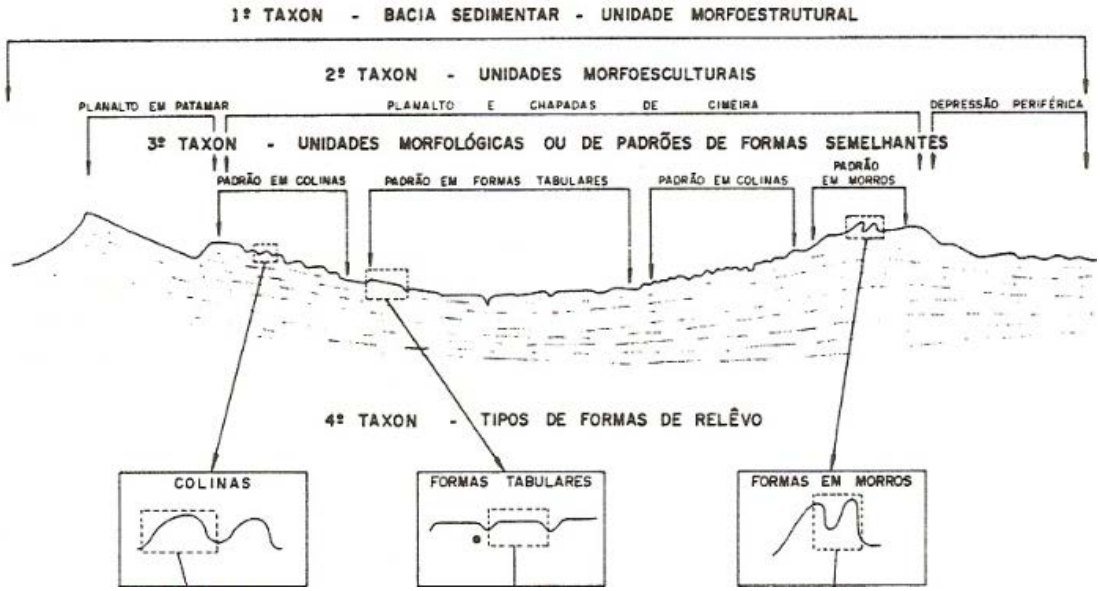


Figura 1: Hierarquia taxonômica. Fonte: Jurandir Ross, 1992, p. 22

O mapa de declividade foi elaborado a partir da metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995) que indicam **Nulo**: Onde geralmente ocorrem em solos de relevo quase plano (0 a 3%). **Ligeiro**: Geralmente possuem boas propriedades físicas, como declividade de 3 a 8%. **Moderado:** Seu relevo normalmente ondulado, com declividade de 8 a 13%. **Forte**: Ocorrem em relevo ondulado e forte ondulado, com declividade de 13 a 20%. **Muito Forte**: Ocorrem em relevos fortemente ondulados, com declividades entre 20 a 45%. **Extremamente forte**: com declividade superior a 45%.

Foi utilizado no mapa de orientações das vertentes o método de Biasi et. al. (1977) com oito faces traçados os eixos centrais que indicam a direção predominante (N, WN, W, SW, SE, E, NE), (Figura 2).

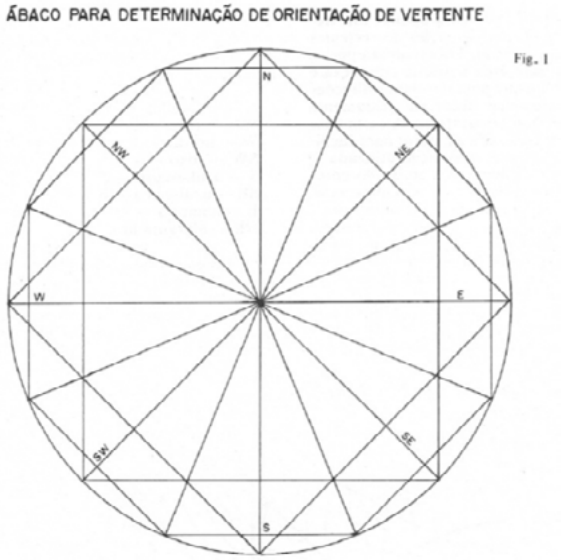


Figura 2: Método de orientações de vertentes de BIASI et. al. Fonte: DE ABASI at. al., 1977, p. 49.

No mapa de hipsometria, são usadas as *curvas de nível,* pois essas linhas imaginarias são conceituadas como uma área determinada, as quais unem pontos de mesma altitude, destinado a retratar no mapa o comportamento do terreno (FITZ, 2008) (Figura 3). Referindo-se à divisão das cores, foram utilizados tons de verdes para as áreas baixas e tons vermelhos para áreas de maior altitude.

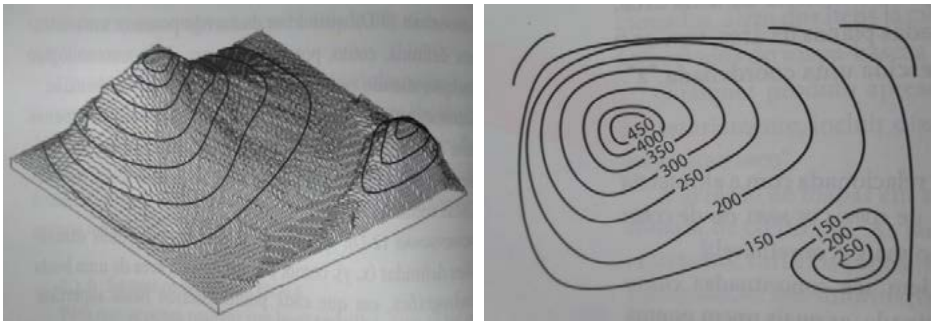


Figura 3: Representação das curvas de nível (isoípsas). Fonte: Cartografia básica, 2008, p.56.

Para o mapa de dissecação do relevo, foi utilizada a matriz da proposta alternativa 3 (Figura 4), feita pelo Guimarães et. al. (2017).



Figura 4: Perfis dos vales que representam cada classe de dissecação da matriz de Ross. Fonte: Guimarães et. al. (2017).

No intuito de delimitar a área de estudos, foi utilizada a malha municipal de 2018 disponibilizada no site do IBGE que serviu como base para o recorte do Modelo Digital de Elevação (MDE) Alos Palsar com resolução espacial de 12,5 m, adquirido no site da ASF Data Search. A partir deste foram extraídos parâmetros geomorfológicos como declividade, hipsometria e orientação das vertentes, que foram utilizados para auxiliar na identificação da geomorfologia da área.

Além destes foram utilizados dados provenientes do Topodata como a curvatura horizontal, curvatura vertical, forma do terreno, divisores e talvegues. Para identificar as propriedades litológicas as cartas utilizadas foram: Caicó (SB.24-Z-B-I), Catolé do Rocha (SB.24-Z-A-III), e Serra Negra do Norte (SB.24-Z-B-IV).

As diversas feições do relevo foram classificadas seguindo a proposta de Vasconcelos *et al.* (2019) e quanto às legendas específicas, as propostas foram adotadas segundo Ferreira (2010) e Vital (2011).

O mapa do Índice de Dissecação foi elaborado segundo Guimarães *et al.* (2017), onde é feito o tratamento do mesmo MDE utilizado para a extração dos parâmetros geomorfológicos supracitados, depois busca-se encontrar o grau de entalhamento dos vales, seguido da identificação da dimensão interfluvial média para cada bacia e como procedimento final é feita a soma destes dois produtos. Tendo como proposta utilizada para classificar o grau de dissecação foi utilizada a terceira proposta elaborada no trabalho supracitado.

3. Resultados e discussões

Para este mapeamento foi confeccionado quatro classes de mapas base que serviram como complemento e subsídios à realização do presente mapeamento geomorfológico. Deste modo, foram confeccionados os seguintes mapas: declividade, orientação azimutal das vertentes, hipsometria e índice de dissecação do relevo (Ross, 1992 e 1994), adaptado para este estudo de acordo com Guimarães et al (2017). Após a fase de pré-mapeamento, seguiu-se à confecção do mapa Geomorfológico do Município de São Bento, PB, na escala de 1:50.000, que consistiu no mapeamento das feições geomorfológicas e descrição das informações espacializadas acerca das Unidades Morfoestruturais, Morfoesculturais e Modelados (denudação e agradação) existentes na referida área mapeada.

O primeiro mapa (base) confeccionado para este mapeamento foi o de declividade do município de São Bento, na escala de 1:150.000, no qual foram utilizadas as classes de declividade do terreno, propostas pelos autores, Ramalho Filho & Beek (1995) como subsídios à classificação do percentual de inclinação da área de estudo. Nesta fase do mapeamento foram identificadas seis classes de declividade para o município de São Bento, sendo 46% do território identificado como plano; 34% como suave ondulado; 14% moderadamente ondulado; 4% ondulado; 1% forte ondulado; 1% escarpado. Correspondendo aos intervalos de 0 - 3 (Plano); 3 - 8 (suave ondulado); 8 - 13 (moderadamente ondulado); 13-20 (ondulado); 20 - 45 (forte ondulado\); >45 (escarpado) respectivamente. De acordo com esses resultados, infere-se que a área estudada é predominantemente plana, apenas com algumas exceções nos campos de Inselbergs, localizados na porção oeste do município de São Bento-PB. De acordo com Ramalho Filho & Beek (1995) a declividade é a variável morfométrica que mais contribui para a ocorrência dos processos erosivos nas vertentes, assim como diversos fatores condicionantes dos processos geomorfológicos estão relacionados com as variáveis morfométricas, como o grau de inclinação das encostas e a forma do terreno, que é definida a partir da associação dos tipos de curvaturas vertical e horizontal. (CARMO et al.; 2016)

Após a classificação da declividade do terreno, realizou-se a confecção do mapeamento de orientação das vertentes que, juntamente com a declividade, compõe a geometria de exposição da superfície do terreno em representações sob esquema de relevo. A orientação de vertentes (também chamada exposição ou direção) é definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente e é expressa em graus, de 0° a 360° (DPI-INPE). No presente mapeamento foram identificadas as classes de orientação azimutal das vertentes distribuídas entre 28% como plana; 10% voltadas para o Leste; 10% para Nordeste; 9%, voltadas para norte; 8% voltadas a noroeste; 8% voltadas para oeste; 9% voltadas para sudoeste; 9% voltadas para o sul e 9% para sudeste. Considera-se que o mapeamento de orientação de vertentes é importante para definir-se quais áreas são mais suscetíveis a fatores climáticos como chuvas orográficas e fatores erosivos como a erodibilidade do solo e movimentos gravitacionais de massa. Sendo comumente usados na agricultura, estudos topográficos dentre outros.

No que tange aos aspectos altimétricos da área de estudo, identificou-se no mapa de Hipsometria seis classes hipsométricas que correspondem as altitudes de 116 m a 446 m de elevação. Destas, 56,16% da área estudada correspondem a 116 - 150 m de elevação (relevo Plano); 35,79% do território correspondem de 150 - 190m de elevação; 6,18% do território correspondem às classes altimétricas de 190 a 225 metros; 1,16% corresponde a 225 - 260 metros de elevação; 0,32% equivale a 260 - 300 m; 0,23% equivale a 330 - 335 metros; 0,19% equivale a 335 - 370 m; 0,07 % equivale a 370 - 410 m e apenas 0,02% do território possui elevação que varia de 410 - 446 metros, correspondendo ao ponto mais elevado do Município de São Bento, no qual estão localizados os campos de inselbergs, a oeste do município.

Acerca dos resultados do mapa de dissecação do Relevo, proposto por Ross (1994) e adaptado para este estudo de acordo com Guimarães et al. (2017), obtivemos para este mapeamento, duas classes de dissecação do relevo para a área de estudo, efetuando os cálculos tomando por base as proposições de Ross (1994) e a proposta alternativa de automatização do índice de dissecação, conforme é proposto por Guimarães et al. (2017) De acordo com o referido autor (GUIMARÃES et al., 2017, p.162) "A dissecação do relevo é maior em áreas em que predominam vales encaixados e profundos, em forma de V com dimensão interfluvial pequena, caracterizadas por apresentarem altas declividades." Conforme o exposto, o mapeamento correspondeu bem aos resultados pretendidos, visto que as áreas mais dissecadas corresponderam às declividades mais acentuadas como pressupõe o referido trabalho, e as classes de baixa dissecação corresponderam justamente as áreas de baixa declividade (relevo Plano e pouco dissecado). Assim, foram identificadas duas classes de dissecação do relevo, de acordo com o índice de dissecação de Ross (1994) adaptado por Guimarães et. al (2017), sendo as classes de fraca dissecação e muito forte índices de dissecação do Relevo. A classe de baixa dissecação foi identificada em quase todo o território no município e na planície do rio Piranhas. Em contrapartida, a classe muito forte de dissecação correspondeu aos campos de inselbergs localizados na porção oeste do município, cuja declividade é bastante acentuada e excede o percentual de 45% (Figura 5).

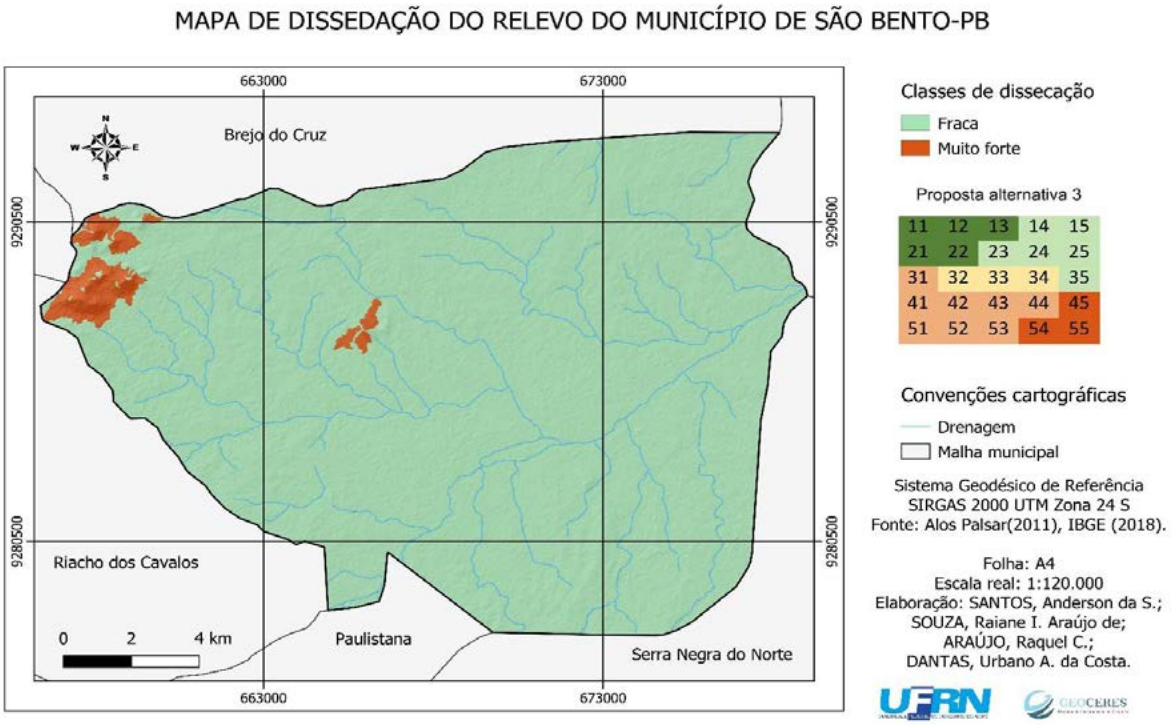


Figura 5: mapa de dissecação do relevo do município de São Bento. Fonte: os autores, 2021.

No tocante ao mapa Geomorfológico foram identificadas duas Unidades Morfoestruturais para o município estudado, destacando-se o Cinturão Orogênico Brasiliano e os Depósitos Sedimentares Quaternários, cujas idades remontam aos éons Proterozóico e Fanerozóico, respectivamente (aproximadamente 580 milhões de anos e 2,5 milhões de anos). Também foram identificadas duas Unidades Morfoesculturais, compartimentadas em duas subunidades, correspondentes ao Terceiro Táxon na classificação do relevo. O segundo táxon corresponde às unidades morfoesculturais que representam a atuação diferencial dos processos geomorfológicos na esculturação do relevo, compartimentadas numa mesma unidade morfoestrutural. (ROSS et al., 1996, 291-336)

Desse modo, para o presente estudo foram classificadas duas unidades Morfoesculturais que correspondem à Depressão Sertaneja e uma Planície Fluvial. As Morfoesculturas, também denominadas Regiões Geomorfológicas pelo IBGE (1995) referem-se às formas menores do relevo, diferentemente das Morfoestruturas, que se referem às formas particularmente grandes. (Figura 6)

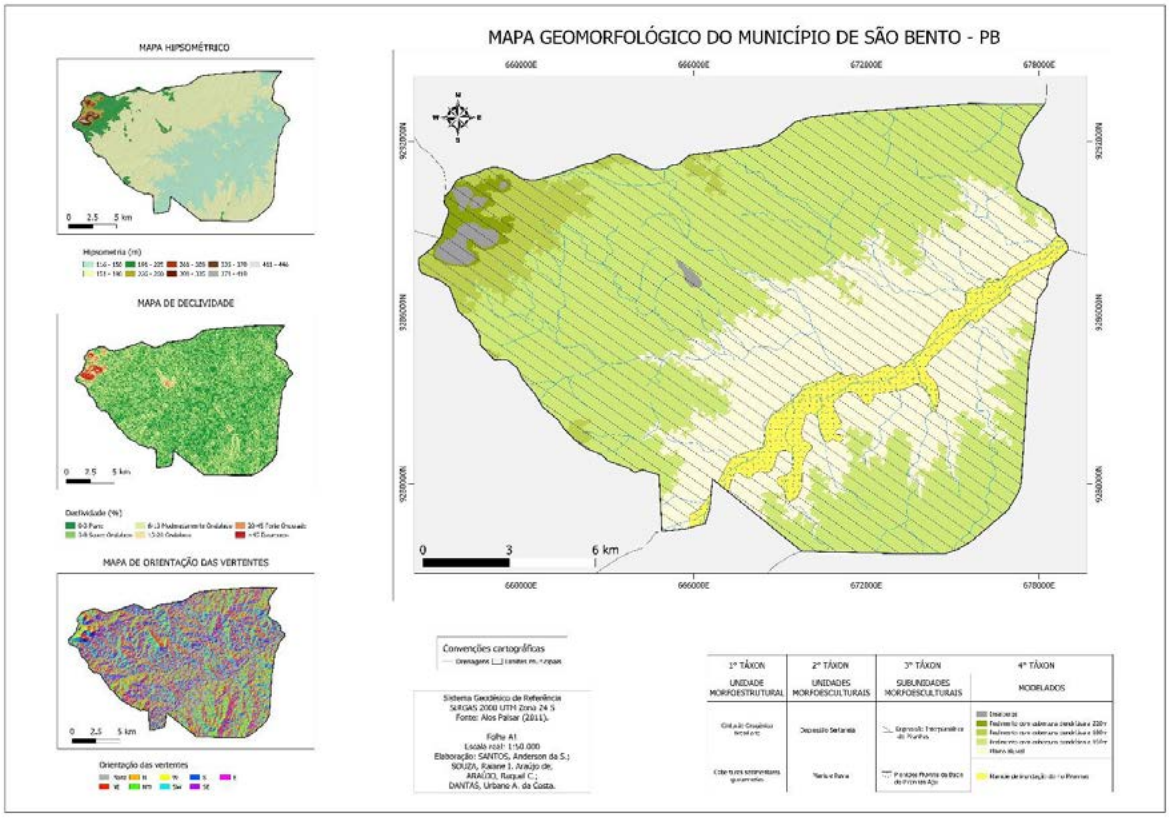


Figura 6: mapa geomorfológico do município de São Bento. Fonte: os autores.

O Terceiro Táxon representa as Unidades Morfológicas ou Padrões de Formas Semelhantes que, por sua vez, encontram-se contidas nas Unidades Morfoesculturais. Para este mapeamento, foram identificadas duas subunidades que correspondem à Depressão Interplanáltica do Piranhas e à Planície Fluvial da Bacia do Piranhas-Açu. Tratam-se de compartimentos diferenciados numa mesma unidade, relacionados a processos morfoclimáticos específicos. (MENEZES; NETO; TORRES, p. 296) Conforme Diniz et al. (2017) são conjuntos de relevos que se individualizam dentro das Unidades Morfoesculturais em virtude de modelados e texturas distintos. (DINIZ et al., 2017, p. 692)

No Quarto Táxon, que se refere às formas de relevo individualizadas nas unidades de padrão de formas semelhantes, identificou-se para este estudo os Modelados de denudação e agradação, que correspondem as seguintes feições: um campo de inselbergs na porção oeste do município, cujas cotas altimétricas superam os 400 metros de elevação; de declividade bastante acentuada (<45%); topos de formas convexas, aguçadas e encostas com paredões rochosos íngremes. Ocorrem pedimentos rochosos de cobertura detrítica a 220 metros, 190 metros e 150 metros, respectivamente, que fazem parte da paisagem de superfícies aplainadas e degradadas comumente encontradas em climas semiárido. Ressalta-se que estes terrenos são formados por rochas cristalinas (granitos, riolitos) com presença de descontinuidades (disjunções e fraturas). São áreas suscetíveis a ocorrência de deplacamentos, queda de blocos e movimentos de massa, principalmente quando associada a relevos íngremes (TORRES & SILVA, 2016, p. 77). Do mesmo modo, identificou-se os modelados de denudação como Plaino Aluvial

(nas bordas da Planície de Inundação do Piranhas) que conforme é explanado por Vasconcelos (2018) apud Guerra (1997) e Casseti (2005), correspondem à área de acumulação dos processos mais recentes de erosão, motivados pelo sistema fluvial e pela continuidade de deposição do material que é transportado para as cotas altimétricas mais baixas (por volta dos 200 m aos 250 m) O referido autor (Vasconcelos, 2018, apud Guerra e Cassetti, 1997; 2005) explica que o material existente nessa região é diferente dos pedimentos, pois se mostram arredondados ou ovalados, o que caracteriza o intenso transporte fluvial nessas áreas.

No tocante às formas de agradação e acumulação, identificou-se a ocorrência da Planície de Inundação do Rio Piranhas, compartimentada na unidade litoestratográfica dos Depósitos Aluvionares (Q2a) que segundo estudo da CPRM (2016), é formada por ambiente de planícies aluvionares recentes, apresentando material inconsolidado e de espessura variável. Da base para o topo, esses depósitos são formados por cascalho, areia e argila, onde são encontradas as seguintes formas de relevo predominantes: Planícies Fluviais ou Planícies Fluviolacustres. Essas Planícies tendem a serem ocupadas de maneira desordenada e sem o devido planejamento, deste modo algumas moradias de baixo padrão construtivo passam a ocupar as faixas marginais dos cursos d'água, o que acarreta eventos de enchentes e inundações nos períodos chuvosos e provocando diversos problemas sociais às populações que residem nessas áreas. É importante ressaltar que o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, em seu Relatório de Setorização de Riscos Geológicos - Paraíba, classificou dois setores considerados de alto grau de risco existentes na planície de inundação do Piranhas em São Bento, PB, principalmente em função da ocupação desordenada e irregular nas margens do Rio Piranhas e de seus tributários. De acordo com o estudo de suscetibilidade realizado pela CPRM, esses terrenos são formados por sedimentos inconsolidados a pouco consolidados que são depositados em meio aquoso ou eólico. Englobam áreas muito planas, vulneráveis à inundação e cheias sazonais que ocorrem nas planícies dos rios e seus tributários, o que as tornam áreas suscetíveis aos processos hidrológicos e de potencial para grandes espaços de atingimento desses eventos.

Considerando o que fora exposto, o presente estudo concluiu o mapeamento de quatro táxons do relevo para o referido município, considerando a taxonomia proposta por Ross (1994) e adaptada pelo Manual Técnico do IBGE (1995). Os mapas (bases) foram de suma importância na classificação da taxonomia do relevo, pretendida e subsidiaram as análises necessárias acerca das potencialidades ou fragilidades da área de estudo, bem como de sua suscetibilidade natural aos riscos geomorfológicos.

4. Considerações finais

Os dados alcançados nesta pesquisa resultaram na produção final de um mapa geomorfológico com a utilização do Software de Geoprocessamento Qgis 3.10 "A Coruña" que é uma ferramenta digital de processamento da informação geográfica e faz parte de um "conjunto de Softwares desenvolvidos e voltados para a manipulação e análise de dados espaciais", com o objetivo de evidenciar a integração entre todos os componentes da paisagem, com base em seus elementos que discorre da forma do relevo, sua dinâmica e gênese.

Considerando o que fora exposto, o presente estudo sistematizou o mapeamento de quatro táxons do relevo para o referido município, considerando a taxonomia proposta por Ross (1994) e adaptada pelo Manual Técnico do IBGE (1995). Os mapas (bases) foram de suma importância na classificação da taxonomia do relevo e subsidiaram as análises necessárias acerca das potencialidades ou fragilidades da área de estudo, bem como sua suscetibilidade natural aos riscos geomorfológicos. Este estudo possibilitou a compreensão das representações nos diferentes

espaços geográficos do município de São Bento - PB e dos fenômenos atuantes nos diferentes recortes paisagísticos, bem como da sua fragilidade ambiental no tocante aos riscos geológicos-geomorfológicos que resultam na ocorrência de movimentos gravitacionais de massa como enchentes e inundações no referido município. Acerca desses eventos, ressalta-se que a suscetibilidade natural da área, associada aos fatores antrópicos, tais como a ocupação desordenada das planícies aluvionares, as tornam potenciais áreas de risco de eventos hidrológicos de grande magnitude. Deve-se destacar que essas áreas já comportam condições físicas que propiciam a ocorrência desses eventos, mas é a ocupação humana, má planejada e desordenada que acentuam os graus de Risco dessas áreas e as tornam mais suscetíveis durante as cheias, quando as águas transbordam do canal de escoamento, ocasionando eventos hidrológicos com potenciais danos às populações que residem nas faixas marginais dos leitos fluviais.

Portanto, neste estudo é notório a importância da utilização das geotecnologias, como o Software Qgis 3.10 para com os estudos geomorfológicos e análises morfométricas do relevo, através das representações cartográficas, a leitura e compreensão dos produtos confeccionados e as dinâmicas dos processos morfogenéticos. Contudo, os resultados obtidos para este trabalho fundamentam a importância do mapeamento geomorfológico, que está em consonância com diversas áreas do conhecimento tais como: geologia; geomorfologia; pedologia; uso do solo, análise do relevo, e que pode ser fundamental para os estudos que visam definir a vulnerabilidade do meio ambiente, do uso e da ocupação do solo; das áreas de risco inundáveis; terraços fluviais e processos erosivos. Do mesmo modo, a sistematização do mapeamento geomorfológico pode ser útil também para fins didáticos em sala de aula, para que os alunos possam ter uma melhor compreensão da dinâmica do relevo, como também para que os mesmos possam construir suas conceituações e assimilar o conteúdo na construção do conhecimento e nas suas experimentações do espaço geográfico no cotidiano das cidades.

Referências

ARAÚJO, J. Z.; VITAL, S. R. O. ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO COMO SUPORTE AO MAPEAMENTO DOS RISCOS GEOMORFOLÓGICOS DO MUNICÍPIO DE CAICÓ (RN). **REVISTA DE GEOGRAFIA (RECIFE)**, v. 37, p. 68-84, 2020.

CARMO, A. M. *et al.* AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTOS DE MASSA, UTILIZANDO AS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS, PARA AS SERRAS DA PORÇÃO SUL DO MACIÇO CENTRAL DO CEARÁ. **Revista Brasileira de Cartografia** (2016), Nº 68/9, Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos: 1787-1804 Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Fortaleza, Ceará, ano out/2016, ed. N o 68/9, p. 1787-1804, 22 abr. 2016.

DE BIASI, M. *et al.* **Cartas de orientação de vertentes: confecção e utilização**. São Paulo, Universidade, Instituto de Geografia. 1977. 12p. (Cartografia, 4).

DINIZ, M. T. M. et. al. Mapeamento geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v. 18, n. 4, p. 689-701, out./dez. 2017.

DPI-INPE. **Grupo de modelagem para Estudos da Biodiversidade dpi.inpe.br/Ambdata**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/exposicao_orientacao.php. Acesso em: 1 maio. 2021.

FERREIRA, B. A região semiárida nordestina: utilização dos dados SRTM para mapeamento geomorfológico de parte dos municípios de Jatobá Petrolândia e Tacaratu, Submédio São Francisco, PE. **Revista Ciência e Natura**, UFSM, n. 32, p. 143-158, 2010.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008

GUERRA, A. T. 1972. *Dicionário Geológico-Geomorfológico*. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia.

GUIMARÃES, F. S. at. al. Uma proposta para a automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v. 18, n. 1, p. 155-167, jan./mar. 2017.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Geomorfologia**: Manuais técnicos em geociências. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009. 182 p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5).

Menezes, Sebastiao De Oliveira; Neto, Roberto Marques; Torres, Filipe Tamiozzo Prreira. **Introdução à Geomorfologia**, f. 168. 336 p.

OLIVEIRA, M. Carlos. Construção de uma carta para determinação de vertentes. **Rev. IG**. São Paulo. V. 5, n. 1-2, p. 47-50, jan./dez. 1984

Paulo Roberto Medeiros Vasconcelos. **CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA FOLHA JARDIM DO SERIDÓ (SB.24-Z-B-V), NORDESTE DO BRASIL**. Caicó, RN, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Caicó, RN, 2018. Disponível em: https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/6698/1/CaracterizacaoGeomorfologica_Vasconcelos_2018. Acesso em: 01 mai. 2021.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

ROSS, J. L. Sanches. O registrado cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Rev. do Depto. Geografia**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 17-29, 1992.

ROSS, J.L.S. (1996) In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 291-336. **Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs**.

Ross, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** Editora Contexto, f. 43, 1989. 85 p.

SANTOS, A. D.; VITAL, S. R. O**.** Riscos Geomorfológicos no Município de Caicó (RN). **REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA**, v. 13, p. 434-448, 2020.

SOBRINHO, J. M. G.; VITAL, S. R. O; SOUZA, S. F.; SANTOS, C. L. ÍNDICE DE TRANSFORMAÇÃO ANTRÓPICA (ITA) COMO SUPORTE PARA ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DA PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE JARDIM DE PIRANHAS/RN. **OKARA: GEOGRAFIA EM DEBATE (UFPB)**, v. 13, p. 338-363, 2019.

SORIANO; ROMÁN; OROZCO, Daniel García, Adolfo Quesada, José Juan Zamorano. Geomorphological hazards susceptibility in high-density urban areas: A case study of Mexico City. **Journal of South American Earth Sciences.** Publicado pela Elsevier, Ltda, v. 102, 2020. ISSN 0895-9811.

TORRES, Fernanda Soares de Miranda; SILVA, Edlene Pereira da. **Geodiversidade da Paraíba**: Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Recife: CPRM, 2016. 124 p.

VASCONCELOS, Paulo Roberto Medeiros. **Caracterização geomorfológica da Folha Jardim do Seridó (SB. 24-ZBV), Nordeste do Brasil**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

VASCONCELOS, P. R. M.; OLIVEIRA, G. P.; SANTOS, C. L.; DINIZ, M. T. M.; VITAL, S. R. O**.** Caracterização Geomorfológica da Carta Jardim do Seridó (SB.24-Z-B-V), Nordeste do Brasil. **CADERNO DE GEOGRAFIA**, v. 29, p. 1182-1200, 2019.

VITAL, S. R. O; GIRAO, O. Análise da suscetibilidade da paisagem à erosão na bacia do alto curso do rio Taperoá (PB). **OKARA: GEOGRAFIA EM DEBATE (UFPB)**, v. 9, p. 4-45, 2015

VITAL, S. R. O. **Sensibilidade paisagística e grau de instabilidade:** um estudo da dinâmica geomorfológica em área com risco de erosão no alto curso da sub-bacia do rio Taperoá, estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA

Kallyne Teixeira Santos
Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro dos Martins, Maceió, Alagoas - 57072970
E-mail:kallyne.santos@igdema.ufal.br
Laís Susana de Souza Gois
Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro dos Martins, Maceió, Alagoas - 57072970
E-mail: lais.gois@ufpe.br
João Paulo da Hora Nascimento
Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro dos Martins, Maceió, Alagoas - 57072970
E-mail: joao.hora@ufpe.br
Kleython de Araújo Monteiro
Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro dos Martins, Maceió, Alagoas - 57072970
E-mail: kleython.monteiro@igdema.ufal.br

Resumo

O estudo da paisagem auxilia tanto o âmbito científico quanto a gestão de recursos naturais. Nesse sentido, este trabalho busca compreender e delimitar a dinâmica das unidades geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema, localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas. Assim, o mapeamento foi realizado por meio da metodologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística norteada pela proposta da União Geográfica Internacional. Dessa forma, foram identificadas as feições morfoestruturais: Planalto Cristalino, Planalto Sedimentar e Depressão do Ipanema e em relação às unidades morfoesculturais, foram definidas nas unidades Cristalinas as Encostas Dissecadas, Topos Conservados e Dissecados; nas feições sedimentares estão as Encostas Conservadas e os Topos Conversados; Na Depressão do Ipanema verificam-se os Pedimentos, Maciços Residuais, Inselbergues, Crista Simétrica e Vale em Garganta.

Palavras-chave: Paisagem; Unidades Geomorfológicas; Cartografia de Relevo.

1. Introdução

A análise do sistema geomorfológico de interações dos materiais, formas e processos ao decorrer do tempo geológico, ajuda a caracterizar a paisagem morfológica atual, possibilitando criação ou arrasamento do relevo (CHRISTOFOLETTI, 1980). A estrutura geológica, de origem tectônica, de acordo com Bigarella (2003) pode ser de dois tipos, sendo a ativa que age na paisagem atual e a passiva de origem antiga relacionada a erosão diferencial. Assim, a Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema (BHRI) está em uma área de controle estrutural passivo que é influenciado por movimentos antigos tectônicos e ações climáticas.

Nesse sentido, esses fatores levam à divisão das formas, como as morfoestruturas e morfoesculturas. As feições morfoestruturais representam, em geral, as formas maiores de relevo, tratadas em escala regional, possuindo hierarquização das formas. Entretanto podemos estabelecer que ocorrem as megamorfoestruturas, em contexto regional de primeira grandeza e micromorfoestruturas, de menor ordem em quadro local (CORRÊA et al., 2010). Já as feições morfoesculturais, tem hierarquização mais diversificada, condicionadas por fatores exógenos (IBGE, 2009).

Assim, o estudo das formas geomorfológicas atua como contribuinte para análise da paisagem, proporcionando compreender o contexto regional das feições de relevo e contribuir para ciência aplicada na gestão de recursos naturais. Desta forma, o objetivo dessa pesquisa é realizar o mapeamento geomorfológico na BHRI com finalidade de entender o processo das formas do relevo para contribuir à análise da paisagem.

2. Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Ipanema ocupa os limites territoriais dos estados de Pernambuco e Alagoas, fazendo divisa norte e sul com os estados de Paraíba e Sergipe (figura 1). A maior parte da bacia se localiza no estado pernambucano e entre as dezesseis bacias hidrográficas alagoanas é a mais extensa, possuindo área de 6.209,67 km² aproximadamente e 134 km desde a nascente até sua foz.

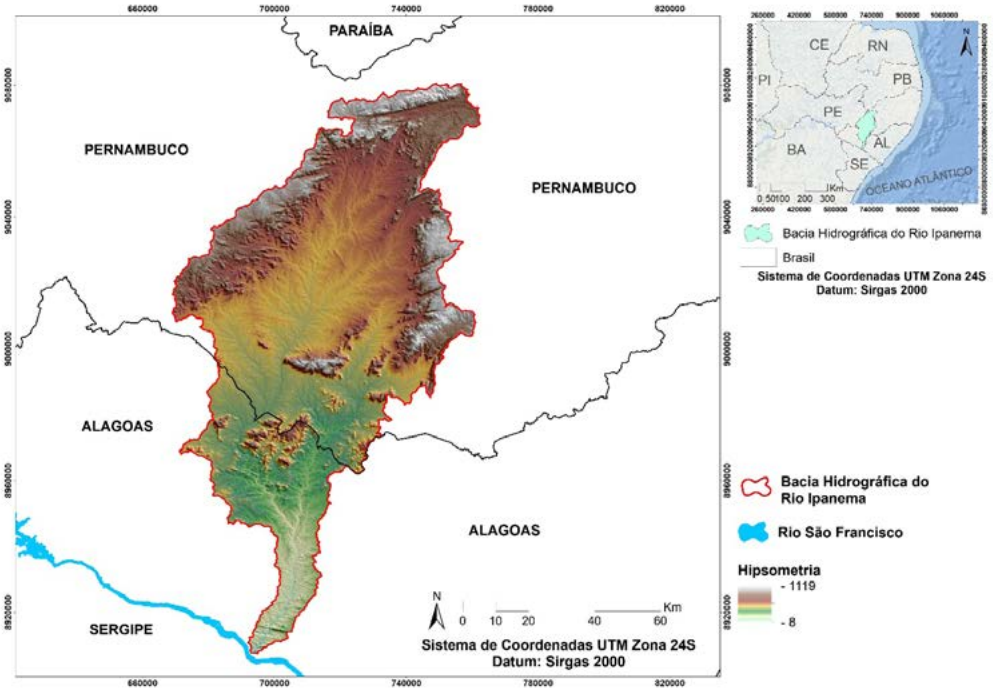


Figura 1: Mapa de localização da BHRI
Fonte: Os autores

Na porção setentrional, possui geologia (figura 2) predominante de rochas metamórficas, como ortognaisse tonalítico e biotita gnaisse na unidade Belém do São Francisco (PP2bf), nas rochas ígneas domina o álcali-feldspato granito no Batólito de caruaru - Arcoverde (NP3y2it37), já nas variações de rochas metamórficas e ígneas destaca-se o metagranitóide da formação Leucocrática peraluminosa (MNyal). Já em sua porção meridional a rocha metamórfica predominante é a biotita xisto da unidade Araticum (NP2a) e na rocha ígnea tem-se o quartzo-sienito do Plúton Serra do Catu (NP3y3sc1).

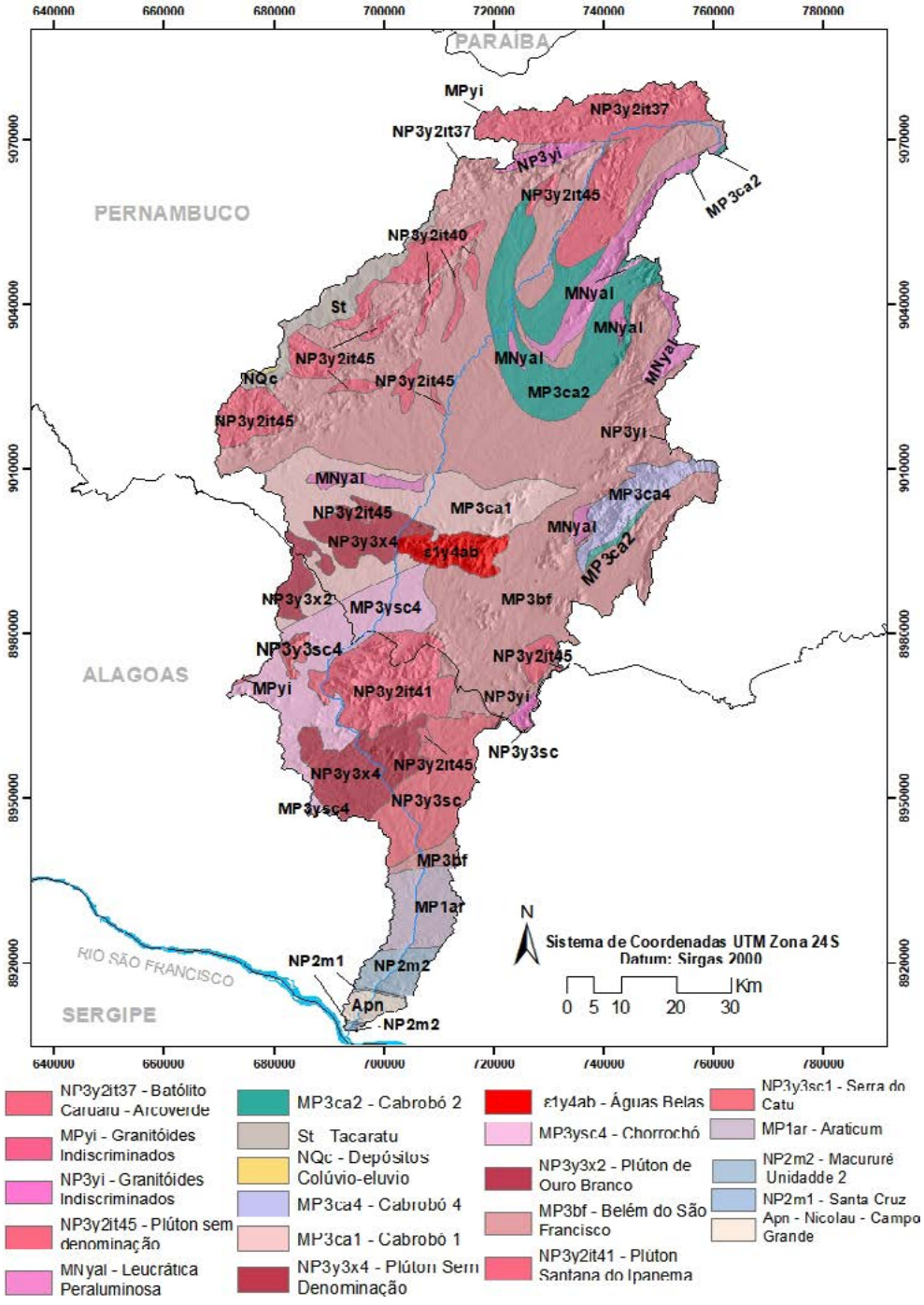


Figura 2: Geologia da BHRI
Fonte: Adaptado de Kosin et al., (2004).

De acordo com Ferreira et. al (2014) a bacia hidrográfica do Rio Ipanema se encontra em dois domínios geomorfológicos, o Planalto da Borborema e a Depressão do Baixo Rio São Francisco. Segundo a compartimentação do Planalto da Borborema de Corrêa et al (2010), o Rio Ipanema nasce ao Sul desta megaestrutura, no compartimento da Depressão Intraplanáltica do Ipanema, município de Pesqueira, especificamente na Serra de Ororubá, e drena até desaguar no Rio São Francisco que, quilômetros depois, se encontra com o oceano Atlântico no município de Piaçabuçu-AL. Em sua porção Setentrional também se situa o Maciço Remobilizado do Domínio Pernambuco-Alagoas. A BHRI tem seu principal tributário o Rio de Cordeiro e os afluentes com mais destaques são Riacho do Mororó, Rio Topera, Rio dos Bois e Rio Dois Riacho.

3. Metodologia

A pesquisa iniciou com a base bibliográfica acerca de trabalhos de temática geo-morfo-estrutural referente à área de estudo. Posteriormente, tratou da análise da metodologia a nível internacional da União Geográfica Internacional – UGI (Demek, 1972) e com revisão das metodologias nacionais como a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O método adotado no trabalho foi a do IBGE (2009), norteada em Demek (1972).

O mapeamento geomorfológico tratado pelo IBGE (2009) determina cinco (5) grupos taxonômicos para classificação do relevo. O primeiro grupo sendo os Domínios Morfoestruturais que são aplicados em escala regional e definido por meio do arcabouço geológico, assim, o Brasil possui quatro domínios: Depósitos Sedimentares Quaternários, Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas, Cinturões Móveis Neoproterozóicos e Crátons Neoproterozóicos. No segundo grupo, as Regiões Geomorfológicas, tendo os conjuntos lito-morfoestruturais, junto ao clima passado e atual definindo agrupamento de feições como o Planalto da Borborema. No terceiro grupo estão as Unidades Geomorfológicas, classificadas por cotas altimétricas, elementos litológicos e estruturais e fatores paleoclimáticos tendo os compartimentos do relevo identificados por meio de depressões, planícies, tabuleiros, planaltos, etc. O quarto grupo são os Modelados, divididos em quatro parâmetros, sendo acumulação, aplainamento, dissolução e dissecação. Por fim, as Formas de Relevos que são representadas por simbologia pontual ou linear.

Posteriormente à revisão da metodologia, foi gerado um Modelo Digital do terreno (MDT) usando as cartas SC-24-X-B e SC-24-X-D disponíveis no Sítio Eletrônico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Os dados topográficos do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) têm escala de 1:250.000 a 1:100.000. Nesse sentido, é possível manipular os dados gerando subprodutos como altimetria, direção de fluxo e vertente e delimitação das bacias em estudos no ambiente GIS (*Geographic Information System*). Ademais, foi trabalhada a geologia por meio da Folha Aracaju SC-24 (KOSIN et al., 2004) para começar a observação da morfoestrutura.

Assim, a análise das unidades morfoestruturais da BHRI foi realizada com a geologia, associando os litotipos de rochas, perfis geomorfológicos e diferentes cotas de altimetria para determinar as feições, como propõe Demek (1972). Após estabelecer as morfoestruturas, partiu-se para a análise dos compartimentos morfoesculturais de conjunto morfológico, que permite maior detalhamento da área de estudo. Dessa forma, para auxiliar a determinar a disseção das feições das morfoesculturas, foram aplicados os **índices** morfométricos de Declividade do relevo, que tem seus intervalos definidos com as considerações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (DOS SANTOS , et al., 2018), e o **Índice de Concentração de Rugosidade - I**CR que foi extraído de acordo com a proposta de Sampaio e Agustin (2014).

A declividade foi gerada em ambiente GIS por meio da ferramenta *slope* em porcentagem e posteriormente foram definidos os intervalos de classe de relevo 0 – 3% plano, 3 – 8 % suave ondulado, 8 – 20% ondulado, 20 – 45% forte ondulado, 45 - 70% montanhoso e >75% escarpado. Posteriormente, foi desenvolvido o ICR, utilizando a declividade como atributo que **é** transformada em *shapefile* de pontos para ser aplicado a função Kernel, tendo a análise de cada ponto identificado com raio de Kernel. Nesta pesquisa foi aplicada a escala local (564 m de raio ou 1 Km ²) para maior detalhamento da área de estudo, observando os resultados na variação de 0 a ∞ e quando maior for o ICR, mais dissecação possui o relevo.

4. Resultados e discussões

A bacia hidrográfica do Rio Ipanema apresenta três morfoestruturas, sendo elas o Planalto Cristalino, o Planalto Sedimentar e a Depressão do Ipanema (Figura 3).

O Planalto Cristalino corresponde ao Planalto da Borborema, encontrando-se no compartimento da Depressão Intraplanáltica do Ipanema, onde destaca-se a dissecação epigênica e no Maciço Remobilizado do Domínio Pernambuco-Alagoas (CORRÊA et al., 2010). Tendo cota máxima de 1000m e mínima de 550m, com geologia característica marcada por rochas proterozóicas ígneas e metamórficas de caráter regional, do mesmo período.

O Planalto Sedimentar refere-se à bacia do Recôncavo-Tucano-Jatobá, especificamente na unidade Tacaratu que faz divisa com a compartimentação Maciço Remobilizado do Domínio Pernambuco-Alagoas, possuindo características metassedimentares (CORRÊA et al., 2010). Suas rochas são fanerozóicas, estruturadas em arenito e conglomerado. Apresenta a cota de 1000m à 750m. O Planalto está no extremo norte da bacia e é relacionado à soerguimentos recentes pós-Gondwana (MAIA E BEZERRA, 2014).

A Depressão do Ipanema possui cota mínima de 50 e máxima de 550m. Apresenta metamorfismo regional que engloba maior parte da área, ocorrendo também rochas ígneas. Os litotipos principais são ortognaisse tonalítico, migmatito, metadiorito, quartzo sienito, quartzo monzonito, leucogranito. Ademais, as rochas apresentam diferentes resistências, formando os relevos residuais nessa unidade morfoestrutural (BIGARELLA et. Al 2003).

A depressão do Ipanema apresenta um conjunto de relevos residuais na porção central da bacia hidrográfica, sendo dez maciços e duas cristas. Essas formas provocam uma drenagem superimposta em seu rio principal e atuam também como interflúvios.

Nesse sentido, os relevos residuais 1 e 2 (figura 3) são interflúvios do rio principal com outras sub-bacias do Ipanema, e estão dentro do compartimento Depressão Intraplanáltica do Ipanema (CORRÊA et al., 2010), o primeiro está na unidade Cabrobó 1 apresentando litotipos de gnaisses e cota máxima cota máxima de 700m e mínima de 450m; já o segundo corresponde à unidade Águas Belas, sendo a maior forma residual com cota máxima próxima a do Planalto Cristalino, com máxima de 920m e mínima de 500m, formado por rochas graníticas.

Os relevos residuais 4, 5, 7 e 8 são mais rebaixados e possuem geologia diversificada em seus litotipos, indo de rochas ígneas em granito, diorito e sienito à metamórficas em gnaisse e ortognaisse tonalítico. O relevo residual 6 se estabelece em rocha ígnea (diorito) se destacando por ser da unidade Plúton Santana do Ipanema e provocar superimposição do rio principal. Por fim, a unidade 9 são duas cristas em quartizito próximas a foz, cortadas pelo canal

principal. Estas últimas são caracterizadas por apresentar, no setor de superimposição, a feição em garganta.

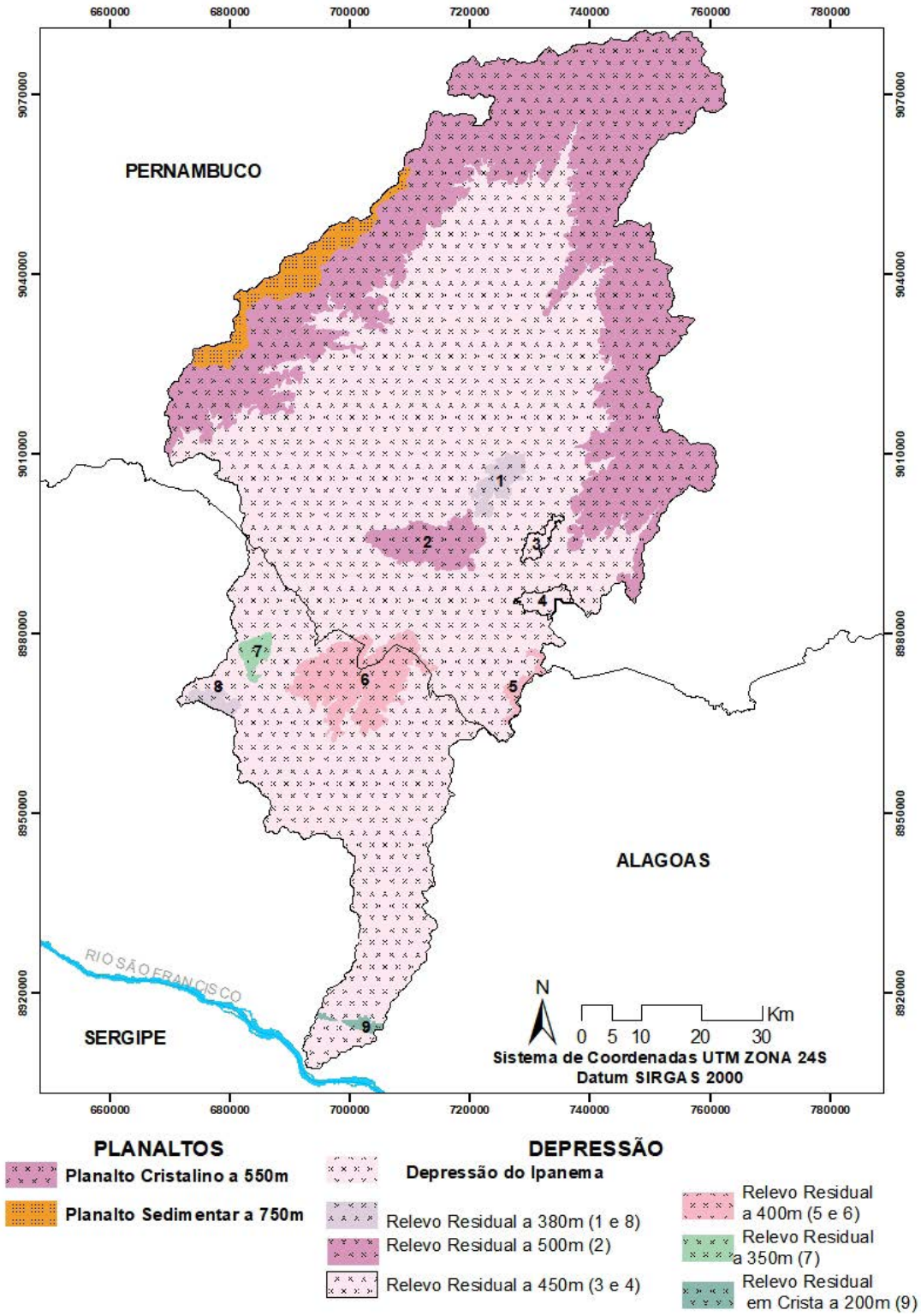


Figura 3: Mapa Morfoestrutural da BHRI
Fonte: Os autores.

Os índices morfométricos de declividade e o de concentração de rugosidade gerado na BHRI (figura 4) auxiliaram maior detalhamentos do mapeamento, possibilitando definir a dissecação das unidades morfoesculturais. Assim, os resultados obtidos de ambos índices são semelhantes, as áreas de maior declividade apresentam também alto teor de dissecação localização nos setores de maior altitude. O compartimento da Depressão Intraplanáltica do Ipanema apresenta maior setor conservado, enquanto nas proximidades dos setores à jusante se encontra dissecado.

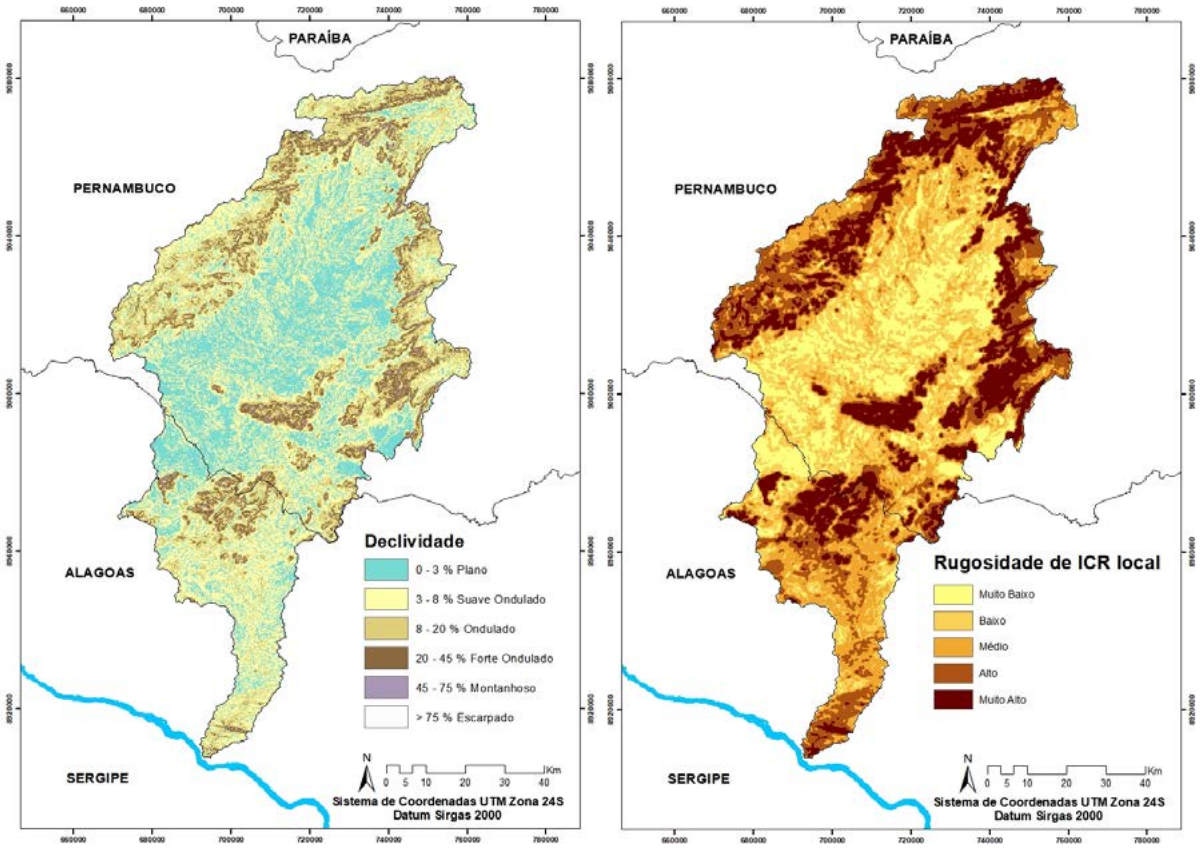


Figura 4: Mapas de Concentração de Rugosidade e Declividade da BHRI
Fonte: Os autores.

As unidades morfoesculturais são feições mais recentes e modeladas a partir da interação entre estrutura e clima. Assim, a BHRI tem dez (10) feições esculturais (figura 5).

As morfoesculturas na unidade de Planaltos foram divididas em cristalinas e sedimentares. Para as feições cristalinas na BHRI, definiu-se as Encostas Dissecadas e os Topos Conservados com cota máxima de 880m e mínima de 640m e os Topos Dissecados variando entre 1000m e 750m. Nas feições em estruturas sedimentares estão as Encostas Conservadas e os Topos Conservados com média de 850m à 700m.

A Depressão do Ipanema possui seis feições. Um Pedimento Conservado com a quebra de patamar em 300m e outro dissecado até sua foz. Maciços Residuais superiores a 350m, apresentando feições de Inselbergues, ocorrendo predominantemente nas margens do Planalto da Borborema, ao centro próximo aos maciços com topos aguçados e ao sul em resíduos de crista, possuindo cotas máxima de 600m e mínima de 180m. Por fim, próximo a desembocadura, tem uma Crista Simétrica em quartizito superior a 200m e um Vale em Garganta.

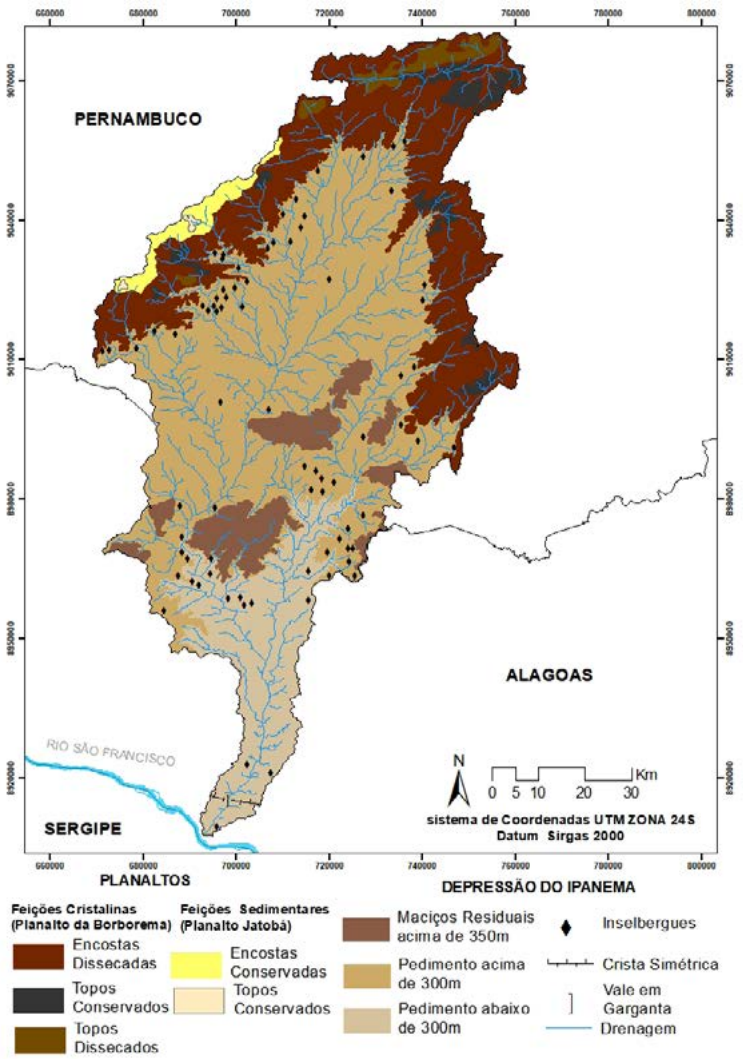


Figura 5: Mapa de Unidades Morfoesculturais da BHRI
Fonte: Os autores.

5. Considerações Finais

O mapeamento geomorfológico tem contribuído para a análise dinâmica da paisagem. Dessa forma, a metodologia apresentou bons resultados, visto que possibilitou compreender as unidades geomorfológicas. Foram identificadas na BHRI as unidades morfoestruturais do Planalto Cristalino, Planalto Sedimentar e Depressão do Ipanema. As morfoesculturas na BHRI, encontradas no Planalto Cristalino são Encostas Dissecadas, Topos Conservados e Topos Dissecados; No Planalto Sedimentar estão as Encostas Conservadas e os Topos Conversados; e na Depressão do Ipanema verificam-se os Pedimentos, Maciços Residuais, Inselbergues, Crista Simétrica e Vale em Garganta.

Assim, a cartografia geomorfológica na área de estudo se apresenta de forma sistematizada, buscando atuar de forma significativa como auxiliar para entender o modelado da paisagem regional. De maneira que, também, contribui para gestão de recursos naturais com planejamentos socioambientais e modelos preditivos dos mais diversos aspectos das ações da sociedade.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica.

Referências

BIGARELLA, J.J. *et al.* **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Volume 3. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2° ed. São Paulo: Editora Edgar Blücher. 1980.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia E Morfoestrutura Do Planalto Da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v.31, n 1-2, p.35-52, 2010.

DEMEK J. (ed). **Manual of detailed geomorphological mapping.** Praga, IGU, Comm Geomorph**.** Surv. Mapping, 1972.

DOS SANTOS, Humberto Gonçalves *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5º ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Relevo Brasil**. Disponível em:< https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/ >. Acesso em 10 de junho de 2021.

FERREIRA, Rogério Valença *et al.* Origem das paisagens. **Geodiversidade do estado de Pernambuco. CPRM, Recife**, p. 51-71, 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Gerência de Biblioteca e Acervos Especiais, 2009.

KOSIN *et al.* 2004. **Folha Aracaju SC.24**. In: Schobbenhaus *et al.* (eds). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informação Geográficas Programa Geologia do Brasil, CPRM, Brasília.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. HR. Condicionamento estrutural do relevo no Nordeste setentrional brasileiro. **Mercator**, v. 13, n. 1, p. 127-141, 2014.

SAMPAIO, T. V. M; AUGUSTIN, C. H. R. R. **Índice de Concentração da Rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.15, n.1, (Jan-Mar) p.47-60, 2014.

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO MÉDIO E BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORURIPE, ALAGOAS

Jardel Estevam Barbosa dos Santos
Universidade Federal de Alagoas
Av. Lourival Melo Mota, Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, 57072-900
E-mail: jardelestevam@gmail.com
Kleython de Araújo Monteiro
Universidade Federal de Alagoas
Av. Lourival Melo Mota, Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, 57072-900
E-mail: kleython.monteiro@igdema.ufal.br
Melchior Carlos do Nascimento
Universidade Federal de Alagoas
Av. Lourival Melo Mota, Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, 57072-900
E-mail: melchior.nascimento@igdema.ufal.br

Resumo

A cartografia geomorfológica é uma importante ferramenta para o estudo das estruturas e dos processos que atuam na superfície terrestre, sobretudo aqueles que possuem origens tectônica, climática e/ou por ação humana. Desta maneira, a fim de compreender os processos que estruturam a superfície do médio e baixo curso da bacia do rio Coruripe, o presente trabalho teve o objetivo de mapear as unidades morfoestruturais e morfoesculturais da referida área a partir de parâmetros morfométricos. Foram utilizados dados de elevação na geração dos mapas de declividades e o índice de concentração de rugosidade, úteis para a produção dos perfis topográficos. Constatou-se que a área analisada possui baixos valores de ICR associados ao relevo plano, sendo encontradas as unidades do planalto sedimentar costeiro e das planícies indiferenciadas.

Palavras-chave: Morfometria; Geoprocessamento; Compartimentação geomorfológica.

1. Introdução

A ciência geomorfológica tem como objetivo o estudo das formas e dos processos responsáveis pela elaboração do relevo terrestre. Assim, o mapeamento geomorfológico consiste em uma ferramenta importante para o estudo das estruturas e dos processos atuantes na superfície terrestre ao longo do tempo, sejam estes de origem tectônica, climática e/ou por ação antrópica.

Cunha *et al.* (2003) confirmam que a cartografia geomorfológica é um instrumental importante para análise da paisagem, visto que as representações gráficas e espaciais do modelado terrestre objetivam reconhecer e interpretar os fenômenos associados a sua gênese e suas relações com os aspectos estruturais e climáticos.

Assim, o mapeamento geomorfológico é um dos produtos mais eficiente para o estudo da paisagem, visto que é possível representar a fisiografia e a dinâmica das formas de relevo em um determinado espaço. Este recurso cartográfico pode ser aplicado em distintas situações, principalmente quando é necessário informações sobre a distribuição das formas de relevo, solos, estruturas geológicas e/ou processos superficiais (LIMA, 2014).

De acordo com Amorim *et al.*, (2015), o trabalho de cartografar a geomorfologia de um lugar deve ser amparado em critérios de representação gráfica bem definidos, objetivando otimizar e facilitar a interpretação dos fenômenos geomorfológicos. Sendo assim, o advento da tecnologia trouxe importante ganho para a ciência geomorfológica viabilizando a representação de tais fenômenos.

Dessa forma, a ciência geográfica amparada pelas geotecnologias otimiza e acelera o processo de mapeamento. Essas tecnologias possibilitam a aglutinação de diferentes fontes de dados como fotografias áreas, imagens de satélite, modelos digitais de elevação, entre outros. Diante dessa premissa, como Christofoletti (1999) pontua que a crescente demanda por estudos de análise ambiental fez com que os processos realizados para a modelagem espacial ganhassem destaque com as novas tecnologias, tornando-se fundamental no âmbito da Geografia.

Neste sentido, o presente estudo tem como finalidade principal mapear as unidades morfoestruturais e morfoesculturais do entorno do médio e baixo curso da bacia do rio Coruripe. Para tanto, adotou-se a metodologia proposta de Demek e Embleton (1978), haja vista que o rio Coruripe está entre os grandes cursos d'água com nascentes no Planalto da Borborema que drenam para a faixada atlântica no Estado de Alagoas, sendo sua dimensão superada apenas pelos rios Mundaú e Paraíba do Meio.

2. Materiais e Métodos

2.1 Caracterização da área

A bacia hidrográfica do rio Coruripe tem suas nascentes no macrodromo da Borborema, no compartimento denominado por Corrêa *et al.* (2010) de Cimeira Estrutural Pernambuco-Alagoas e seu nível de base é o Oceano Atlântico. A área de estudo refere-se ao entorno médio e baixo curso da referida bacia abrangendo os municípios de Coruripe, Teotônio Vilela, Junqueiro que contém esse setor da bacia (Figura 1). O acesso rodoviário a área se faz a partir da capital Maceió através das rodovias BR-101 e AL-101.

Geologicamente, na área predominam-se coberturas sedimentares associadas à Formação Barreiras, que ocorre em toda área litorânea de Alagoas capeando tanto as rochas do embasamento cristalino, quanto às formações sedimentares da Bacia Sergipe-Alagoas (Figura 2). Essa formação apresenta características de sedimentos terrígenos muito lateritizados com coloração avermelhada, constituindo-se por arenitos inconsolidados com intercalações de siltito, argilito e níveis de caulinita, apresentando granulometria grossa a conglomerática com matriz argilosa (MENDES, 2017).

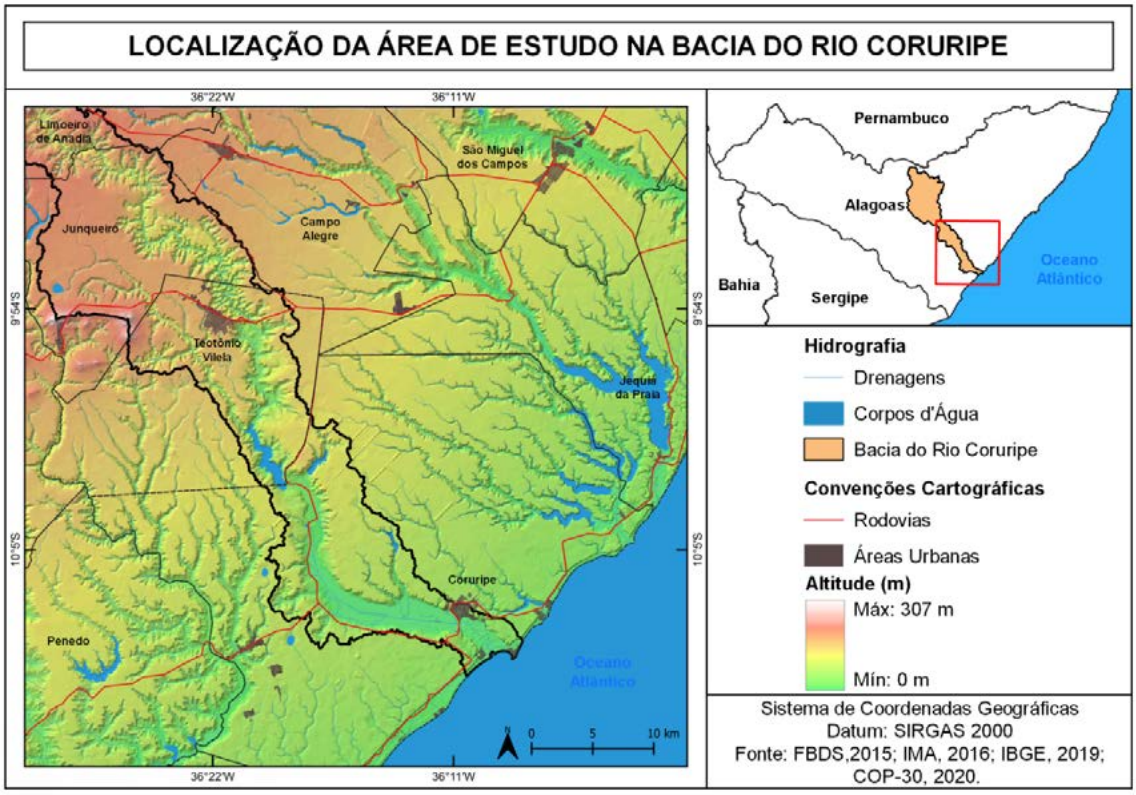


FIGURA 1: Localização da **área de estudo**.

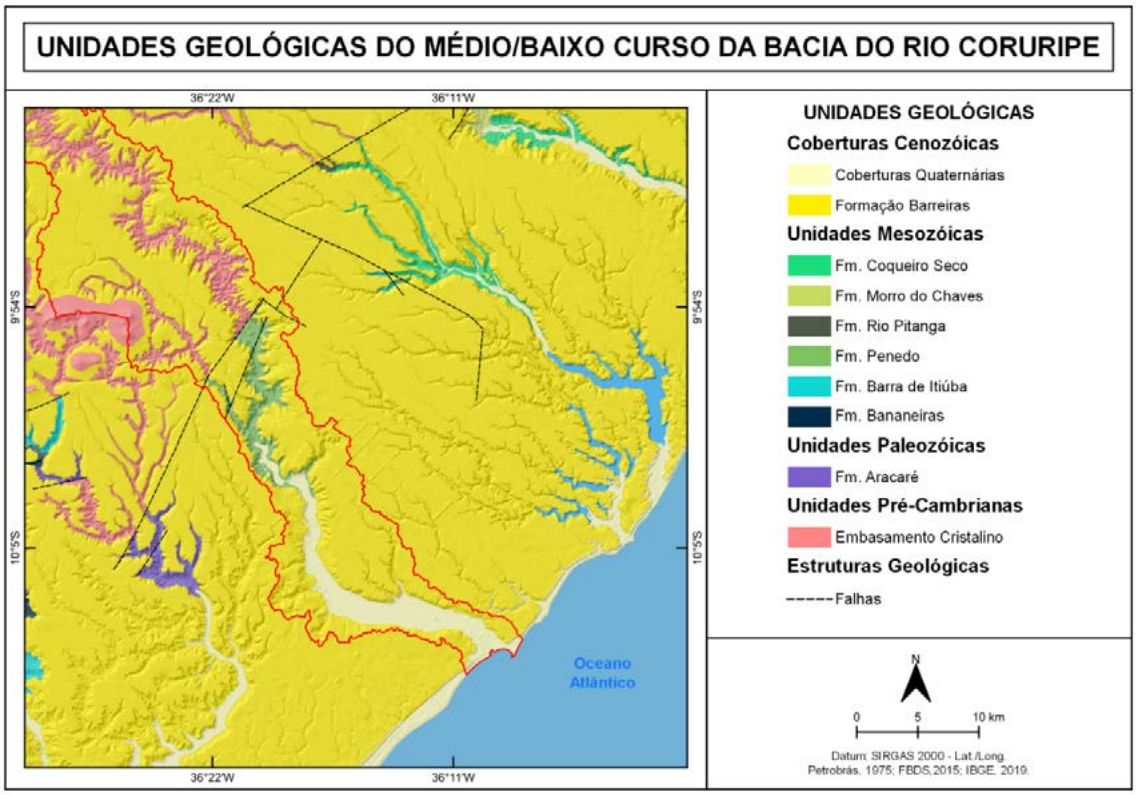


FIGURA 2: Mapa geológico da área de estudo na escala de 1:50000.

No contexto do médio e baixo curso da bacia do rio Coruripe destacam-se, além da Formação Barreiras e do embasamento cristalino, que foi exumado após a dissecação fluvial, também a Formação Penedo e as coberturas quaternárias de deposição flúvio-marinha. A Formação Penedo é constituída por arenitos mal selecionados com estratificações cruzadas e estruturas convolutas, intercalados com folhelhos e siltitos, localmente encontram-se calcários argilosos (SCHALLER, 1969).

Em termos pedológicos, predominam os Argissolo Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo, e em menores proporções, Organossolo e Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2012). Ainda de acordo com a Embrapa (2012) o tipo de clima da área é As' - Tropical com chuvas de outono-inverno, segundo a classificação de Köppen, com precipitação pluvial média variando entre 1200 e 1.500 mm/ano.

As características dos aspectos geomorfológicos da área é uma amplitude topográfica de 307 m, com predominância de baixas declividades formando o relevo tabuliforme (Figura 1). Em relação à vegetação, quase toda área de vegetação foi substituída pela monocultura da cana-de-açúcar, restando apenas alguns fragmentos de mata atlântica nas encostas.

2.2 Procedimentos metodológicos

Para a elaboração do presente trabalho foram utilizados dados de elevação do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) reamostrados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com resolução espacial de 30 x 30 metros. Os dados de elevação foram obtidos no site do projeto TOPODATA, sendo utilizadas as folhas 09S375ZN e 10S375ZN para fazer o mosaico e cobrir toda área da bacia.

Também foram utilizados dados de litologia e das estruturas geológicas que foram vetorizadas em ambiente SIG das cartas geológicas da bacia Sergipe-Alagoas mapeadas pela Petrobrás na escala de 1:50.000. Além dos dados da rede hidrográfica disponibilizadas pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, em formato *shapefile*.

Com o intuito de elaborar o mapeamento geomorfológico da área e visando evitar níveis de subjetividade na definição das unidades geomorfológicas, foi adotada a metodologia do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) proposta por Sampaio e Augustin (2014). Este procedimento leva em consideração a distribuição espacial da declividade em percentual. Posteriormente, essa declividade é convertida em arquivo vetorial do tipo ponto e é aplicado o Estimador de Densidade de Kernel.

O ICR varia em função do raio do Kernel, em: ICR Global e Local. Na proposta dos autores supracitados, o ICR Global é aplicado para detectar padrões maiores de relevo de forma mais regionalizada, já o ICR Local para padrões de relevo com mais detalhes e com expressões locais. Neste estudo foi adotado o raio de 564m para o ICR Local assim como indicado pelos autores (SAMPAIO e AUGUSTIN, 2014).

Já no mapeamento geomorfológico foi adotada a metodologia do *Guide to medium-scale geomorphological mapping* de Demek e Embleton (1978). Este manual é produto de pesquisas da comissão de pesquisa e mapeamento geomorfológico da União Geográfica Internacional (UGI). Nesse procedimento utilizou-se o MDE de 30m de resolução para geração de curvas de níveis e perfis topográficos, juntamente com o produto do ICR produzidos a partir da declividade e as cartas topográficas.

Inicialmente, foram identificadas as morfoestruturas que correspondem pelas formas maiores do relevo (CORRÊA et al., 2010). Gerasimov e Mescherikov (1986) postulam o termo morfoestrutura sendo aquela paisagem que possui um elevado grau de evolução das formas, onde existe a combinação da estrutura geológica (elemento estável) e os agentes externos (elemento dinâmico) que modelam a superfície.

Como morfoescultura entende-se a relação entre os agentes externos, como os aspectos climáticos, e o modelado. Essas morfoesculturas são originadas pela erosão diferencial que atua sobre as rochas (MONTEIRO, 2015).

3. Resultados e discussão

3.1 Índice de Concentração de Rugosidade da área

A partir da declividade gerada do modelo digital de elevação foi analisado o grau do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), que utiliza dados pontuais da declividade e do método de kernel para avaliar os padrões de dissecação do relevo (SAMPAIO e AUGUSTIN, 2010). Ainda segundo esses autores, o ICR é uma metodologia capaz de reduzir as subjetividades durante o mapeamento geomorfológico foco desse estudo. Assim, utilizou-se o ICR local usando o raio de 564 m do estimador de kernel. O raster gerado foi reclassificado para cinco classes com intervalos iguais, como sugerido pelos autores.

Analisando a Figura 3, observa-se que a dissecação do relevo apresenta valores de ICR local muito baixo a baixo quase em toda a totalidade da área, sendo resultante das baixas declividades predominando os valores abaixo de 3 graus. Esse aspecto faz deduzir que a atuação erosiva da drenagem é baixa, podendo está associada a elevada quantidade de canais de baixa densidade de drenagem.

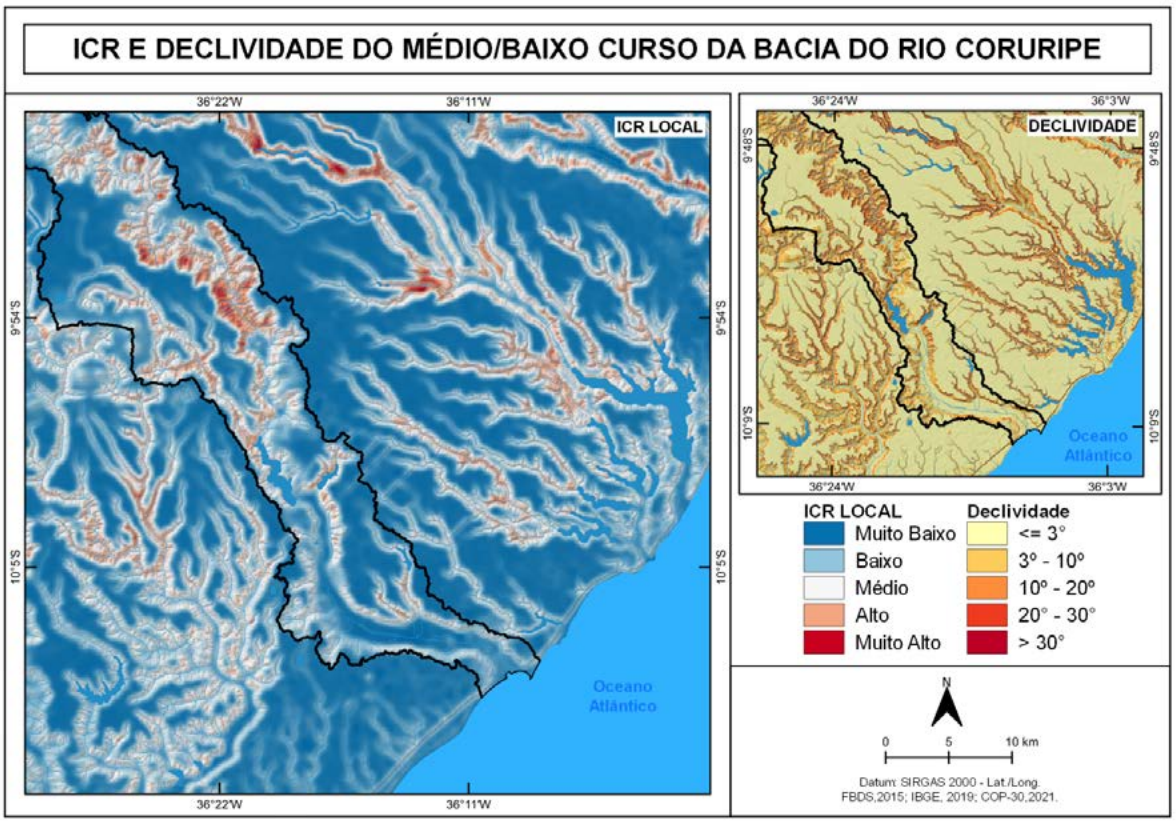


FIGURA 3: Índice de concentração de rugosidade local e declividade.

Já os valores de ICR mais elevado encontram-se próximos aos canais principais dos rios, a exemplo da bacia em estudo no rio Coruripe, aonde a dissecação chegou a exumar o embasamento cristalino próximo as cidades de Teotônio Vilela e Junqueiro.

3.2 Compartimentação geomorfológica da área

Inicialmente, a compartimentação geomorfológica da área em estudo foi organizada e delimitada a partir das informações relacionadas aos aspectos litológicos e estruturais presente na Figura 2 acima. Além disso, foram gerados os dados morfométricos de declividade e ICR apresentados acima, bem como dados referentes as questões altimétricas a partir do modelo digital de elevação como os perfis topográficos. Assim, delimitou-se dois domínios morfoestruturais estruturais que foram subdivididos em quatro unidades morfoesculturais apresentadas na Figura 4.



FIGURA 4: Mapeamento geomorfológico da bacia do rio Coruripe.

O domínio morfoestrutural denominado de planalto sedimentar costeiro é o mais expressivo de toda área, é onde ocorrem as morfoestruturas tabulares que estão assentadas sobre os sedimentos da Formação Barreiras.

Analisando os perfis topográficos A-B e C-D da Figura 5 é possível notar duas situações distintas sobre o grau de dissecação apresentado anteriormente. Essa diferença evidenciada pelo produto do ICR local possibilitou a divisão das unidades morfoesculturais em tabuleiros conservados e dissecados, bem como algumas colinas dissecadas que estão estruturadas em rochas quartzíticas.

Os tabuleiros conservados são os topos aplainados que descem em forma de rampa de altitudes próximas a cota de 200 metros e chegam ao oceano atlântico por volta 40 a 50 m formando as feições de falésias. Já os dissecados estão associados feições geradas pelo entalhe da dinâmica fluvial. Em alguns locais na área de estudo pode encontrar áreas com entalhe fluvial superando os 40 metros de diferença do leito atual do rio até o topo dos tabuleiros.

Além disso, encontra-se depósitos de cascalheiras próximo ao rio Coruripe que segundo Andrade (1959) tais foram resultantes de processos morfogenéticos de clima menos úmidos que o atual, com precipitações pior distribuídas, provocando grandes cheias, e assim, aumentando o potencial energético desse material cascalhoso.

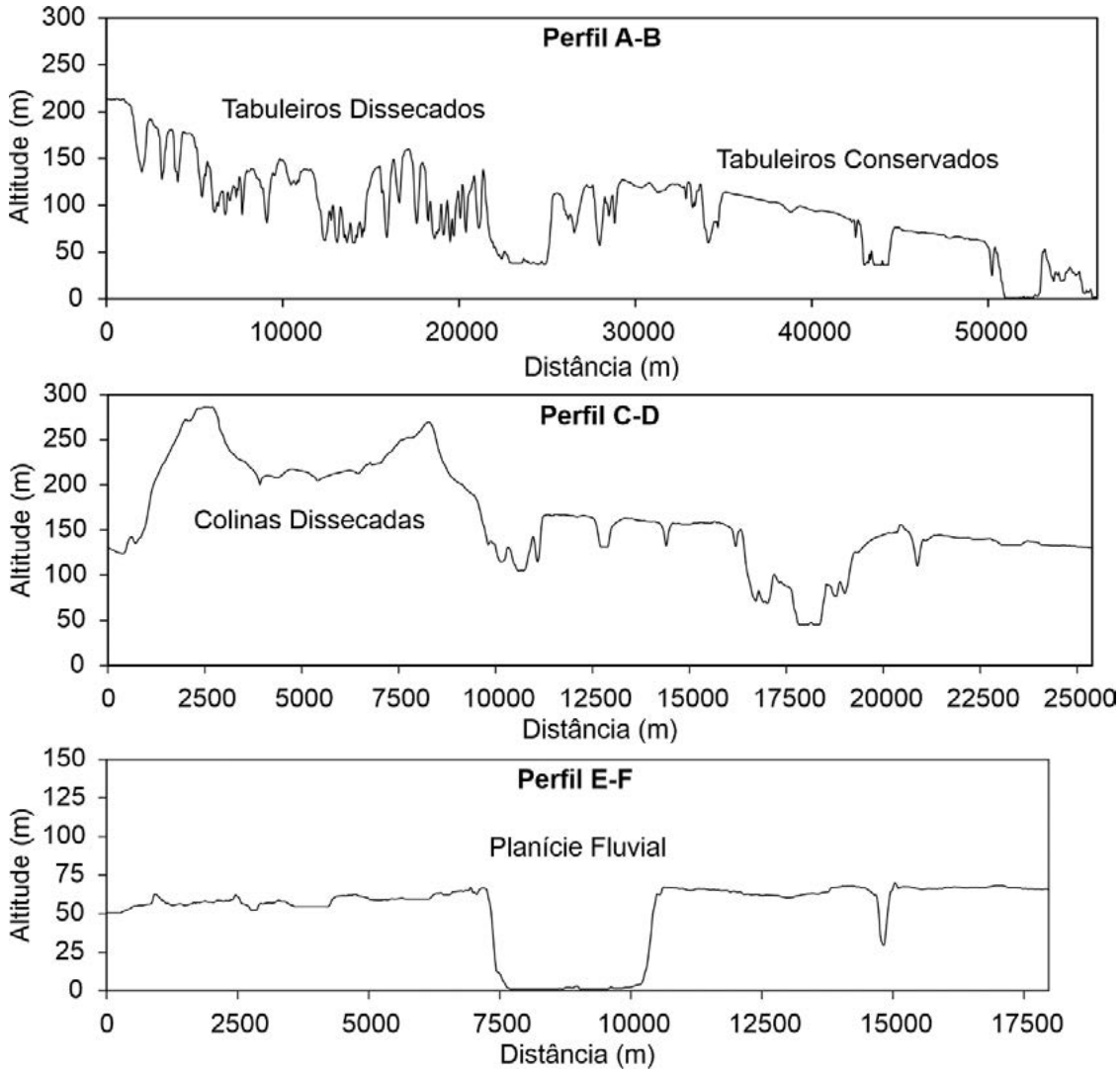


FIGURA 5: Perfis topográficos das feições encontradas na área de estudo.

Os domínios das planícies indiferenciadas são o conjunto de padrões planos em níveis altimétricos de 20 metros que se reduzem em direção ao oceano, caracterizados pelos modelados deposicionais de origem fluvial e flúvio-marinha apresentado no perfil E-F da Figura 5. As unidades morfoesculturais são associadas aos depósitos quaternários no fundo dos vales e também na costa com baixas declividades.

4. Considerações finais

Com relação ao uso do índice de concentração de rugosidade, este parâmetro morfométrico se mostrou ser uma metodologia complementar eficiente para o mapeamento geomorfológico, visto que foi possível delimitar as unidades com maior detalhamento.

O mapeamento geomorfológico da área do médio e baixo curso da bacia do rio Coruripe possibilitou a identificação das feições morfoestruturais e esculturais ilustrando a sua dinâmica geomorfológica. Foram identificados dois domínios morfoestruturais: planalto sedimentar costeiro com os tabuleiros conservados e dissecados, e as colinas dissecadas; e as planícies indiferenciadas de origem fluvial e flúvio-marinha.

De caráter preliminar, este estudo possibilita a continuidade e detalhamento sobre as formas de relevo presente nesse setor da bacia do rio Coruripe, sendo uma ferramenta base para futuras análises e diagnósticos que visem o entendimento da dinâmica da Paisagem de forma integrada, seja ela de caráter acadêmico e/ou como suporte a planejamento ambiental/territorial.

Referências

AMORIM, R. F.; SILVA, D. G.; CORREA, A. C. B. Cartografia de relevo aplicado à bacia do riacho Bruscas, maciço da serra da Baixa Verde (PE/PB), nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 01, p. 1-20, 2015.

ANDRADE, M. C. **Os rios-do-açúcar no nordeste oriental:** IV Rios Coruripe, Jequiá e São Miguel. Publicações do Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais. Recife: Imprensa Oficial, 1959.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: E. Blücher, 1999. 236 p.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto Da Borborema**. Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31. n. (1/2), p.35-52, 2010.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A.; SANCHEZ, M. C. A cartografia do relevo: uma análise comparativa de técnicas para a gestão ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, n 1, p.01-09. 2003.

DEMEK, J.; EMBLETON, C. **Guide to medium–scale geomorphological mapping.** Stuttgart: IGU Commission on Geomorphological Survey and Mapping, 1978. 348 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento do reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Alagoas.** 1 ed. Recife: EMBRAPA SOLOS, 2012. 238 p. (Relatório Técnico).

GERAMISOV, I. P.; MESCHEIROV, J. A. Morphostructure. In: FAIRBRIDGE, R. W. (Ed.). **The Encyclopedia of Geomorphology** – Encyclopedia of Earth Sciences. Pennsylvania - Dowden: Hutchinson e Koss Inc., 731-732. 1968.

LIMA, G. G. **Análise comparativa de metodologia de mapeamento geomorfológico na bacia do Rio Salamanca, Cariri Cearense**. 120 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2014.

MENDES, V. A. **Geologia e recursos minerais do estado de Alagoas**: escala 1:250.000. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2017. 113p

MONTEIRO, K. A. **Análise geomorfológica da escarpa oriental da Borborema a partir da aplicação de métodos morfométricos e análises estruturais.** 222 f. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2015.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, 2014.

SCHALLER, H. Revisão estratigráfica da Bacia Sergipe/Alagoas. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de. Janeiro, v.12, p.1, p.21-86, 1969.

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO MONUMENTO NATURAL (MONA) PEDRA DO PICU (ITAMONTE, MG) E ENTORNO: RELAÇÕES ENTRE A GEOMORFOLOGIA E O PLANO DE MANEJO

Juliana Costa Baptista Barreto
Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, s/n –
São Pedro, Juiz de Fora - MG, 36036-900
E-mail: julianacbbarreto@gmail.com
Ana Beatriz Barbosa Ferreira
Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, s/n –
São Pedro, Juiz de Fora - MG, 36036-900
E-mail: anabeabarbosa@hotmail.com
Roberto Marques Neto
Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, s/n –
São Pedro, Juiz de Fora - MG, 36036-900
E-mail: roberto.marques@ufjf.edu.br

Resumo

O presente artigo tem por objetivo o mapeamento geomorfológico do Monumento Natural (MONA) Pedra do Picu, localizado no município de Itamonte (MG), como parte dos resultados cartográficos para a implementação do plano de manejo da referida unidade de conservação. A cartografia do relevo compreende a representação gráfica e espacial dos fatos geomórficos em seus aspectos geométricos, morfológicos, morfodinâmicos e morfocronológicos. A partir das técnicas morfométricas (profundidade de dissecação e dimensão interflúvial) foi possível identificar a singularidade das formas de relevo em escala de semidetalhe (1/50.000). As paisagens montanhosas destacam-se por seus declives acentuados e elevada energia, o que favorece sobremaneira a recorrência dos processos gravitacionais, aferíveis pelas recorrentes cicatrizes nas vertentes, depósitos de talús, colúvios pedogeinizados, *knicks* com encachoeiramentos e afloramentos contínuos sinalizadores das zonas erosivas. Tais especificidades estruturais e dinâmico funcionas foram apreendidas através do mapeamento geomorfológico aqui mostrado, discutido a partir de suas relações com o plano de manejo desse espaço protegido.

Palavras-chave: mapeamento geomorfológico; plano de manejo; paisagens montanhosas; monumento natural.

1. Introdução

A geomorfologia tem expandido suas perspectivas interdisciplinares, provendo continuadamente avanços metodológicos para a melhor compreensão das dinâmicas dos processos naturais e sociais associados intrinsecamente ao relevo. De forma notória, esse campo do conhecimento não se restringe às interpretações genéticas e dinâmicas do relevo, mas atua em caráter aplicado na elaboração de estratégias de governança, planejamento e ordenamento territorial.

Nesse sentido, Cunha (2006) destaca os estudos voltados para uma Geomorfologia de longo termo, onde a temporalidade geológica adquire certo destaque. Esse tipo de enfoque é de orientação genético-evolutiva, e não insere o homem e suas inter-relações com a natureza, cujas ações ganham destaque a partir do século dezoito dadas por significativas maneiras de apropriação e reprodução do espaço. Esse horizonte da geomorfologia busca a interpretação dos conjuntos regionais do relevo, e assume papel importante para a explicação de fenômenos que ocorrem ao longo do tempo geológico, como a evolução do relevo e sua gênese. Em plena complementaridade, enfoques dinâmicos estudam os processos atuantes, em grande medida influenciados pela ação humana, preferencialmente estabelecidos em escalas mais detalhadas, reservadas as relações permanentes entre a escala de detalhe e a macroescala.

Ross (1992) assevera que, entre o diversificado horizonte metodológico da Geomorfologia, a cartografia geomorfológica figura como técnica de grande importância, mesmo que seus produtos cartográficos representem uma realidade relativamente abstrata dada pelo relevo, no qual é possível representar colinas, vertentes, planícies, morros, etc. Com isso, Nunes et. al. (2006) afirmam que para a construção de mapas geomorfológicos, o pesquisador deve ter a preocupação de apresentar e demonstrar da forma mais didática possível as características de identificação, classificação e os processos morfodinâmicos e morfogenéticos, considerando a área mapeada, escala e finalidade.

Diante disso, o objetivo do presente trabalho consiste no mapeamento geomorfológico da área correspondente ao Monumento Natural (MONA) Pedra do Picu e suas adjacências como ferramenta para interpretar e discutir o papel do relevo nos planos de manejo de unidades de convervação. Localizado em domínios escarpados, declivosos e profundamente dissecados da Mantiqueira Meridional (sensu GATTO et al. 1983), a energia do relevo na área do MONA engendra processos superficiais que exercem implicações em programas de visitação, pesquisa e outros elementos concernentes à gestão da reserva, justificando assim a inserção da cartografia geomorfológica nos diagnósticos concernentes, dado o interesse público dos mesmos.

2. Área de estudo

A área de estudo fica localizada na região da Serra da Mantiqueira em sua porção meridional. Segundo Marques Neto (2017), esse compartimento perfaz o sistema orográfico contínuo mais elevado de todo o Brasil Oriental e tem sua gênese relacionada à reativação tectônica que acometeu a Plataforma Brasileira entre o Cretáceo e o Paleógeno, orquestrada pela separação da paleoplaca afro-brasileira-brasileira e processos geodinâmicos associados (ALMEIDA, 1964; RICCOMINI, 1989). Durante o Cenozoico, reativações vinculadas à dinâmica neotectônica intraplaca e outros efeitos diastróficos oriundos de tectônica ressurgente e ativa contribuíram no conjunto de controles tangentes à evolução do relevo regional.

Machado Filho et al. (1983) afirma que o município de Itamonte apresenta

relevos de dissecação diferencial com aprofundamento de drenagem, vales estruturais, cristas simétricas de grande extensão e linhas de cumeadas, além de bordas de estruturas circulares. Em direção ao norte, as feições apresentam-se um pouco mais regulares, marcadas por cristas pronunciadas, muitas vezes com os vértices desnudados e comportando vales de fundo chato e colmatado, por onde correm rios de pequeno porte. Próximo à zona urbana é possível encontrar formas colinosas, com mantos de alteração muito profundas e argilosos recobrindo morfologias retilíneo-côncavas. São nessas áreas que as encostas tendem a uma maior instabilidade a definir riscos de movimentos de massa. Nos setores mais elevados as cristas são longas e seccionadas por falhamentos, definindo um sistema geomorfológico de alta energia e controlado tectonicamente.

As amplitudes altimétricas significativas engendram variações laterais de solos, com Latossolos nos relevos mamelonizados intermontanos e combinações de Cambissolos e Neossolo Litólico no contexto das serras, tanto as sustentadas em granitos e gnaisses como aquelas balizadas por nefelina-sienitos. Ainda, as diferenças de elevação também determinam zonação altitudinal da vegetação bem marcada, com florestas estacionais dando passagem às florestas ombrófilas mistas e densas, até os campos de altitude.

O Monumento Natural Pedra do Picu fica localizado no setor centro-sul do município (figura 1), nos terrenos correspondentes às intrusões alcalinas do maciço do Itatiaia, sendo limítrofe à Reserva Particular do Patrimônio Natural Alto Montana e ao Parque Nacional do Itatiaia. Em 2009, o Parque Nacional do Itatiaia apresentou uma proposta de ampliação de seus limites, e com isso parte do município, incluindo a Pedra do Picu e diversas propriedades particulares seriam incorporadas ao parque. Em uma ação conjugada para a defesa do patrimônio ambiental municipal, a criação do MONA Pedra do Picu parte de uma inciativa dialógica entre proprietários de terra, prefeitura e comunidade local. Cumpre salientar que a Pedra do Picu figura como um autêntico monumento natural, um geopatrimônio de notório apelo cultural, figurando como símbolo de forte representação e identidade entre os moradores de Itamonte.

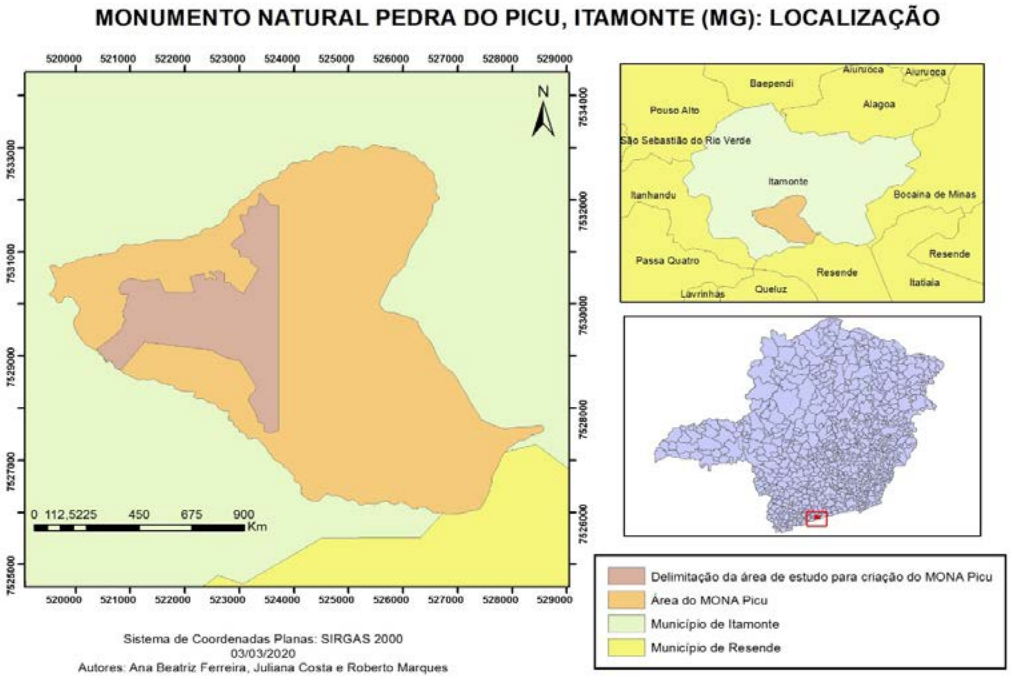


FIGURA 1: Mapa de localização da área do MONA Picu e adjacências.

3. Metodologia

Para o mapeamento geomorfológico, inicialmente baseou-se na proposta metodológica de Nunes et al. (1994), que começa com a elaboração de uma base cartográfica a partir de cartas topográficas. Para tal, foram usadas as cartas de Agulhas Negras (SF-23-Z-A-I-4), Passa Quatro (SF-23-Z-A-I-3) , Pouso Alto (SF-23-Z-A-I-1) e Alagoa (SF-23-Z-A-I-2), todas extraídas do site do Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro (https://bdgex.eb.mil.br/mediador/), na escala de 1:50.000. Para essa escala, foi preciso adotar o procedimento de enriquecimento da drenagem, para fins de melhor visualização dos dados dispostos, seguindo as indicações das curvas de nível com concavidades voltadas para montante. As imagens em SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foram extraídas do Site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - https://www.usgs.gov/) e as imagens de satélite foram utilizadas a partir do Basemap disponíveis no software ArcGis 10.3. Já a litologia, foi utilizada base disponível pela CPRM (2014) em escala 1:1000000.

A compartimentação geomorfológica teve como unidade fundamental os padrões de formas semelhantes (ROSS, 1992), estabelecida através da morfometria mensurada nas folhas topográficas associada à interpretação dos produtos de sensoriamento remoto e campo. Os cálculos morfométricos subsidiaram a delimitação dos compartimentos, e se pautaram na mensuração da profundidade de dissecação e da dimensão interfluvial, parâmetros basilares para a definição das formas de relevo. A quantificação foi levada a efeito diretamente sobre as folhas topográficas.

O cálculo da dimensão interfluvial teve como base a medição da extensão dos interflúvios a partir de duas linhas erosivas da rede de drenagem ou tomando como referência as surgências hídricas, procedimentos bastante funcionais em zonas dispersoras de interflúvios extensos e retilíneos sob um forte controle estrutural. A profundidade de dissecação considerou os procedimentos usuais que vêm sendo considerados por outros autores (PONÇANO et al., 1981; ROSS, 1992; NUNES et al., 1994; CUNHA, 2011, entre outros), e que se baseia na quantificação da diferença altimétrica entre os topos (referenciados pelos pontos cotados ou pela curva de nível mais elevada, normalmente fechada) e os fundos de vale, dados pela curva de nível mais rebaixada, rente ao talvegue. O trato morfométrico foi finalizado com a elaboração da matriz de dissecação, bastante usual em uma série de proposições, desde o Projeto RADAMBRASIL (ROSS, 1992; NUNES et al., 1994; ROSS e MOROZ, 1996).

Os tipos genéticos foram estabelecidos a partir da conjugação entre os aspectos morfológicos e morfométricos, que definiram as morfologias denudacionais ocorrentes na área. Por fim, aspectos morfoestruturais, morfodinâmicos e outros fatos geomórficos complementares foram representados mediante o emprego de símbolos, técnica de grande valia para a incorporação de fatos geomórficos que se integralizam em níveis taxonômicos mais detalhados. Como toda a área está geologicamente sustentada pelas intrusões alcalinas em nefelina-sienitos, sem variações dignas de nota na espacialidade mapeada, optou-se por não representar a base geológica no mapa. Autores como Tricart (1965) e Verstappen (1983) diferenciam os corpos litológicos mediante o uso de hachuras, o que não estabelece boa aderência em contextos sem grandes variações de litotipos captáveis pela escala trabalhada.

4. Resultados e discussão

A importância do relevo e de outros elementos concernentes à geodiversidade no planejamento e gestão de espaços protegidos tem sido atinada por uma série de autores (MELO et al. 2004; MOROZ, 2010; GOUVEIA, 2010; MARQUES

NETO, 2012).

No contexto do MONA Pedra do Picu, as influências dadas pelo relevo são de monta. O perímetro da reserva está delimitado no âmbito do domínio das intrusões alcalinas, formando o compartimento de maior elevação da Mantiqueira Meridional (MARQUES NETO e PEREZ FILHO, 2014). Dessa forma, sobressaltam os vales escarpados com declive acentuado, onde os canais fluviais encaixados entalham promovendo dissecação profunda do relevo e engendrando elevada energia no sistema geomorfológico a intensificar os processos morfodinâmicos.

O mapeamento geomorfológico levado a efeito identificou os seguintes modelados (Figura 2): (I) Altos Interflúvios, (II) Vertentes escarpadas de bloco intrusivo, (III) Patamares suspensos e (IV) Patamares reafeiçoados. Neste sistema geomofológico não é possível identificar os modelados de agradação, devido ao intenso fluxo de matéria e energia que não permite a estocagem de sedimentos, não formando, portanto, morfologias acumulativas como planícies fluviais.

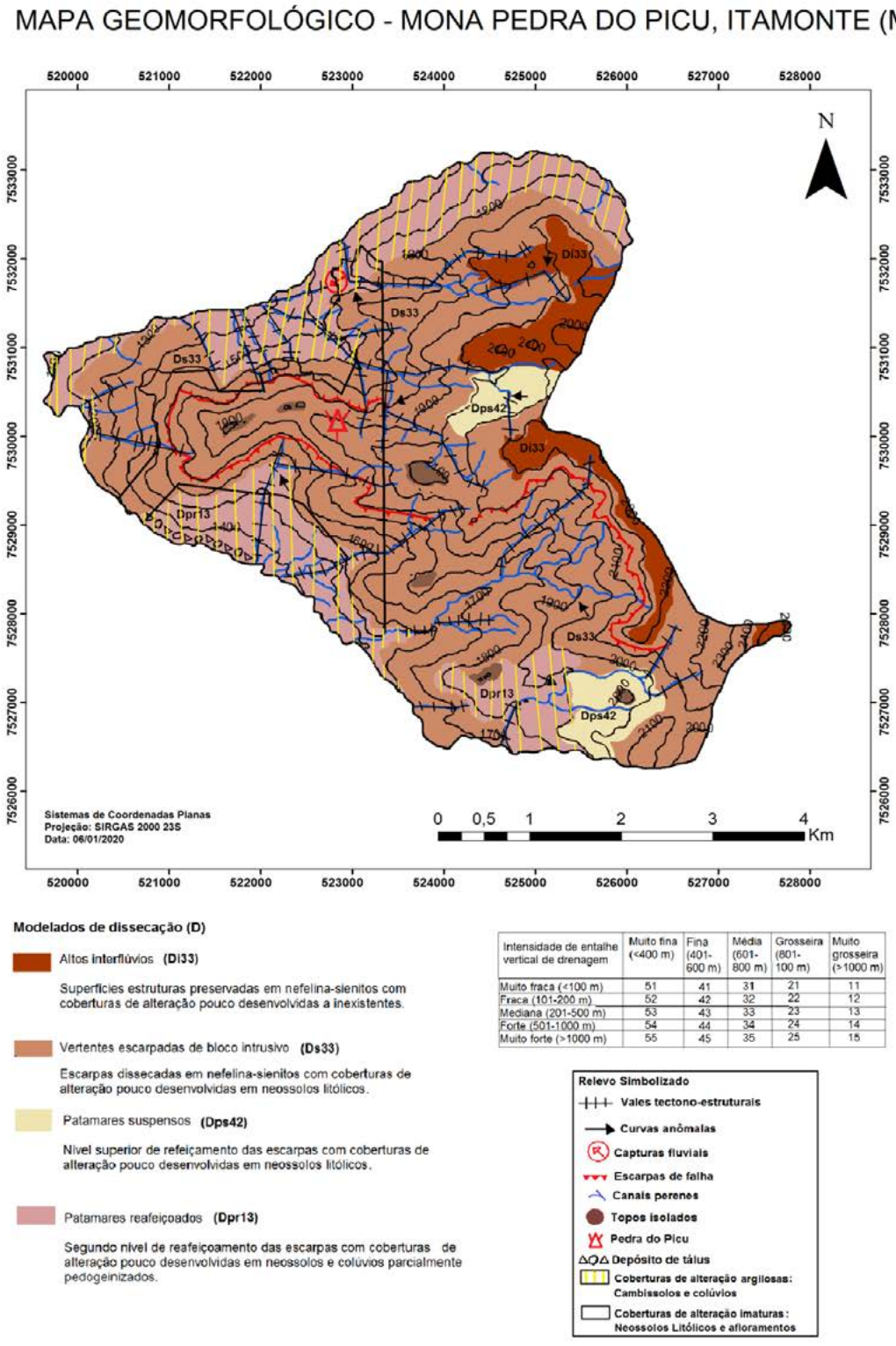


FIGURA 2: Mapa Geomorfológico da área do Monumento Natural Pedra do Picu e adjacências Itamonte, MG

Os *Altos interflúvios* possuem altimetrias elevadas variando de 2000 a

2200 metros, e são as áreas transmissoras de fluxos de massa e energia no âmbito da espacialidade mapeada. Figuram como superfícies estruturais preservadas em nefelina-sienitos com coberturas de alteração pouco desenvolvidas a inexistentes em funções dos fatores limitantes locais. A erosão regressiva pouco avança devido ao controle estrutural presente, e é possível identificar a NE a presença feições anômalas dadas pela geração de vales profundos incompatíveis com a largura dos canais, bem como mudanças abruptas nas direções controladas por falhas transcorrentes, formando-se cotovelos em *shutter ridges* bem marcadas.

A unidade designada por *Vertentes escarpadas de bloco intrusivo* figura como a principal zona de transmissão dos fluxos superficiais e subsuperficiais, e ocupa a maior parte da reserva, figurando como escarpas dissecadas com coberturas de alteração pouco desenvolvidas em neossolos litólicos. Nessas áreas que as movimentações de massa são mais copiosas, com declives e amplitudes locais favorecendo sobremaneira os processos de vertente. Nos níveis de patamares e nos sopés das vertentes escarpadas são encontrados os depósitos correlativos dos movimentos de massa recorrente, ocorrendo coberturas um pouco mais espessas, pedogeneizadas ou não, bem como material clástico formados por matacões de grande calibre (figura 3).

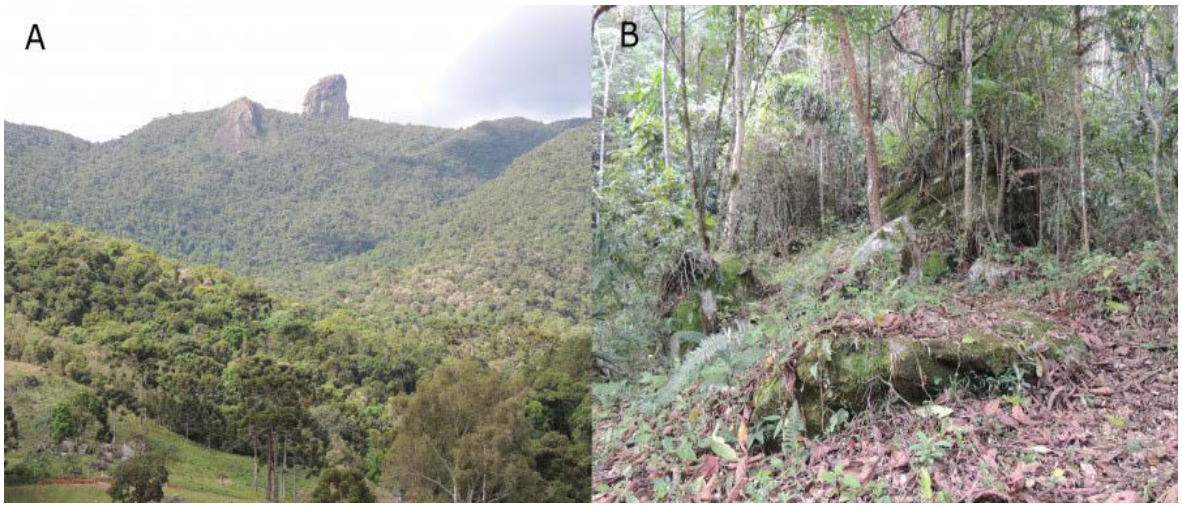


FIGURA 3: Aspecto geral do relevo na área do MONA Pedra do Picu e depósitos correlativos a transporte gravitacional.

A tectônica é bastante influente na área, que gera vales retilíneos e profundos e influencia a geração de *Patamares suspensos*, enclaves que se manifestam de forma pontual nas porções Sul e Nordeste da área do MONA, configurando vales confinados que apresentam altas taxas de incisão vertical que se sobrepõem as escarpas de falhas em vertentes em declive acentuado com facetas triangulares e trapezoidais, correspondendo a um nível superior de reafeiçoamento das escarpas. Assim, distinguindo-se dos *Patamares reafeiçoados* que se caracterizam por altimetria variada, constituem grande parte da área e se distribuem pelas bordas da área de estudo de sul a norte.

As paisagens montanhosas possuem características especificas, e seus sistemas geomorfológicos influenciam sobremaneira nas modalidades de uso e ocupação. A elevada energia que dá a tônica desses sistemas geomorfológicos intensifica os processos físicos de superfície, como os movimentos de massa lentos e rápidos, o que estabelece uma conectividade bastante dinâmica entre os interflúvios e os níveis de base locais. A área de estudo possui arranjo geomorfológico montanhoso que varia de 1000 a 2600 metros altitude, exercendo funções geoecológicas que transmitem fluxo de matéria e energia intensos. Visto que essa

localidade está no entorno imediato com o Parque Nacional do Itatiaia, seu relevo apresenta características herdadas do maciço alcalino que exerce resistência ao intemperismo, gerando assim o mosaico de sua paisagem de exceção.

A área de estudo também faz parte do corredor ecológico funcional que agrupa um dos últimos estoques de fitofisionomias da Mata Atlântica. Apresenta mirantes, cachoeiras, afloramentos e picos rochosos (entre os quais a própria Pedra do Picu) que promove expressivo valor ambiental para região, e a conjugação desses patrimônios reforçou sobremaneira a justificativa para a criação da reserva. Desta maneira, o MONA Pedra do Picu se enquadra na modalidade de Unidade de conservação regulamentada pela Lei nº 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Entre as muitas propostas do SNUC, neste cenário se destaca a proteção das características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica e cultural, portanto, sua geodiversidade.

Após a contextualização do sistema geomorfológico da área fica evidente que as paisagens montanhosas tropicais têm suas peculiaridades físicas, bióticas e culturais, desafiando os projetos de planejamento a desenvolverem estratégias capazes de atender tais especificidades. Indubitavelmente, o quadro geomorfológico local caracterizado pela expressiva energia exige que o plano de manejo detalhe as formas e processos a contento, e preveja os riscos para os assentamentos, visitações e outras atividades praticáveis nesse espaço protegido, inscrevendo o conhecimento geomorfológico como fundamental para a gestão adequada da reserva.

Considerações finais

Conforme discutido, área do Monumento Natural Pedra do Picu, é caracterizada por intensos fluxos de matéria e energia provenientes das altimetrias elevadas, declives acentuados, da ação modeladora tectônica e do clima tropical, sendo altamente representativa das organizações geomorfológicas concernentes aos grandes escarpamentos do sudeste brasileiro. Seguramente, estão entre as áreas mais susceptíveis a movimentos de massa em todo o território nacional, tanto o contexto regional como as integridades locais que foram abarcadas pelo mapeamento.

Diante do que foi apresentado, a Geomorfologia se projeta como tema fundamental nos planos de manejo de unidades de conservação, e o mapeamento geomorfológico se consagra como uma importante técnica, subsidiando a diferenciação de áreas e, a depender do contexto, interferindo diretamente no zoneamento da reserva.

No caso de monumentos naturais, que normalmente integralizam importantes geopatrimônios, como é o caso da Pedra do Picu, o mapeamento geomorfológico é imprescindível para o mapeamento dessas *landforms*, interpretação de seu significado morfogenético e de suas relações como o sistema geomorfológico e ambiental. Ainda, aproxima-se dos valores estéticos e simbólicos que normalmente caracterizam essas geoformas, trazendo os conceitos de geodiversidade e geopatrimônio para os planos de manejo e, por conseguinte, realçando a relevância do meio físico e suas variáveis nessas ações de planejamento e gestão.

Agradecimentos

Agradecemos a Pró-Reitoria de Extensão pela bolsa concedida.

Referências

ALMEIDA, F. F. M. Geologia do Estado de São Paulo. **Boletim n° 41**, 1964. 263p.

BRASIL, Serviço Geológico- Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais/CPRM. **Projetos Litologia.** Disponível em http://www.cprm.gov.br. Visitado em janeiro 2020.

CUNHA, C. M. L**. A cartografia geomorfológica em áreas litorâneas.** Tese (Livre Docência em Geografia): Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2011.

CUNHA, C. M. L. D; MENDES, I. A. Proposta de análise integrada dos elementos físicos da paisagem: uma abordagem geomorfológica. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 111-120, 2005

CUNHA, L. Para quê e a quem serve a Geomorfologia? Aurora — Geography Journal, n. 0, p. 29-40, 2006.

GATTO, L. C. S.; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H. B.; MAURO, C. A.; ALVARENGA, S. M.; FRANCO, E. M. S.; QUIRICO, A. F.; NEVES, L. B. Geomorfologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

GOUVEIA, J. M. C. **Geomorfologia aplicada à gestão de unidades de conservação**; o Parque Estadual do Jurupará/ SP. In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORGOLOGIA, III ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, I ENCONTRO ÍBERO-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA e I ENCONTRO ÍBERO-AMERICANO DO QUATERNÁRIO. **Anais...** Recife, 2010.

MACHADO FILHO, L; RIBEIRO, M. W. ; GONZALES, S.P. ; ACHENINI, C. A. ; SANTO NETO, A. ; PALMEIRA, R.C.B. ; PIRES, J. L. ; TEIXEIRA, W. ; CASTRO, H.E.F. (1983) Geologia. In: **PROJETO RAMBRASIL**. Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, DNPM/MME/SG. P.27-304 (Levantamento de Recursos Naturais, 32)

MARQUES NETO, R. Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN's) como estratégia para a conservação da Mata Atlântica e a importância da Geografia Física nos planos de manejo. **Geografia**, v. 37, n. 1, p. 95-108, 2012.

MARQUES NETO, R.; FILHO, A. P.; Compartimentação morfoestrutural da bacia do rio verde, sul de Minas Gerais:. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo - SP, v. 15, n. 01, p. 120-135, 2013.

MARQUES NETO, R.; O horst da Mantiqueira Meridional: proposta de compartimentação morfoestrutural para sua porção mineira. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, p. 561-577, 2017.

MELO, M. S.; GODOY, L. C.; MENEGUZZO, P. M.; SILVA, D. J. P. A. A geologia do plano de manejo do Parque Estadual de Vila Velha, PR. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 4, p. 561-570, 2004.

MOROZ, I. C. **A contribuição dos estudos de Geomorfologia fluvial e de recursos hídricos para planos de manejo de unidades de conservação.** In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORGOLOGIA, III ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, I ENCONTRO ÍBERO-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA e I ENCONTRO ÍBERO-AMERICANO DO QUATERNÁRIO. **Anais...** Recife, 2010.

NUNES, B. A.; RIBEIRO, M. I. C.; ALMEIDA, V. J.; NATALI FILHO, T**. Manual técnico de geomorfologia.** (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 5). Rio de Janeiro: IBGE, 1994. 113p.

NUNES, J. O. R.; FREIRE, R.; PERES, I. U. **Mapa geomorfológico do perímetro urbano de Presidente Prudente.** In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia e Regional Conference on Geomorphology, 2006, Goiânia. Anais... CD ROOM.

NUNES, J. O. R. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente - SP**. 2002. Tese (Doutorado em Geografia com ênfase em Desenvolvimento Regional e Planejamento Ambiental) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

PANE, Edgar. **Estudo hidrologico, hidrogeologico e geofisico no municipio de Itamonte-MG**. 2001. 84p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociencias, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.

repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/287619>. Acesso em: 28 jul. 2018.

PONÇANO, W. L; CARNEIRO, C. D. R; BISTRICHI, C. A; ALMEIDA, F. F. M; PRANDINI, F. L. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. Vol. 1. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, 1981. 94p.

RICCOMINI, C. **O rift continental do sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1989. 256p

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia.** FFLCH-USP. n. 6. São Paulo, 1992. P. 17-29..

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10, p. 41-58, 1996

TRICART, J. **Principés et méthods de la Géomorphologie**. Mason: Paris, 1965. 494p.

VERSTAPPEN, H. T. **Applied Geomorphology**. Elsevier: Amsterdã, 1983. 437p.

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE ITAMONTE (MG) COMO SUBSÍDIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ENCLAVES NA PAISAGEM

Karinne Raposo Leite
Instituto de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora
Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n – São Pedro, Juiz de Fora/MG, 36036-900
E-mail: karinneraposoleite@gmail.com
Roberto Marques Neto
Instituto de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora
Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n – São Pedro, Juiz de Fora/MG, 36036-900
E-mail: roberto.marques@ufjf.edu.br
Thiago Martins Lopes dos Reis
Instituto de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora
Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n – São Pedro, Juiz de Fora/MG, 36036-900
E-mail: thiagom.lopes@hotmail.com

Resumo

O presente trabalho procura entender por meio da cartografia geomorfológica, aspectos estruturais e dinâmicos do sistema geomorfológico de Itamonte (MG), com objetivo de identificar enclaves na paisagem. Com a abordagem dialógica entre o mapeamento geomorfológico e os princípios zonais e azonais de interpretação da paisagem, o estudo foi proposto na escala de 1:50.000. Os resultados apontam um relevo de elevada energia, com altos declives e profundo entalhe vertical, engendrando um estado dinâmico-funcional orquestrado por conexões laterais bem marcadas. Os enclaves foram discernidos a partir de mini e mesorredutos, materializados nos patamares de cimeira, unidades geomorfológicas mapeáveis que encerram os enclaves, que são fácies e grupos de fácies de solos rasos, precariamente intemperizados e que dão aporte aos campos de altitude. Verificou-se uma conexão clara e bem estabelecida entre os compartimentos geomorfológicos altimontanos e os enclaves engendrados por controle azonal.

Palavras-chave: Mapeamento geomorfológico; enclaves; domínios altimontanos; Serra da Mantiqueira.

1. Introdução

A partir da afirmação de ROSS (1992), pela qual o entendimento do relevo e sua dinâmica passam obrigatoriamente pela compreensão do funcionamento e da inter-relação entre os demais componentes naturais, o que é de significativo interesse ao planejamento físico-territorial, o presente artigo visa compreender o sistema geomorfológico no município de Itamonte (MG) e suas relações com os enclaves na paisagem por meio da cartografia geomorfológica. A representação cartográfica dos elementos do relevo vai além de uma prática meramente corográfica, mas abrange também características estruturais e funcionais dos sistemas geomorfológicos no intuito de compreender diferentes aspectos do relevo mapeado (gênese, estrutura, cronologia, coberturas superficiais, etc.). Ainda, a cartografia geomorfológica se presta como ferramenta bastante funcional para o estabelecimento de relações entre o relevo e a paisagem, projetando assim as capilaridades e horizontes interdisciplinares contemporâneos da Geomorfologia. Tomando como princípio o que já foi retratado por Ross (1992), entender a dinâmica do relevo se volta não apenas para a compreensão de suas funcionalidades expressas na paisagem, mas também sua inter-relação com outros componentes do meio físico, como a água, a cobertura vegetal, o clima e sobretudo os solos.

Segundo Cunha e Mendes (2005), entender a estruturação do relevo é compreender a interação entre os elementos do meio físico de eventos atuais e passados, interação essa que se estabelece entre a estrutura geológica, o clima, da atividade biótica (humana e não humana) que refletem na composição pedológica e na estrutura vegetal.

No contexto da Serra da Mantiqueira Meridional, o município de Itamonte apresenta um relevo montanhoso com ocupações humanas restritas que são impostas pela própria declividade local. A predominância dos modelados de dissecação se dão mediante forte controle tectono-estrutural que se expressa de forma bem marcada na paisagem, que ostenta morfologias escarpadas e declivosas e patamares reafeiçoados gerados a partir da drenagem adaptada aos diversos planos de falhas e fraturas que configuram o relevo local e regional.

A configuração montanhosa do sistema geomorfológico em questão engendra uma série de enclaves, considerados meso e microrredutos de paisagens altimontanas cuja emergência está ligada à elevação topográfica. Considerando as relações entre tais espacialidades e a compartimentação topográfica, o presente trabalho assume o objetivo de discutir o sistema geomorfológico de Itamonte (MG) em suas relações com os enclaves existentes na paisagem, adotando a cartografia geomorfológica como ferramenta de análise e interpretação.

2. Área de estudo

Situado no limite sul de Minas Gerais, na tríplice fronteira com os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, o município de Itamonte está adstrito a um contexto montanhoso de relevos eminentemente tectônicos da Serra da Mantiqueira Meridional, que além de obstaculizar a ocupação humana de forma mais adensada, figura como uma área de potencialidades ambientais marcadas por substancial bio e geodiversidade plenamente justificadoras de enfoques conservacionistas nos planejamentos ambientais regionais.

Itamonte é marcado pela peculiaridade de estar total ou parcialmente contido em unidades de conservação em aproximadamente 70% de seu território, tanto de uso sustentável como de proteção integral (SNUC, 2001), quais sejam: Área de Proteção Ambiental (APA) Mantiqueira, Parque Estadual Serra do Papagaio (PESP), Parque Nacional do Itatiaia (PARNAITA), além da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Alto Montana da Serra Fina.

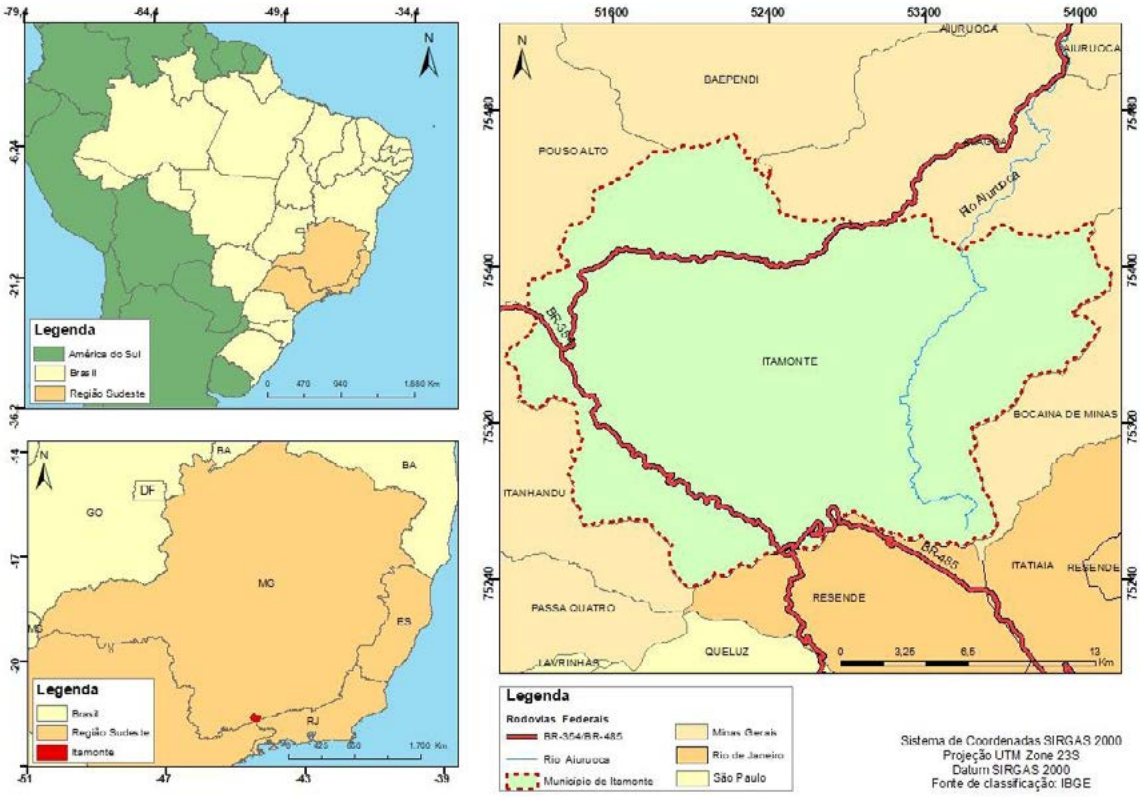


FIGURA 1: Localização do município de Itamonte, no estado de Minas Gerais.
Fonte: Arquivo dos autores.

Localizado na Mantiqueira Meridional (GATTO et al. 1983), o município de Itamonte apresenta relevo movimentado, declivoso e profundamente dissecado, em grande parte formado pelas intrusões alcalinas cretáceo-paleocenas em nefelina-sienitos que balizam o maciço do Itatiaia em parte posicionado na porção centro-leste do município. A oeste, litotipos granitoides proterozoicos definem morfologias convexas em morros e pequenas colinas, denotando também a influência da erosão diferencial associada à tectônica preservando maior volumetria topográfica nos sienitos. Segundo Marques Neto e Perez Filho (2013) o entalhamento pronunciado dos canais fluviais tectonicamente controlados define um relevo de elevada energia, no qual os processos gravitacionais de movimentos de massa e coluvionamento são conspícuos.

O relevo local apresenta uma tipicidade bem marcada em escarpas dissecadas, escarpas de falha em taludes contínuos ou vertentes reafeiçoadas em patamares, com formações de rampas coluviais espessas e depósitos de tálus formados por material detrítico de alto calibre que ocorrem sobre os colúvios argilosos ou interpenetrados a eles por efeito da inversão granulométrica forçada pelos movimentos gravitacionais copiosos. Essa configuração geomorfológica aporta florestas ombrófilas densas montana e alto montana, além de florestas estacionais semideciduais nas partes mais baixas próximas ao vale do rio Capivari, nível de base local estabelecido na faixa de 900 metros.

Nas superfícies de cimeira a vegetação se apresenta na forma de campos altimontanos ou de altitude em gradientes distintos, exibindo fitofisionomias herbáceas, arbustivas, ou mesmo arranjos complexos que coadunam os dois estratos.

O clima tropical de altitude é marcado pela presença de chuvas fortes concentradas no verão, que combinadas a um padrão de entalhe dos vales muito aprofundado, devido às altas declividades locais, deflagram movimentos de massa nas vertentes de forma a alterar a paisagem por vezes de maneira muito abrupta.

3. Metodologia

No presente estudo de caso, os dados referentes à altimetria foram extraídos a partir das cartas topográficas obtidas no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (disponível em: <https://loja.ibge.gov.br/catalogsearch/advanced/result/?sku=7650>, acesso em: novembro de 2019) em consonância com dados do projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) obtido pela parceria NASA/USGS em formato GEOTIFF com tamanho de célula de 30 x 30 m (disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, acesso em: novembro de 2019).

A partir da obtenção das cartas topográficas Passa Quatro, Pouso Alto, Alagoa e Agulhas Negras (Folhas: SF-23-Z-A-I-3; SF-23-Z-A-I-1; SF-23-Z-A-I-2 e SF-23-Z-A-I-4, respectivamente) foi organizado um mosaico com o uso do software ArcGIS articulando e georreferenciando as cartas para a compartimentação do relevo segundo seus tipos genéticos (modelados de agradação e modelados de dissecação) em conformidade aos padrões de formas semelhantes como sugerido por ROSS (1992), também aderente aos modelados da proposta de Nunes et al. (1994).

Para a obtenção de dados referentes à declividade da área de estudo foi confeccionado um mapa em software ArcGIS com base no Modelo Digital de Elevação da USGS (disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, acesso em: novembro de 2019), com o processamento dos dados realizado a partir da ferramenta Spatial Analyst.

Posteriormente, foi realizado o trato morfométrico dos modelados denudacionais para mensuração das formas de relevo e composição da matriz de dissecação, quantificando-se a dimensão interfluvial e a profundidade de dissecação da drenagem. Os resultados foram organizados na matriz de dissecação, e as relações entre o tamanho dos fatos geomórficos e sua morfologia levou ao estabelecimento de uma nomenclatura de conotação genética, conforme a tabela 1:

TABELA 1
Características morfométricas dos modelados de dissecação.

Conjunto de formas	Declividade (%)	Profundidade de dissecação (m)	Dimensão interfluvial (m)
Colinas	< 15%	< 100 m	> 1000 m
Morrotes	15% - 30%	< 100 m	< 1000 m
Morros	15% - 30%	100 – 300 m	< 1000 m
Escarpas	> 30%	> 300 m	< 1000 m

Fonte: Adaptado de PONÇANO et al. (1981).

A análise morfométrica se deu concomitantemente à interpretação de imagens de satélite (Landsat) e radar (SRTM) para diferenciação dos conjuntos de formas, representados na escala de 1/50.000. Posteriormente, com o auxílio dos trabalhos de campo, foram inseridos símbolos representativos de feições morfoestruturais e morfodinâmicas. Para fins de otimização das informações e organização cartográfica, os dados morfométricos acima informados não foram

inseridos no corpo da legenda.

Os compartimentos geomorfológicos mapeados foram interpretados em suas relações com mapeamentos de uso e cobertura gerados em software ArcGIS por máxima verossimilhança, bem como em relação a mapeamentos regionais de solos (UFLA/UFV, 2009) no intuito de interpretar as relações entre os modelados e a ocorrência de enclaves na paisagem. Tais unidades foram consideradas como manifestações azonais na paisagem, conforme a lógica de Walter (1984) e Ab'Sáber (2003), podendo ser engendradas pela litologia (litobiomas\rupestrebiomas), relevo (orobiomas), solos (pedobiomas), coberturas arenosas (psamobiomas) ou ambientes mixohalinos (halobiomas), e assim por diante.

Para a construção do mapa dos enclaves da paisagem foi feita a sobreposição de informações do mapeamento geomorfológico com o mapa de uso e cobertura da terra produzido também na escala de 1:50.000, averiguando as concordâncias espaciais entre as superfícies de cimeira e de relevos escarpados e as fitofisionomias de campo em seus dois gradientes: herbáceo e campo arbustivo.

4. Resultados e discussões

Os tipos genéticos mapeados para o município de Itamonte se dissociam em modelados de agradação e modelados de dissecação. Os modelados de agradação correspondem às planícies fluviais, morfologias estas mais bem desenvolvidas nas áreas intermontanas, sobretudo vinculadas ao nível do base do rio Capivari na faixa de 900 metros. Ocorrem também planícies alveolares altimontanas, presentes de forma descontínua nas áreas mais elevadas, muitas vezes vinculadas à formação de turfeiras e de pequena expressão espacial.

Os modelados de dissecação foram assim organizados: patamares de cimeiras (topos e altas encostas), escarpas dissecadas em bloco falhado, vertentes reafeiçoadas em patamares, além de modelados de dissecação mais homogênea tipificados em morros, morrotes, morros e morrotes associados e colinas, vinculados às litologias pré-cambrianas, que definem marcada erosão diferencial em relação aos nefelina-sienitos (figura 2 e 3).

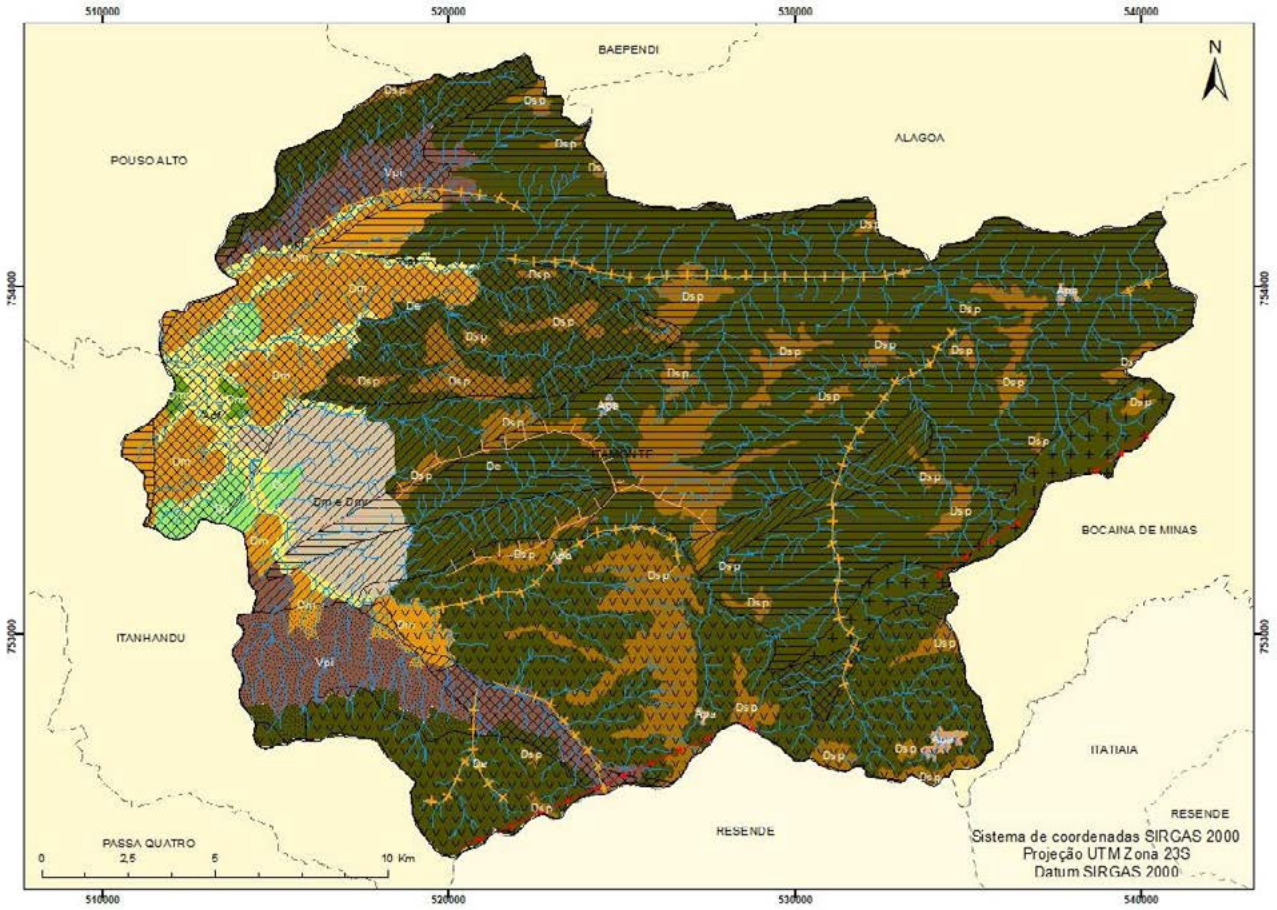


FIGURA 2: Mapa geomorfológico do município de Itamonte (MG).
Fonte: Arquivo dos autores.

Legenda

MA	Apf				Apa		
MD	Dsp	De	Vpi	Dm	Dmr	Dm e Dmr	Dc

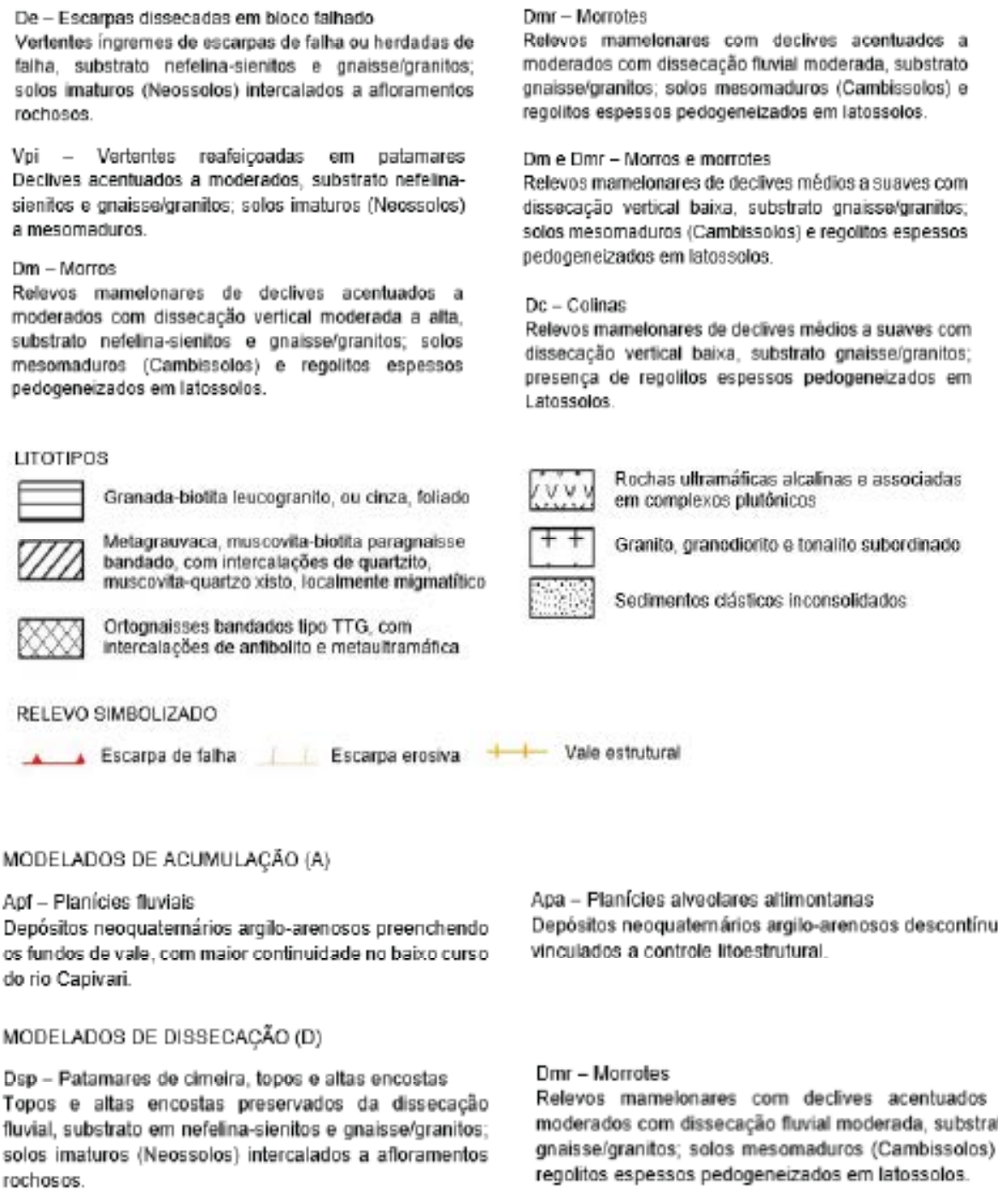


FIGURA 3: Legenda geomorfológica do município de Itamonte, no estado de Minas Gerais. Fonte: Arquivo dos autores.

O mapeamento geomorfológico deve ser entendido como um meio para a interpretação da dinâmica do relevo local e servir como base para estudos posteriores, subsidiando o entendimento do sistema geomorfológico e suas relações com os elementos bióticos e abióticos da paisagem, pauta fundamental na construção de um planejamento que atenda as peculiaridades da área em estudo em suas tipicidades, mas também considerando especificidades espaciais e seus elementos únicos, quando houver.7

Em Itamonte, tal como no contexto geral das altas cristas e escarpamentos da Serra da Mantiqueira, os enclaves na paisagem (figura 4) estão estreitamente relacionados aos Patamares de cimeira (Dps) e aos setores mais elevados das Escarpas dissecadas em bloco falhado (De). Indefectivelmente, nesses geoambientes as florestas tropicais úmidas e multiestratificadas dão lugar às formações florestais nebulares e de baixo porte arbóreo, além dos campos de altitude que se consubstanciam em paisagens únicas e de elevado valor ambiental.

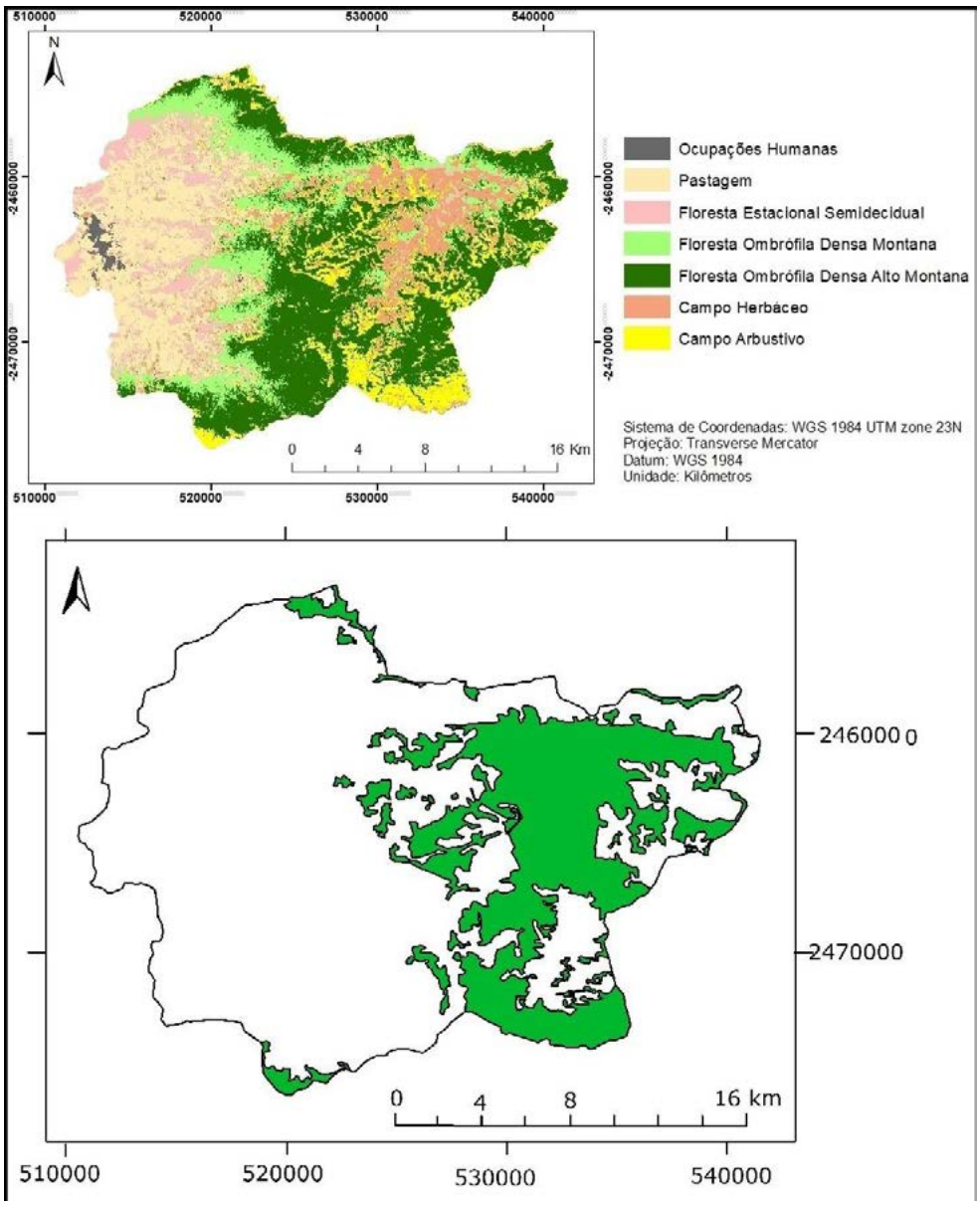


FIGURA 4: Enclaves na paisagem presentes no município de Itamonte (MG).
Fonte: Arquivo dos autores.

Na região dos grandes escarpamentos do sudeste brasileiro o limiar altimétrico dos campos de altitude posiciona-se em torno de 1800 metros, podendo haver pequenas variações conforme as condições litopedológicas locais e a orientação das vertentes. Relacionam-se, portanto, a compartimentos geomorfológicos específicos definidos pelas superfícies somitais, mantendo, portanto, uma aderência bastante explícita com o relevo. Isso significa que os enclaves vegetacionais formam uma integridade bem marcada com a organização geomorfológica local, padrão marcadamente observado no contexto regional. É nas cimeiras locais, seja em topos aplai-

nados, seja em escarpas íngremes onde os processos pedogenéticos são incipientes, que os campos de altitude eclodem.

Formam-se, dessa maneira, enclaves de paisagem, mini e mesorredutos que se diferenciam dos ecossistemas dominantes em termos de estrutura, composição e função geoecológica. Tais espacialidades, indubitavelmente, apresentam aptidões próprias ao manejo, bem como valores ambientais e científicos distintos, o que suscita a necessidade de modelos de planejamento próprios capazes de atender a tais especificidades. Os enclaves, portanto, refletem em grande medida a própria espacialidade do relevo, aproximando a cartografia geomorfológica dos estudos integrados da paisagem e sublinhando seu papel na identificação, interpretação e mapeamento de paisagens de exceção.

5. Considerações finais

Paisagens montanhosas são dotadas de uma série de singularidades que imputam em tais espacialidades um significativo valor ambiental. A elevada energia do relevo engendrada por elevadas amplitudes e declives, canais incisos em vales profundos com leitos dominantemente rochosos, associa-se à portentosa geodiversidade e recorrentes endemismos que eclodem em padrões disjuntos de distribuição que os compartimentos montanhosos naturalmente influenciam.

A cartografia geomorfológica aplicada à regiões montanhosas se depara com as aludidas singularidades. É necessário que o relevo seja visualizado e abstraído segundo os diferentes níveis altimétricos separados por *knicks* que demarcam dos diferentes níveis de base locais e regionais. O resultado dessa organização geomorfológica é um relevo escalonado onde os diferentes blocos tendem a apresentar uma organização erosiva própria, mas que estabelecem uma conexão dinâmico-funcional bem marcada em função da elevada lateralidade que marca o relevo regional.

Para além das especificidades geomorfológicas, a cartografia do relevo também pode ser acionada no planejamento e gestão ambiental dessas áreas na medida em que é capaz de capilarizar as singularidades das áreas montanhosas no seu escopo geral. Não raro, tais áreas são visadas em projetos conservacionistas e albergam unidades de conservação muitas vezes de proteção integral, como é o caso da área de estudo, favorecida pela existência de geomorfossítios importantes, tanto no Parque Nacional do Itatiaia como na área do Monumento Natural Pedra do Picu. Em Itamonte, reafirmando o exposto, existe uma relação de aderência entre a vegetação de altitude e o relevo, realçando os enclaves que coroam as superfícies somitais ao longo das paisagens montanhosas do sudeste brasileiro.

Referências

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza do Brasil:** potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.

ALMEIDA, F. F. M. & CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150. 1998.

CUNHA, C. M. L; MENDES, I. A. Proposta de análise integrada dos elementos físicos da paisagem: uma abordagem geomorfológica. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 111-120. 2005.

GATTO, L. C. S.; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H. B.; MAURO, C. A.; ALVARENGA, S. M.; FRANCO, E. M. S.; QUIRICO, A. F.; NEVES, L. B. Geomorfologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

MARQUES NETO, R.; PEREZ FILHO, A. Análise morfoestrutural e morfotectônica da bacia do rio Capivari, sul de Minas Gerais: a neotectônica e as superfícies geomorfológicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 4, p. 271-277. 2013.

MARQUES NETO, R.; PEREZ FILHO, A. Papel da tectônica na dinâmica e evolução da paisagem na Serra da Mantiqueira, sudeste do Brasil. **Anales do XIV Encuentro de Geógrafos de América Latina. Lima-Peru**, p. 1-17, 2013. Disponível em: <http://www.egal2013.pe/10-geografia-fisica/>. Acesso em: 20 nov. 2019.

NUNES, B. A.; RIBEIRO, M. I. C.; ALMEIDA, V. J.; NATALI FILHO, T. Manual técnico de geomorfologia. **IBGE**, Rio de Janeiro, p. 113. 1994.

PORTO, C. G. Intemperismo em regiões tropicais. 2° ed. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.) **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, p. 25-57. 1998.

RICCOMINI, C., SANT'ANNA, L. G. & FERRARI, A. L. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: Mantesso-Neto, V., A. Bartorelli, C. D. R. Carneiro & B. B. Brito-Neves (Eds.). **Geologia do continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Editora Beca, São Paulo, p. 383-405. 2004.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**. n. 6, 1992.

SANTOS, R. F. Planejamento ambiental: teoria e prática. **Oficina de Textos**. 2004.

VASCONCELLOS, M. F. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 241-246. 2011.

WALTER, H. **Vegetação e zonas climáticas**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária. 5° ed., 1984.

MAPEAMENTO MORFOESCULTURAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GAVIÃO, SUDESTE DA BAHIA

Weldon Ribeiro Santos
Universidade Federal da Bahia
Av. Adhemar de Barros, s/n, Campus Universitário de Ondina
CEP: 40.170-110 Salvador-BA
E-mail: dablioribeiro@hotmail.com
Grace Bungenstab Alves
Universidade Federal da Bahia
Av. Adhemar de Barros, s/n, Campus Universitário de Ondina
CEP: 40.170-110 Salvador-BA
E-mail: gracebalves@gmail.com
Marco Antonio Tomasoni
Universidade Federal da Bahia
Av. Adhemar de Barros, s/n, Campus Universitário de Ondina
CEP: 40.170-110 Salvador-BA
E-mail: tomasoni@ufba.br
Ilo Cesar Menezes de Andrade
Universidade Federal da Bahia
Av. Adhemar de Barros, s/n, Campus Universitário de Ondina-BA
CEP: 40.170-110 Salvador
E-mail: ilo.menezes@gmail.com

Resumo

Os processos geológico-geomorfológicos são fundamentais para compreender a evolução de uma paisagem. Na região semiárida, como é o caso da bacia hidrográfica do rio Gavião, afluente da margem direita do rio de Contas, evidências de metamorfismo regional, soerguimentos e desnudação demonstram essa relação. Nesse sentido, o trabalho buscou discutir os processos determinantes na elaboração da paisagem da área de estudo. Para tanto, foram realizados trabalhos de campo visando reconhecer as unidades geológicas e geomorfológicas da área de estudo, com coleta de pontos de controle via GPS e descrição das principais paisagens observadas. Além disso, foram executadas representações cartográficas a partir de dados SRTM. Com isso, foram estabelecidas as seguintes unidades morfoesculturais: Pediplano Sertanejo Retocado Inumado, Planalto da Conquista, Planalto dos Geraizinhos, Relevos Graníticos Dissecados, Relevos Metamórficos Dissecados, Serra da Inhaúma e Serras Setentrionais do Espinhaço.

Palavras-chave: Evolução de Longo-Termo – Rio Gavião - Morfoescultura.

1. Introdução

O Rio Gavião faz parte do sistema hidrográfico do Rio de Contas, estando sua nascente localizada no município de Jacaraci e sua foz localizada entre os municípios de Tanhaçu e Mirante, no Sudeste da Bahia (Figura 1). Inserida integralmente no Semiárido Nordestino, a área de estudo apresenta importante diversidade ambiental, destacando-se os aspectos geológicos e geomorfológicos.

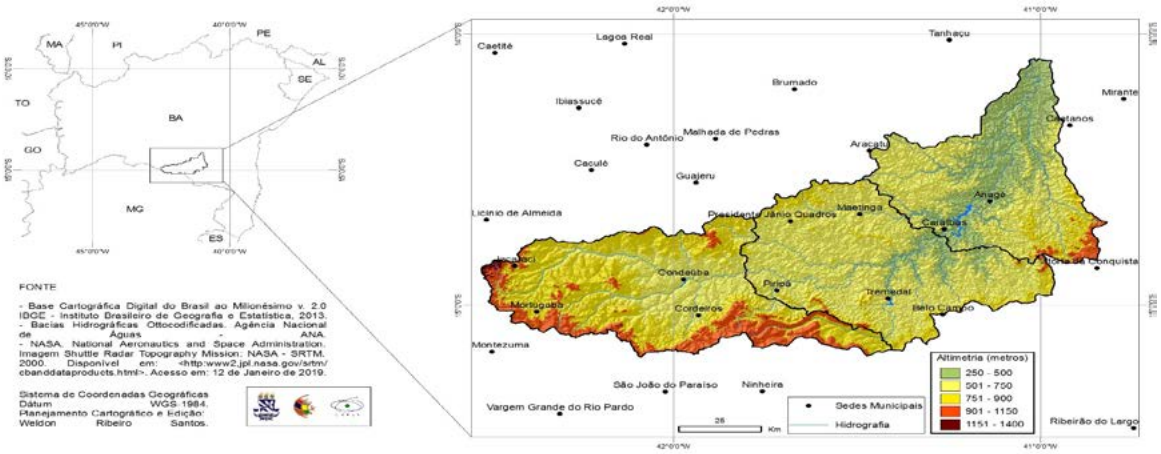


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Gavião. Fonte: IBGE, 2013; ANA, s/d; NASA, 2000. Elaboração: Weldon Ribeiro Santos, 2020.

Os diferentes materiais litológicos e as variadas formas do relevo refletem a ação concomitante da evolução morfoestrutural e morfoescultural, os quais influenciam e são influenciados pelas diferentes coberturas pedológicas, algumas delas discordantes com as condições ambientais atuais.

Com este entendimento buscamos acompanhar os avanços da ciência geomorfológica do Semiárido Nordestino, na medida em que se baseiam nas concepções acerca das superfícies de aplainamento (KING, 1956; VALADÃO, 1998; 2009), mas também visam explicar a evolução do relevo sob o viés estrutural. Além disso, a relação entre relevo e solo é entendida aqui como ação conjunta e não antagônica (TRICART, 1968; QUEIROZ NETO, 2000).

Nesse sentido, percebe-se um desenvolvimento relevante de pesquisas geomorfológicas na parte setentrional do Semiárido (CORRÊA et al., 2014; MAIA & BEZERRA, 2014; CORRÊA et al., 2019; COSTA et al., 2020). No entanto, na Bahia e, especificamente, no Sudeste do estado pouco são os trabalhos executados (TRICART & SILVA, 1968, ALMEIDA, 1979; MAIA, 2005; LIMA et al (2006). Tal fato é compensado, em parte, pelas pesquisas geológicas desenvolvidas na área de estudo (MARINHO, 1982; BARBOSA et al., 2003; BARBOSA & SABATÉ, 2003; MARINHO et al., 2009; ALKMIM, 2012; BARBOSA et al., 2012; LEITE & MARINHO, 2012; CPRM 2013; 2015a; 2015b; 2017).

A partir do exposto, é necessário o desenvolvimento de pesquisas geomorfológicas na área de estudo. Desta forma, nosso objetivo é apontar considerações para o entendimento do processo evolutivo a partir da caracterização das unidades morfoesculturais. Para tanto, executamos levantamentos bibliográficos e cartográficos, trabalhos de campo e mapeamentos temáticos. Pudemos perceber que o processo de abertura de vales e de aplainamento do relevo, executado pelo Rio Gavião e seus tributários, estariam indicando o ajustamento desse sistema hidrográfico no sentido de atingir seu perfil de equilíbrio. Nesse sentido, as áreas mais elevadas e/ou movimentadas (Planalto da Conquista, Planalto dos Geraizinhos, Serra da Inhaúma e Serras Setentrionais do Espinhaço) estariam sendo

desnudadas se configurando, possivelmente, enquanto etapas iniciais que o Pediplano Sertanejo Retocado Inumado já teria passado. Os Relevos Graníticos Dissecados e os Relevos Metamórficos Dissecados funcionariam como unidades de transição entre um estágio e outro. Além disso, os climas pretéritos de maior umidade teriam proporcionado a formação de solos bem desenvolvidos, como, por exemplo, os Latossolos nos Planaltos da Conquista e dos Geraizinhos, assim como os Argissolos no Pediplano Sertanejo Retocado Inumado. Tal entendimento perpassa a noção de atuação pretérita da etchplanação e, na atualidade, de controle por pediplanação.

O processo de etchplanação teria como início uma condição de estabilidade tectônica e clima tropical semiúmido ou quente e úmido, onde o intemperismo químico fosse intenso e constante. Com a formação de espesso manto de intemperismo seria formada dois fronts de alteração, a superfície exumada de lavagem (washing surface) concebida como o modelado propriamente dito onde predominam os processos mecânicos de escoamento pluvial e a superfície basal de intemperismo ou front de alteração (leaching surface) a qual se localiza em subsuperfície e onde predominam os processos de lixiviação e desnudação química (VITTE, 2001; 2005; SALGADO, 2007). Assim, o rebaixamento do relevo seria produto da ação conjunta do intemperismo químico, da pedogênese e das diferenças de resistência das rochas e dos minerais.

Na pediplanação o processo se iniciaria a partir de soerguimentos que formariam novos níveis de base, implicando assim no aumento da incisão fluvial. Com o rebaixando dos leitos fluviais até uma cota em equilíbrio com os novos níveis de base ocorreria o alargamento dos vales fluviais e a retração lateral das vertentes (backwearing). Com o acúmulo de material detrítico oriundo das fases anteriores seriam formadas rampas suaves na base da vertente, as quais são denominadas de pedimentos e no decorrer do tempo esses pedimentos seriam coalescidos formando uma ampla superfície aplainada – o pediplano, mais jovem e com menor cota altimétrica em relação aos relevos residuais que destoariam da paisagem geral. (PAZZAGLIA, 2003; SALGADO, 2007).

2. Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Gavião está inserida, majoritariamente, no Cráton do São Francisco (CSF) e, em menor extensão, na Faixa Araçuaí. O CSF na Bahia tem sua formação associada à Colagem Paleoproterozoica (Ciclo Geotectônico Transamazônico), em que colisões de segmentos crustais provocaram sucessivos mecanismos tectônicos que amalgamaram unidades de rochas Arqueanas com unidades de rochas Paleoproterozoicas (BARBOSA et al., 2003). A Faixa Araçuaí é um cinturão dobrado, o qual foi formado durante o Ciclo Geotectônico Brasiliano (ALKMIM, 2012; SCHAEFER, 2013).

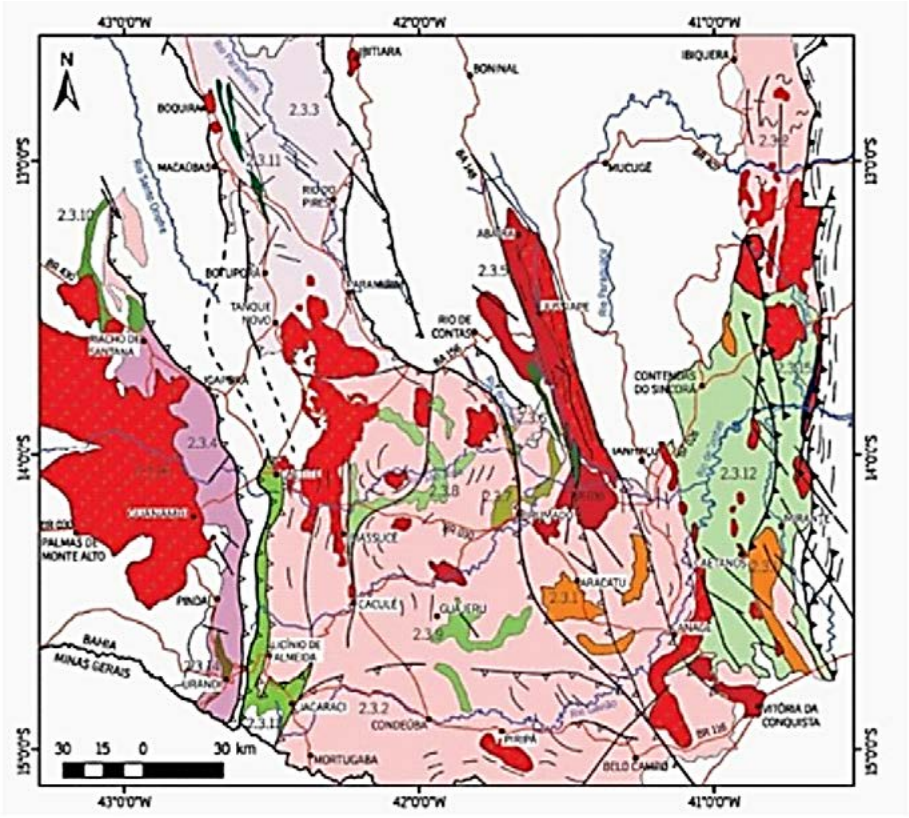
O Ciclo Transamazônico praticamente apagou o registro de deformações e metamorfismos anteriores. Assim, o CSF na Bahia é resultante da junção de segmentos crustais, constituído pelo Bloco Itabuna-Salvador-Curaçá, Serrinha, Jequié e Gavião (BARBOSA et al., 2003).

O Bloco Gavião é o segmento crustal mais antigo do CSF na Bahia, pois abarca remanescentes de suítes TTG, consideradas as mais antigas da América do Sul (⊦ 3,4 Ga) (BARBOSA & SABATÉ, 2003). Barbosa et al. (2012a) explicam que as litologias do tipo TTG intrudiram na Sequência Metavulcanossedimentar Contendas-Mirante e no Complexo Gnáissico-Migmatítico em diversos pontos.

Na área de estudo o Bloco Gavião é composto pelas seguintes unidades litológicas: Rochas TTG, Complexo Gnáissico-Migmatítico, Granitoides e Sequência Metavulcanossedimentar Contendas-Mirante (Figura 2). Além disso, ocorrem as Formações Superficiais Cenozoicas.

O Complexo Gnáissico-Migmatítico é constituído por ortognaisses e migmatitos, leucocráticos, de coloração cinza, granulação fina a média e composição tonalítica a granodiorítica, localmente granítica. Nessas rochas paraderivadas podem ser encontrados quartzo, diopsídio, plagioclásio, micas, granada, anfibólios, cordierita, dentre outros minerais (Barbosa et al., 2012a).

Por sua vez, a ocorrência de granitoides está associada ao Mesoarqueano e ao Neoarqueano, quando houve a formação de corpos granitoides alcalinos que foram posteriormente ortognaissificados na fácies anfibolito (Barbosa et al., 2012b). Nesse contexto, se enquadram os granitoides da Suíte Serra dos Pombos, Suíte Anagé, Suíte Caraguataí e a Unidade Bate-Pé - Tremedal, dentre outros (CPRM, 2015a, 2015b).



LEGENDA

PALEOPROTEROZOICO
- Granitoides (sub-item 2.3.16 e CAPÍTULO V)

NEOARQUEANO-PALEOPROTEROZOICO
- *Sill* do Rio Jacaré-Fazenda (subitem 2.3.15 e CAPÍTULO VII)
- Sequencia Metavulcanossedimentar Urandi (subitem 2.3.14 e CAPÍTULO IV)
- Sequencia Metavulcanossedimentar Caetité- Licínio de Almeida (subitem 2.3.13 e CAPÍTULO IV)
- Sequencia Metavulcanossedimentar Contendas-Mirante (subitem 2.3.12 e CAPÍTULO VI)
- *Greenstone Belt* Boquira (subitem 2.3.11 e CAPÍTULO IV)
- *Greenstone Belt* Riacho Santana (subitem 2.3.10 e CAPÍTULO IV)
- *Greenstone Belt* Guajeru (subitem 2.3.9 e CAPÍTULO IV)
- *Greenstone Belt* Ibitira-Ubiraçaba (subitem 2.3.8 e CAPÍTULO IV)
- *Greenstone Belt* Brumado (subitem 2.3.7 e CAPÍTULO IV)
- *Greenstone Belt* Umburanas (subitem 2.3.6 e CAPÍTULO IV)

MESOARQUEANO - NEOARQUEANO
- Granitoides (subitem 2.3.5 e CAPÍTULO V)

PALEOARQUEANO-MESOARQUEANO
- Complexo Santa Isabel (subitem 2.3.4)
- Complexo Paramirim (subitem 2.3.3)
- Gnaisses e Migmatitos (subitem 2.3.2)

PALEOARQUEANO
- Rochas Tonalíticas, Trondhjemíticas e Granodioríticas (TTG's) (subitem 2.3.1 e CAPÍTULO V)

ESTRUTURAS
- Lineamentos estruturais
- Eixo das Principais Dobras
- Falhas extensionais
- Transempurrões Neoproterozoicos
- Transempurrões Paleoproterozoicos

CARTOGRAFIA
- Cidades
- Vias de acesso
- Drenagens
- Lagoas

Figura 2. Mapa geológico do Bloco Gavião (partes oeste, central e sul). Fonte: Fonte: Barbosa & Dominguez, 1996; Barbosa et al., 2012.

Já a Sequência Metavulcanossedimentar Contendas-Mirante é definida como uma zona de sutura incompleta entre os blocos Gavião, de médio grau metamórfico com terrenos gnáissico-migmatítico-graníticos a oeste, e Jequié, de predominância granulítica a leste. Os contatos dessa sequência com as litologias dos blocos citados são bruscos, sublinhados por zonas de cisalhamento (MARINHO, 1982; LEITE & MARINHO, 2012).

As Formações Superficiais Cenozoicas são constituídas por coberturas detrito-lateríticas ferruginosas. Segundo CPRM (2015a, 2015b), as Formações Superficiais Cenozoicas datam do Neógeno ao Quaternário e são definidas como depósitos inconsolidados a pouco consolidados, arenosos e areno-argilosos, de coloração cinza amarelado a vermelho alaranjado, com nível de cascalho com seixos de quartzo arredondados e níveis de concreções lateríticas no contato com o substrato.

No alto curso do Rio Gavião a Faixa Araçuaí também denominada de Orógeno Araçuaí, aflora com frequência, como, por exemplo, nos municípios de Jacaraci e Mortugaba (CRUZ et al., 2012). Sobre isso, Barbosa et al. (2003) explicam que no fim do Proterozoico, colisões nas margens do CSF formaram os cinturões dobrados, como, por exemplo, a Faixa Araçuaí (parte leste). Esta faixa é composta por litologias do Supergrupo Espinhaço, sendo as rochas mais frequentes xistos, metarcóseos, metarenitos, filitos, quartzitos feldspáticos, dentre outras.

O metamorfismo regional resultante do espessamento crustal, gerado pelos processos colisionais dos blocos do CSF no Paleoproterozoico (BARBOSA & SABATÉ, 2003) está associado a forças compressivas, as quais estão diretamente relacionadas com falhamentos inversos em antigas margens ativas. Nesse regime compressivo o metamorfismo regional tende a ser acompanhado pela deformação dúctil (dobramentos), os quais implicam em soerguimentos (GROTZINGER & JORDAN, 2013).

Esta conjuntura explica o fato do sistema hidrográfico do Rio Gavião possuir significativo controle estrutural, pois os lineamentos são frequentes e condicionam a drenagem. Tal panorama é comum nas áreas semiáridas com rochas cristalinas e drenagens intermitentes e/ou efêmeras (MAIA & BEZERRA, 2014). Assim, pode-se dizer que a Colagem Paleoproterozoica (Ciclo Geotectônico Transamazônico) e o Ciclo Geotectônico Brasiliano foram os principais eventos tectono-estruturais responsáveis pela morfoestrutura da área de estudo.

3. Metodologia

O levantamento bibliográfico e cartográfico de pesquisas geológicas e geomorfológicas da área de estudo foi à primeira etapa deste artigo. Posteriormente, foram adquiridas imagens de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 30 metros, obtidas no site https://earthdata.nasa.gov/ da NASA. Tais imagens orbitais serviram de base para a execução de representações cartográficas (mapa de localização e mapa morfoescultural), lineamentos estruturais, perfis topográficos e gráficos de rosetas. Os softwares utilizados foram o ArcGIS 10.7 free trial, o Global Mapper 20.1 free trial, o QGIS Desktop 3.4.0 e Orfeo ToolBox.

Visando associar as bases teóricas levantadas com a prática, foram executados dois trabalhos de campo. No primeiro trabalho de campo o reconhecimento das unidades litológicas e formas do relevo foi o objetivo principal. Já no segundo trabalho de campo a ênfase foi dada ao estabelecimento inicial das unidades morfoesculturais, assim como ao entendimento preliminar da evolução de Longo-Termo da área de estudo. Tais atividades foram acompanhadas pela coleta de pontos de controle pelo sistema de posicionamento global (GPS), pela realização de um acervo fotográfico dos pontos mais significativos e, por fim, pelas descrições físico-geográficas das paisagens visitadas.

O mapa morfoescultural foi executado no ArcGIS 10.7 free trial e teve como base a imagem SRTM, assim como o relevo sombreado obtido a partir da mesma via ferramenta ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Hillshade. Além disso, foram utilizados os mapas geológicos disponíveis para a área de estudo, a saber: Marinho (1982), Marinho et al. (2009), CPRM (2013; 2015a; 2015b; 2017).

Os lineamentos estruturais foram obtidos a partir das seguintes etapas: Correção da imagem SRTM no ArcGIS através da ferramenta ArcToolBox → Spatial Analyst Tools → Hidrology → Fill. No QGIS através do plugin Orfeo ToolBox foram gerados os lineamentos estruturais utilizando a ferramenta Line Segment Detection. O arquivo vetorial resultante (shapefile) foi interpretado no ArcGIS para exclusão de feições espúrias. Por fim, o gráfico de rosetas foi realizado a partir dos lineamentos da etapa anterior, mediante o plugin Azimuthfinder e o software Visible geology.

4. Resultados e discussões

A partir do levantamento bibliográfico e cartográfico realizado foi possível estabelecer sete unidades morfoesculturais para a bacia hidrográfica do Rio Gavião, definidas pela correlação dos aspectos geológicos e geomorfológicos comuns, ainda que a sobreposição seja aproximativa. Nesse sentido, foram estabelecidas as seguintes unidades morfoesculturais: Pediplano Sertanejo Retocado Inumado, Planalto da Conquista, Planalto dos Geraizinhos, Relevos Graníticos Dissecados, Relevos Metamórficos Dissecados, Serra da Inhaúma e Serras Setentrionais do Espinhaço (Figura 3).

O Pediplano Sertanejo Retocado Inumado se caracteriza por ser uma superfície de aplainamento elaborada durante fases sucessivas de retomada de erosão sem, no entanto, perder suas características de superfície deprimida (LIMA et al., 2006), com altitude variando entre 300 a 500 metros. Do ponto de vista geológico predominam rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico e da Sequência Metavulcanossedimentar Contendas-Mirante.

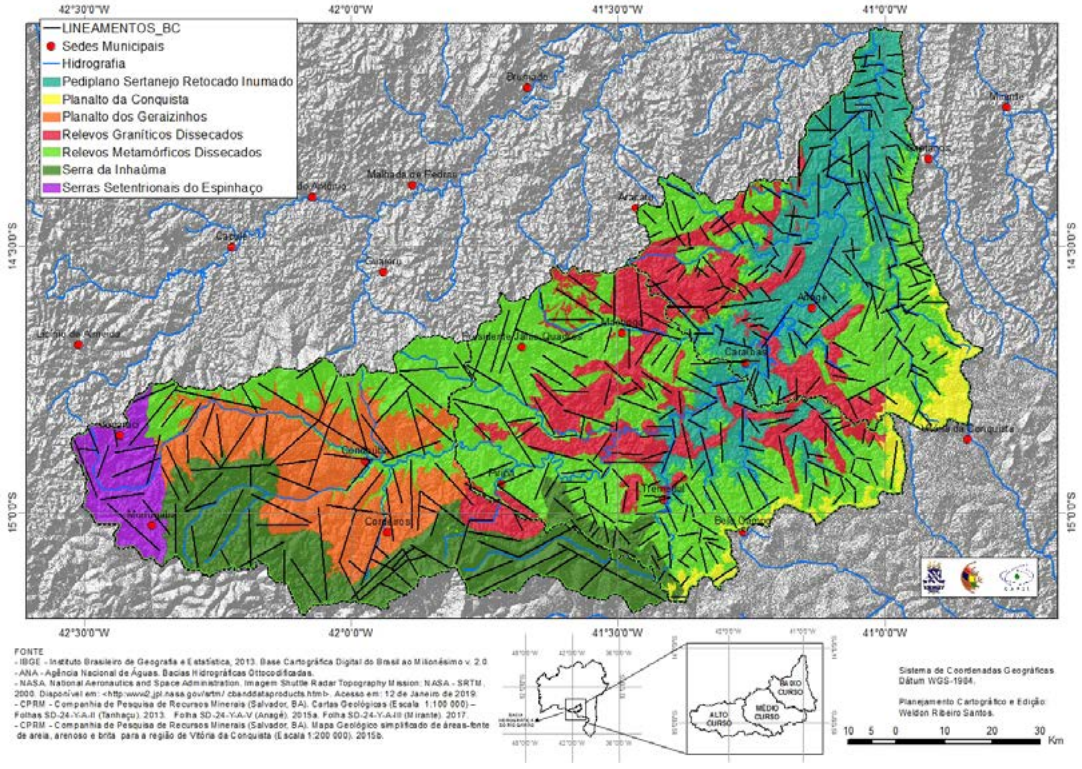


Figura 3. Mapa Morfoescultural da bacia hidrográfica do Rio Gavião, Bahia. Fonte: IBGE, 2013; ANA, s/d; NASA, 2000; CPRM, 2013; 2015a; 2015b; 2017. Elaboração: Weldon Ribeiro Santos, 2020.

O Planalto da Conquista está inserido no Planalto Sul Baiano, possui uma orientação SW-NE e limites marcados por vertentes abruptas (MAIA, 2005). As altimetrias dessa unidade morfoescultural situam-se entre 700 e 1100 metros, constituindo assim um grupo de formas do relevo de marcada proeminência topográfica, sendo classificados por Corrêa et al. (2019) como Maciços do Leste da Bahia. A norte e a oeste de Vitória da Conquista o Planalto apresenta-se nitidamente rampeado, fundindo-se com os Relevos Metamórficos Dissecados (BRASIL, 1981).

O Planalto dos Geraizinhos caracteriza-se, geomorfologicamente, por extensas áreas de topografia tabular, constituídas por depósitos detríticos do Terciário e do Quaternário (Formações Superficiais Cenozoicas). As formas de relevo mais comuns são planos inclinados, localmente formando colinas amplas (BRASIL, 1981). As altitudes dessa unidade morfoescultural situam-se entre 700 e 900 metros.

Os Relevos Graníticos Dissecados compõem uma unidade de feições proeminentes e movimentadas, representada, principalmente, por serras com controle marcadamente estrutural (Serra dos Pombos, Serra do Feijão, Serra de José Francisco, Serra do Vital e etc.). Corrêa et al. (2014) mencionam que em rochas granitoides, as microfraturas e a textura fanerítica favorecem uma desagregação granular inicial, em virtude dos diferentes coeficientes de dilatação dos minerais nas amplitudes térmicas diárias comuns no semiárido.

Os Relevos Metamórficos Dissecados representam uma transição das áreas de maior elevação (Planalto da Conquista, Planalto dos Geraizinhos, Serra da Inhaúma) para o Pediplano Sertanejo Retocado Inumado. Tal unidade morfoescultural é constituída por litologias do Complexo Gnáissico-Migmatítico e da Sequência Metavulcanossedimentar Contendas-Mirante. Caracteriza-se por relevos dissecados bastante uniformes, compondo sucessões de amplas e baixas colinas. Os interflúvios têm topo abaulado e vertentes dispostas como planos inclinados, por vezes convexo-côncavas, de fraca inclinação (BRASIL, 1981).

A Serra da Inhaúma possui orientação leste e oeste, e atua, juntamente, com os Planaltos da Conquista e dos Geraizinhos, e as Serras Setentrionais do Espinhaço como divisor de drenagem, entre as bacias hidrográficas do Rio Pardo e do Rio de Contas. Do ponto de vista geológico, faz parte da Faixa Araçuaí e possui litologias do Supergrupo Espinhaço (BRASIL, 1981).

A Serra do Espinhaço Setentrional também está situada na Faixa Araçuaí, orienta-se na direção geral NNW e corresponde a uma faixa de afloramento das rochas dos supergrupos Espinhaço e São Francisco. De modo geral, a sua morfologia é de um espigão pronunciado, marcado por paisagens ruiniformes e estreitas faixas de campos de altitude (ALKMIM, 2012). A nascente do Rio Gavião se encontra nessa unidade morfoescultural O quadro a seguir apresenta as unidades morfoesculturais e suas principais características geológicas e geomorfológicas (Figura 4).

O Ciclo Transamazônico e o Ciclo Brasiliano foram os eventos tectono-estruturais responsáveis pela formação das litologias da área de estudo (Granitoides, Complexo Gnáissico-Migmatítico, etc.), a qual passou por orogenias e metamorfismo regional, condicionando desse modo a morfoestrutura regional.

Entre o Mioceno e o Pleistoceno ocorreram soerguimentos associados à atividade neotectônica que contribuíram para o arqueamento das atuais unidades morfoesculturais mais elevadas (VALADÃO, 1998). Almeida (1979) afirma que tais soerguimentos foram acompanhados de falhas e fraturas que afetaram as superfícies de cimeira e intensificaram a erosão. De modo geral, os lineamentos da área de estudo expressam movimentos compressivos de direção principal 356,8° e frequência máxima de 8,2% (Figura 5).

UNIDADES MORFOESCULTURAIS	GEOLOGIA			GEOMORFOLOGIA	
	UNIDADE	LITOLOGIA	IDADE	TIPO DE MODELADO	ALTIMETRIA
PEDIPLANO SERTANEJO RETOCADO INUMADO	Complexo Gnáissico-Migmatítico	Rocha metaultramáfica, Metamáfica, Ortognaisse granodiorítico, Migmatito	Paleoarqueano	Aplainamento	300 - 500 metros
	Sequência Metavulcanossedimentar Contendas-Mirante	Metarenito, Filitos, Metassiltitos, Rochas xistosas, Metagrauvaca	Paleoproterozoico		
PLANALTO DA CONQUISTA	Formações Superficias Cenozoicas	Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas	Neógeno - Quaternário	Aplainamento	700 - 1100 metros
PLANALTO DOS GERAIZINHOS	Formações Superficias Cenozoicas	Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas	Neógeno - Quaternário	Aplainamento	700 - 900 metros
RELEVOS GRANÍTICOS DISSECADOS	Suíte Anagé, Suíte Serra dos Pombos, Suíte Caraguataí, Unidade Bate Pé-Tremdedal, Granitoide Piripá	Monzogranito, Metagranito, Metagranodiorito	Paleoproterozoico-Neoarqueano-Mesoarqueano	Dissecação	300 - 900 metros
RELEVOS METAMÓRFICOS DISSECADOS	Complexo Gnáissico-Migmatítico	Rocha metaultramáfica, Metamáfica, Ortognaisse granodiorítico, Migmatito	Paleoarqueano	Dissecação	300 - 900 metros
	Sequência Metavulcanossedimentar Contendas-Mirante	Metarenito, Filitos, Metassiltitos, Rochas xistosas, Metagrauvaca	Paleoproterozoico		
SERRA DA INHAÚMA	Supergrupo Espinhaço (Grupo Macaúbas)	Xisto, Metarcóseo, Metarenito	Neoproterozoico	Dissecação	700 - 1100 metros
	Formações Superficias Cenozoicas	Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas	Neógeno - Quaternário		
SERRAS SETENTRIONAIS DO ESPINHAÇO	Supergrupo Espinhaço (Formação Mosquito)	Biotira xito, Mica quartzito	Paleoproterozoico	Dissecação	700 - 1300 metros
	Supergrupo Espinhaço (Formação Fazendinha)	Filito, Quartzito feldspático, Mica quartzito	Paleoproterozoico		

Figura 4. Unidades Morfoesculturais e principais aspectos geológicos e geomorfológicos. Fonte: Adaptado de Brasil (1981), Marinho (1982), Marinho et al. (2009) Barbosa et al. (2012), Leite & Marinho (2012), CPRM (2013; 2015a; 2015b; 2017). Elaboração: Weldon Ribeiro Santos, 2020.

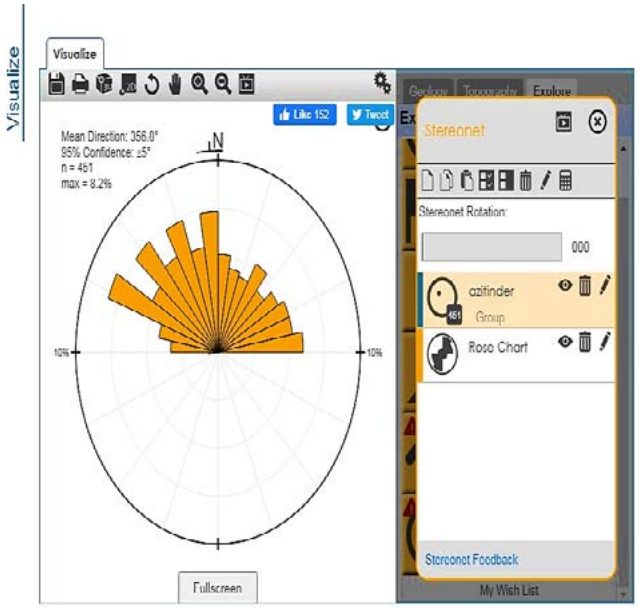


Figura 5. Gráfico de rosetas dos lineamentos da área de estudo. Fonte: NASA, 2000; CPRM, 2013; 2015a; 2015b; 2017. Elaboração: Weldon Ribeiro Santos, 2020.

Nesse sentido, foi possível perceber a partir dos trabalhos de campo que o Rio Gavião e seus tributários estão atuando no processo de abertura de vales e de aplainamento do relevo, indicando assim um ajustamento desse sistema hidrográfico no sentido de atingir seu perfil de equilíbrio. A atuação fluvial é o principal elemento da desnudação e, nos ambientes semiáridos, os eventos pluviométricos de alta magnitude e baixa frequência são os responsáveis pelos processos erosivos dessas paisagens.

Enquanto as unidades morfoesculturais mais elevadas vêm sendo desnudadas (Planalto da Conquista, Planalto dos Geraizinhos, Serra da Inhaúma e Serras Setentrionais do Espinhaço), o Pediplano Sertanejo Retocado Inumado se encontra em estágio mais avançado de aplainamento. Os Relevos Graníticos Dissecados e os Relevos Metamórficos Dissecados representam unidades de transição entre um estágio e outro.

Por fim, os climas pretéritos de maior umidade proporcionaram a formação de solos bem desenvolvidos (Latossolos nos Planaltos da Conquista e dos Geraizinhos e Argissolos no Pediplano Sertanejo Retocado Inumado). Possivelmente a etchplanação foi o processo prevalente na evolução pedogeomorfológica pretérita e na atualidade, o clima semiárido proporciona um controle por pediplanação.

5. Considerações finais

A pesquisa aqui desenvolvida possibilita inferir um modelo evolutivo preliminar para a área de estudo. De modo geral, as litologias cristalinas e os relevos com forte controle estrutural se caracterizam pela grande quantidade de falhamentos e dobramentos, os quais indicam forças compressivas significativas do metamorfismo regional nas rochas do embasamento do Cráton do São Francisco. Na bacia hidrográfica do Rio Gavião, sobretudo, no setor do baixo curso, os contatos entre os blocos Gavião, Jequié e a Sequência Metavulcanossedimentar Contendas-Mirante evidenciam uma zona de alto metamorfismo. Como mencionado anteriormente o Ciclo geotectônico Transamazônico ocorrido no Paleoproterozoico foi o principal evento tectono-magmático dessa parte do CSF (baixo curso), enquanto o Ciclo Brasiliano teve maior influência no alto curso, na zona de contato entre o Cráton e a Faixa Araçuaí.

Associada as atividades metamórficas ocorreram os soerguimentos que alçaram as morfoestruturas para altitudes maiores que o entorno. No Mioceno e no Pleistoceno ocorreram novos soerguimentos associados à atividade neotectônica e os falhamentos resultantes afetaram as superfícies de cimeira, pois intensificaram a erosão.

Em paralelo a ação estrutural ocorreram oscilações climáticas significativas, evidenciadas pelos solos bem desenvolvidos e pelos concrecionamentos lateríticos. Este panorama é visto nas unidades mais elevadas, como no Planalto da Conquista. Essa relação possibilita inferir que a evolução de Longo-Termo da área de estudo passou por condições de maior umidade e na atualidade a semiaridez controla a dinâmica evolutiva das paisagens. Nesse sentido, a etchplanação e a pediplanação podem sem utilizadas enquanto modelos para a compreensão geológica-geomorfológica da área de estudo.

Agradecimentos

Os agradecimentos são dados à CAPES pela bolsa de estudos, a qual possibilitou o desenvolvimento deste trabalho, principalmente no que se refere aos trabalhos de campo.

Referências

ALKMIM, F. F. Serra do Espinhaço e Chapada Diamantina. In: HASUÍ, Y. *et al.* **Geologia do Brasil**. Beca: São Paulo, 2012. 900 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Bacias Hidrográficas Ottocodificadas**, s/d.

BARBOSA, J. S. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. **Mapa geológico do Estado da Bahia ao milionésimo**. Salvador: SICM, SGM, 1996 (Edição Especial).

BARBOSA, J. S. F. *et al.* O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese, **Revista Brasileira de Geociências**, v.33, p. 3-6, 2003.

BARBOSA, J. S. F. & SABATÉ, P. Colagem Paleoproterozoica de Placas Arqueanas do Cráton do São Francisco na Bahia, **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, p. 7-14, 2003.

BARBOSA, J. S. F. *et al.* Terrenos Metamórficos do Embasamento. Em: BARBOSA, J. S. F. (Coord.). **Geologia da Bahia**. Volume 1. CBPM: Salvador, 2012a. 599 p.

BARBOSA, J. S. F. *et al.* Granitoides. Em: Em: BARBOSA, J. S. F. (Coord.). **Geologia da Bahia**. Volume 1. CBPM: Salvador, 2012b. 599 p.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**: levantamento de recursos naturais. Folha SD-24 Salvador, Bahia. 1981.

Cohen, K.M., *et al.* **Tabela Cronoestratigráfica Internacional**. 2013 - Atualizada.

CORRÊA, A. C. B. *et al.* Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. & JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos solos no Brasil. Bertrand Brasil**: Rio de Janeiro, 2014. 320 p.

CORRÊA, A. C. B. *et al.* The Semi-arid Domain of the Northeast of Brazil . In: SALGADO, A. A. R. *et al* (Orgs.). **The Physical Geography of Brazil**. Springer: Switizerland, 2019. 222 p.

COSTA, L. R. F. *et al.* Geomorfologia do Nordeste Setentrional Brasileiro: Uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.21, n. 1, p.185-208, 2020.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (Salvador, BA). **Carta Geológica – Folha SD-24-Y-A-II (Tanhaçu).** Salvador, 2013. Escala 1:100 000.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (Salvador, BA). **Carta Geológica – Folha SD-24-Y-A-V (Anagé).** Salvador, 2015a. Escala 1:100 000.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (Salvador, BA). **Mapa Geológico simplificado de áreas--fonte de areia, arenoso e brita para a região de Vitória da Conquista**. Salvador, 2015b. Escala 1:200 000.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (Salvador, BA). **Carta Geológica – Folha SD-24-Y-A-III (Mirante).** Salvador, 2017. Escala 1:100 000.

GROTZINGER, J. & JORDAN, T. **Para entender a Terra**. Tradução de Iuri Duquia Abreu. 6ª Edição. Bookman: Porto Alegre, 2013. 738 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base Cartográfica Digital do Brasil ao Milionésimo**, 2013.

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Ano XVIII, n.2, p.3-121, 1956.

LEITE, C. M. M. & MARINHO, M. M. Serra de Jacobina e Contendas-Mirante. In: BARBOSA, J. S. F. (Coord.). **Geologia da**

Bahia. Volume 1. CBPM: Salvador, 2012. 599 p.

LIMA, K. C. B. *et al.* Uma contribuição aos estudos de geomorfologia climática em ambiente semi-árido na região Sudoeste da Bahia. **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**, p. 1-15, 2006.

MAIA, M. R. **Zoneamento Geoambiental do município de Vitória da Conquista – Ba: um subsídio ao planejamento**. 2005. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Geografia). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

MAIA, R. P. & BEZERRA, F. H. R. **Tópicos de Geomorfologia Estrutural – Nordeste Brasileiro**. Edições UFC: Fortaleza, 2014. 124 p.

MARINHO, M. M. **Geologia do Médio Rio de Contas – Domínio do Complexo Vulcânico-sedimentar Contendas-Mirante.** Coordenação da Produção Mineral (CPM): Salvador, 1982. 53 p.

MARINHO, M. M. *et al.* **A Sequência vulcanossedimentar de Contendas-Mirante – Uma estrutura do tipo Greenstone belt?** Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM): Salvador, 2009. 68 p.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Imagem Shuttle Radar Topography Mission**: Nasa - SRTM. 2000. Disponível em: < http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>. Acesso em: 12 de junho de 2019.

NEVES, B. B. B. **Glossário de geotectônica**. Oficina de Textos: São Paulo, 2011. 256 p.

QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e Pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.1, nº1, p.59-67, 2000.

SCHAEFER, C. E. G. R. Bases Físicas da Paisagem Brasileira: Estrutura geológica, relevo e solos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.8, p.1-65, 2013.

TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícia Geomorfológica**, v.8, nº15, p.5-18, 1968.

VALADÃO, R. C. **Evolução de Longo-Termo do Relevo do Brasil Oriental**. 1998. Tese de Doutorado (Curso de Pós-graduação em Geologia). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

MAPEAMENTO, CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DE VERTENTES APLICADO EM ÁREA DE ESCARPA: APA SERRA DA PIEDADE EM VISCONDE DO RIO BRANCO-MG

Rafael Cardoso Teixeira
Universidade Federal de Viçosa
Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, Campus Universitário s/n, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, CEP: 36570-900
E-mail: teixeirarcgeo@gmail.com
André Luiz Lopes de Faria
Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, Campus Universitário s/n, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, CEP: 36570-900
E-mail: andre@ufv.br
Marco Antonio Saraiva da Silva
Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, Campus Universitário s/n, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, CEP: 36570-900
E-mail: marco.saraiva@ufv.br
Liovando Marciano da Costa
Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, Campus Universitário s/n, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, CEP: 36570-900
E-mail: liovandomc@yahoo.com.br

Resumo

A área de estudo se encontra na Área de Proteção Ambiental (APA) Serra da Piedade e seu entorno, em Visconde do Rio Branco-MG. Nela situam-se três ambientes geomorfológicos: dois mamelonares, depressão de Ubá e planalto de Viçosa, e uma área de escarpa. A partir de processamentos sobre imagem ALOS/PALSAR, carta topográfica e conferência de campo foram classificadas e mapeadas as vertentes. Na distinção entre as áreas, de acordo com o perfil de curvatura, na escarpa há predomínio da classe côncava e nos ambientes mamelonares há predomínio da classe convexa. No plano de curvatura há equilíbrio entre a quantidade das classes para toda área mapeada. E para as formas de terreno e classes de vertentes, as classes convexo-convergente, côncavo-divergente e retilíneo-planar se destacam com diferenças mais proeminentes entre os dois tipos de ambientes. Onde as diferenças de quantidades das classes de vertentes evidenciaram as características morfográficas distintas entre as áreas.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Plano de Curvatura, Perfil de Curvatura, Formas de Terreno.

1. Introdução

Em ambientes de ocorrência de contato entre distintas litologias, a morfologia do relevo e da drenagem tendem a se apresentar com aspectos mais lineares, além de vertentes íngremes, aos quais evidenciam forte controle de aspectos litológicos na gênese e desenvolvimento do relevo destes ambientes (DA SILVA, 2021, p. 9). Assim, nestas áreas tende a haver um predomínio de relevo diversificado, ou seja, que pode apresentar tanto topos aguçados quanto arredondados. Diante disso, em função da heterogeneidade litológica, de características topográficas, de uso e ocupação das terras, por exemplo, processos erosivos sobre as vertentes tendem a se instalar.

O relevo da área denominada Serra da Piedade, localizado no distrito de Santa Maria em Visconde do Rio Branco (MG), apresenta diversidade morfológica decorrente da diversidade litológica. Na área ocorre a presença de topos arredondados e topos aguçados, que apresentam características morfológicas específicas em relação às vertentes, além de uma diversidade litológica com a presença de rochas intrusivas do tipo diabásio e pegmatito sobre a rocha encaixante, o gnaisse.

O relevo e sua parte fundamental, a vertente, segundo Guerra (1993, p. 434) são produtos da história conjunta e relacional entre os fatores geológicos, climáticos e biológicos próximos à superfície de qualquer ambiente. Nesse sentido, o relevo atua como um fator controlador da pedogênese e, portanto, da dinâmica da água superficial e subsuperficialmente de acordo com a orientação das vertentes (GOMES JUNIOR, 2017, p. 18).

Segundo Martins *et al.* (2012, p. 24), a análise das vertentes é um dos procedimentos metodológicos mais aplicados, buscando avaliar a relação entre as formas e os processos geomorfológicos. Na vertente, segundo Dylik (1968) *apud* Chrisfoletti (1980, p. 26) se mensura o grau de inclinação em relação a um eixo horizontal, sendo uma superfície inclinada, tendo um formato tridimensional modelado por processos do presente e do passado ligando o interflúvio ao fundo do vale.

Para o mapeamento geomorfológico, incluindo o mapeamento de vertentes, a construção da morfologia do relevo, por meio de ambiente em sistema de informação geográfica (SIG), é o processo de extração quantitativa dos atributos da topografia (MUÑOZ, 2009, p. 45). Os métodos de classificação atuais possibilitam a subdivisão das formas em elementos do relevo, multiescalar, que são um conjunto de parcelas de um tipo de relevo relativamente homogêneo em relação ao plano e perfil de curvatura, inclinação e posicionamento da vertente na paisagem (MACMILLAN e SHARY, 2009, p. 264).

Dessa maneira, para caracterizar as vertentes da área mapeada, buscou-se realizar uma análise quantitativa por meio de parâmetros/atributos geomorfométricos ou das formas de relevo (SILVEIRA *et al.*, 2013, p. 166) ou variável morfométrica (PIKE *et al.*, 2009, p. 3) a fim de compreender quais são os aspectos das vertentes na área e se sua distribuição está relacionada com os aspectos litológicos locais.

Para isso, os dados morfométricos são extraídos a partir de modelo digital de elevação (MDE) do sensor ALOS/Palsar, que é uma função discreta bidimensional da variável morfométrica altitude (GOMES JÚNIOR, 2017, p. 25). E por fim realiza-se a conceituação e classificação da vertente centrado na análise da sua forma, de acordo com Christofoletti (1980, p. 43) e Bigarella *et al.* (2007, p. 987).

2. Área de estudo

A área da escarpa, regionalmente conhecida como "Serra da Piedade" ou "Serra de Santa Maria" (Figura 1), localiza-se no município de Visconde do Rio Branco (MG), na região da Zona da Mata Mineira, com divisa junto ao município de Paula Cândido (MG), onde se localiza a área de proteção ambiental (APA) Serra da Piedade.

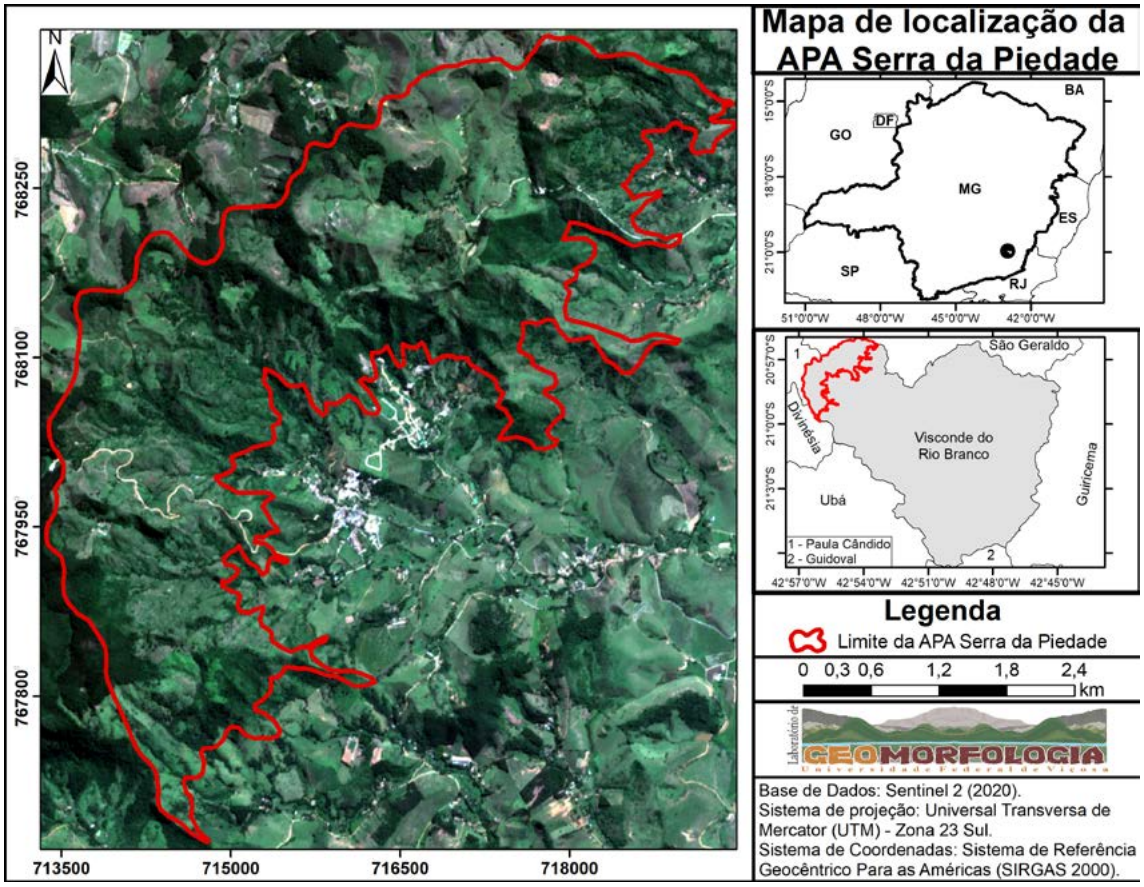


FIGURA 1: Mapa de localização da área de estudo, APA Serra da Piedade em Visconde do Rio Branco (MG). Fonte: Arquivo dos autores.

Sobre a área, incluindo o seu entorno, encontra-se um ambiente caracterizado pela escarpa tectônica, que faz parte da mudança de ambiente entre dois patamares ou domínios estruturais, denominados de planalto de Viçosa (Domínio de Colinas Policonvexas), ao norte da escarpa, e a área denominada de Depressão de Ubá, ao sul da escarpa (GRADIM *et al*., 2014, p. 43). Ambos se encontram dentro da caracterização do domínio morfoclimático dos "mares de morros florestados" ao qual apresenta um exemplo específico da espacialização deste relevo mamelonar (vales abertos) e de escarpas no planalto do Brasil Leste (AB'SÁBER, 1960, p. 67).

A parte mapeada do planalto de Viçosa se encontra em altitude mais elevada, onde os fundos de vales e os topos de morros chegam, respectivamente, a altitudes de 770m e 860m. Na área da Depressão de Ubá as altitudes são menos elevadas, sendo em torno de 360m para os fundos de vale e 500m para os topos de morros. Observa-se que quanto mais próximo ao front da escarpa, maior tende a ser a diferença de altitude entre topo e fundo de vale. Na escarpa a altitude tem maiores valores, onde o ponto mais elevado se encontra a 933m. Esses valores de altitude demonstram que a área possui altitudes diferenciadas de acordo com o ambiente geomorfológico.

O ambiente da escarpa se destaca pelas características geomorfológicas, de caráter estrutural, diferentes do seu entorno, que é dominado pela presença do relevo mamelonar, vales abertos, de caráter morfoclimático. Na área da escarpa, o relevo se apresenta com morfografia de topos mais aguçados e vales de formato em "V". Além disso, pelo contexto hidrológico, a área se apresenta como parte do divisor de águas, das bacias hidrográficas dos rios Doce e Paraíba do Sul (bacias do Leste).

A maior parte da área mapeada pertence à bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (depressão de Ubá), situando-se nas microbacias hidrográficas dos córregos Santa Maria, Milagres, Água Fria e São Francisco, que são tributários dos rios Xopotó e Pomba. Enquanto na bacia hidrográfica do Rio Doce (planalto de Viçosa), a área mapeada integra as microbacias hidrográficas dos córregos Alto da Serra e Santa Rosa, tributários dos rios Turvo Limpo e Turvo Sujo, e consequentemente dos rios Piranga e Doce.

Espacialmente distribuídos ao longo da escarpa, há locais onde existem contatos litológicos de gnaisse-pegmatito, gnaisse-diabásio, pegmatito-diabásio, além de contato triplo entre gnaisse-pegmatito-diabásio. Esses contatos ocorrem na área devido a presença de fraturas e diques de rochas máficas do tipo diabásio (Era mesozóica) e de pegmatito (Período Ediacarano) que estão presentes dentro da Suíte Pegmatítica Paula Cândido (Gradim *et al*., 2014, p. 66). Nas áreas dos contatos litológicos, em geral, foi observada a presença de vertentes com processos erosivos mais contundentes e de vales em V, portanto de vertentes com maior grau de declividade.

A área foi escolhida para o mapeamento das vertentes por apresentar essa heterogeneidade geomorfológica entre os dois patamares mamelonares e o ambiente da escarpa, onde nesta a forma das vertentes e seus respectivos valores quantitativos tendem a mudar devido à presença da escarpa tectônica. Assim, o presente trabalho busca realizar o mapeamento e classificação das vertentes e compreender a sua morfografia de acordo com os aspectos litológicos e de variação do relevo na área.

3. Metodologia

A metodologia para realizar a classificação das vertentes segue uma sequência de mapeamentos e análises das propriedades morfométricas do relevo, baseados em Valeriano (2008). A primeira etapa se faz com a seleção de dados vetoriais e download de imagens de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEhc) do sistema ALOS/PALSAR (Advanced Land Observing Satellite/Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar) que possui resolução espacial de 12,5m.

A segunda etapa é a formulação do mapeamento e análise da classificação de curvaturas: perfil de curvatura (vertical) e plano de curvatura (horizontal). O perfil e o plano de curvaturas foram gerados a partir do MDEhc e foram classificados de acordo com as abordagens e trabalhos de Troeh (1965), Young (1971), Christofoletti (1980) e Summerfield (1991). Sendo o perfil de curvatura classificado em três classes: côncavo, retilíneo e convexo. Enquanto o plano de curvatura também foi classificado em três classes: convergente, planar e divergente.

Na terceira etapa foi realizado a junção das três classes do perfil de curvatura com as três classes do plano de curvatura (3x3) para a construção das 9 classes de vertentes ou do que Valeriano (2008, p. 41) denominou de formas de terreno (Figura 4), onde o autor se baseou na proposta de Dikau (1990). Segundo Sirtoli *et al*. (2008, p. 319), as classificações de perfil e de plano de curvatura também representam as formas ou feições do relevo, sendo caracterizadas como importantes atributos aplicados na distinção e intepretação das classes geomorfológicas, sendo relacionadas ao táxon dos modelados (IBGE, 2009, p. 135).

Dessa forma, o procedimento para a formulação dos mapas de curvatura tiveram os seguintes passos no *software ArcGis*: a) por meio do *Arctoolbox*, utilizou-se a ferramenta "*Curvature*" ("*Raster Surface"* – "3D *Analyst"*), onde as saídas foram: perfil de curvatura ("*profile curve raster*") e plano de curvatura ("*plan curve raster*"); b) após a formulação das curvaturas, foram realizadas a reclassificação em 3 intervalos para a definição de classificação tanto no plano de curvatura quanto no perfil de curvatura.

As classes de perfil de curvatura foram classificadas em côncavo, retilíneo e convexo. Nas classes côncavo e convexo o limite da classificação foi de um valor decimal a mais, para englobar completamente os *pixels*. As classes de plano de curvatura foram classificadas em convergente, planar e divergente, onde nas classes convergente e divergente também foi adotado o limite da classificação de um valor decimal a mais, a fim de englobar completamente os *pixels* destas.

Na quarta etapa foi utilizada a ferramenta "*Reclassify*" ("3D *Analyst*" – "*Raster Reclass*"), onde foram separadas as classes para o perfil e plano de curvatura com valores e categorização das cores indicados a seguir:

I) Perfil de curvatura – 3 classes:

i) negativos (-2.697848 – -0.1000001) – Valor 3 (côncavo) - R = 18, G = 36 e B = 255;

ii) nulos (-0.1000000 – 0.1000000) – Valor 2 (retilíneo) - R = 255, G = 255 e B = 255;

iii) positivos (0.1000001 – 3.6680657) – Valor 1 (convexo) - R = 255, G = 64 e B = 31.

II) Plano de curvatura – 3 classes:

i) negativos (-2.593105 – -0.1000001) – Valor 10 (convergente) - R = 18, G = 36 e B = 255;

ii) nulos (-0.1000000 – 0.1000000) – Valor 20 (planar) - R = 255, G = 255 e B = 255;

iii) positivos (0.1000001 – 2.55999999) – Valor 30 (divergente) - R = 255, G = 64 e B = 31.

O passo seguinte, na quinta etapa, foi realizar a somatória dos dois *rasters*, resultando nas classes de "formas de terreno". Para isso, os *pixels* da imagem classificada como "perfil de curvatura" e "plano de curvatura" se sobrepõem, somando os valores. Assim, por exemplo, um *pixel* com valor de "perfil de curvatura" igual a 10 mais um *pixel* de "plano de curvatura" igual 3 resulta em um novo *pixel* com valor igual a 13. A soma foi realizada com a ferramenta "*Weghted Sum*" ("*Spacial Analyst Tools*" - "*Overlay*" - "*Weghted Sum*").

A sexta e última etapa do processo foi a formulação do mapa de classificação das vertentes. Para este, foi usado como base o mapa de formas de terreno e auxiliado pela intepretação da carta topográfica Folha de Viçosa - SF-23-X-B-V-3, escala de 1:50.000 (IBGE, 1979), com conferência final de campo.

Nesta etapa, foi realizado um procedimento sobre o *raster* de "formas de terreno", onde se aplicou a criação de um modelo (função "*Model Builder*") através das seguintes ferramentas: *Region Group*, *Con* e *Nibble*. Sobre esse modelo foram realizados testes com a quantidade de *pixels* agrupados, variando entre 5 e 15 *pixels*, onde o valor que melhor se adequou para a área, com mínimo de generalização, foi o agrupamento de 10 *pixels* (*Region Group*). Dessa forma, a classificação das vertentes ocorre perante o agrupamento de 10 *pixels* vizinhos.

4. Resultados e Discussões

4.1. Perfil de Curvatura

De acordo com Valeriano (2008, p. 35), o perfil de curvatura ou curvatura vertical é a expressão do formato da vertente quando observado em perfil. Sendo uma segunda derivada da altitude e pode ser descrito como a variação da declividade ao longo de uma distância definida. É dividida em três tipos de acordo com os valores representados nos pixels: côncavo (negativos), retilíneo (nulos) e convexo (positivos).

Em ambiente SIG, o cálculo do perfil de curvatura se faz pela comparação entre as diferenças altimétricas dos *pixels* onde as curvas são expressas em valores que variam entre negativos, nulos e positivos (VALERIANO, 2008, p. 36). Para o perfil de curvatura retilíneo (valores nulos), foi necessário adotar e aplicar um intervalo de valores admitidos como nulos, no caso, o intervalo que melhor se encaixou na área foi entre os valores -0,1 e +0,1.

O mapa de perfil de curvatura da área de estudo (Figura 2) demonstra que a maioria das vertentes da área são classificadas como perfil de curvatura convexo (38,80%) e côncavo (35,85%), onde perfil de curvatura retilíneo apresentou menor quantidade (25,35%).

Com a separação da área da APA, ou seja, da área delimitada junto à escarpa, ocorre uma diferenciação dos valores, demonstrando que os ambientes são distintos quanto à morfologia das vertentes.

Para a área da APA (*inside*), que compreende 35,47% de toda a área mapeada, a distribuição quantitativa dos *pixels* classificados foram os seguintes: i) convexo (valor 1) representa 36,56%, ii) retilíneo (valor 2) representa 23,92%, e iii) côncavo (valor 3) representa 39,59%. Enquanto para a área mapeada fora da APA (*outside*), que compreende 64,53% da área, esta possui distribuição quantitativa dos pixels classificados da seguinte forma: i) convexo representa 40,18%, ii) retilíneo representa 25,98%, e iii) côncavo representa 33,84%.

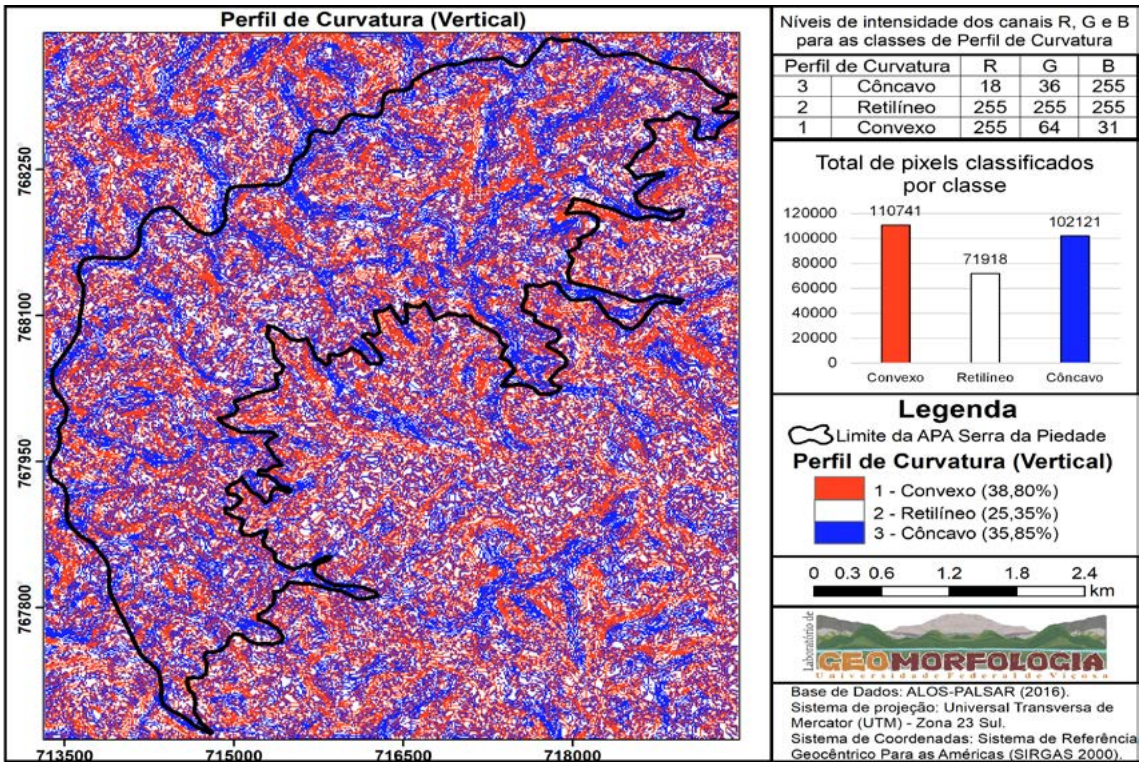


FIGURA 2: Mapa de Perfil de Curvatura da área da APA e em seu entorno com dados de distribuição dos *pixels* em relação às classes. Fonte: Arquivo dos autores.

Dessa forma, é observado que na área do entorno da APA (*outside*) e na área total os valores de perfil de curvatura convexo se apresentam em maior quantidade, sendo, respectivamente, 40,18% e 38,85%. Enquanto na área da APA (inside) o maior valor dos *pixels* se refere ao do tipo côncavo, com 39,59%. Esses valores indicam que entre a área da APA (escarpa) a quantidade proporcional de pixels côncavos é maior que o entorno, com diferença entre inside e outside de 5,75%. Enquanto no entorno (*outside*) o maior valor é de *pixels* classificados como convexo, porém com uma diferença menor em relação a APA, de 3,62%.

Esses valores mostram que na área mapeada há um equilíbrio (CARMO *et al.*, 2015, p. 613) em relação aos valores negativos (côncavo) e positivos (convexo) na área da APA para as classes de perfil de curvatura, com diferença de 3,03 pontos percentuais entre côncavo e convexo, em relação ao entorno, que apresenta maior diferença, igual a 6,34 pontos percentuais.

4.2. Plano de Curvatura

O plano de curvatura ou curvatura horizontal, segundo Valeriano (2008, p. 38) é a expressão do formato da vertente quando observado horizontalmente. Também é uma segunda derivada, não da altitude, mas das linhas de curva de nível e pode ser descrito como a variação da orientação de vertentes em relação a uma determinada distância. Também é dividida em três tipos de acordo com os valores: convergente (negativos), planar (nulos) e divergente (positivos).

Segundo Valeriano (2008, p. 41), a aplicação do plano de curvatura é adequada somente para áreas pequenas, em escala de detalhe, como a área da escarpa. O cálculo do plano de curvatura é realizado a partir da checagem entre as orientações de vertentes na vizinhança do *pixel* ajustado, "através de janelas móveis pela comparação entre as diferenças altimétricas" observadas pelas curvas de nível (VALERIANO, 2008, p. 39). Para o plano de curvatura planar (valores nulos) também foi necessário adotar e aplicar um intervalo de valores admitidos como nulos, no caso, o intervalo adotado para a área também foi entre -0,1 e +0,1.

O mapa de plano de curvatura da área de estudo (Figura 3) demonstra que a as vertentes do tipo divergente são as de maior quantidade (36,81%), seguido por planos de curvatura convergente (34,20%) e em menor número o planar (28,99%).

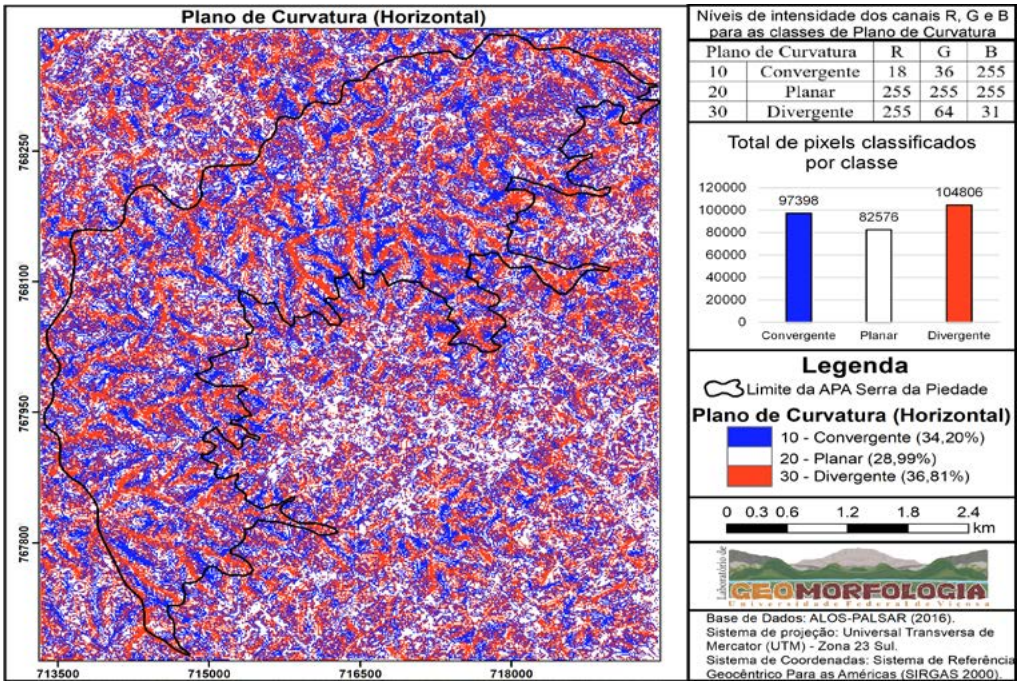


FIGURA 3: Mapa de Plano de Curvatura da área da APA e em seu entorno com dados de distribuição dos *pixels* em relação às classes. Fonte: Arquivo dos autores.

Para a área da APA (*inside*) a distribuição quantitativa dos *pixels* classificados foram os seguintes: i) convergente (valor 10) representa 36,08%, ii) planar (valor 20) representa 24,49%, e iii) divergente (valor 30) representa 39,43%. Enquanto para a área mapeada fora da APA (*outside*) a distribuição quantitativa dos *pixels* classificados foi da seguinte forma: i) convergente representa 33,18%, ii) planar representa 31,47%, e iii) divergente representa 35,44%.

Dessa forma, é observado que na área do entorno da APA (*outside*) e na área total os valores de plano de curvatura divergente são maiores, porém com pouca diferença entre as classes. Mostrando que para a área do entorno da APA há uma característica que Carmo *et al*. (2015, p. 613) denomina de equilíbrio em relação aos valores negativos, nulos e positivos.

Na área da APA (inside) há também um equilíbrio entre os valores positivos e negativos, onde a diferença percentual é de somente 3,35 pontos percentuais. Assim, a quantidade de *pixels* referentes a classe planar é mais baixa na APA, com apenas 24,29%. Esse equilíbrio entre valores negativos e positivos também se faz na área total, onde a diferença percentual é de somente 2,61.

4.3. Formas de Terreno e classes de vertentes

Após a confecção dos mapas de perfil e plano de curvatura foi realizado a construção do mapa de formas de terreno (Figura 4), baseado na proposta de Dikau (1990) *apud* Valeriano (2008, p. 41), que é a base utilizada para gerar o mapa de classificação das vertentes (Figura 5). Para isso, foi realizado um procedimento para a obtenção do modelo com objetivo de gerar o agrupamento dos *pixels* em classes definidas de acordo com os valores derivados do perfil e do plano de curvatura.

O modelo de agrupamentos de *pixels* gerou um arquivo com a união de 10 *pixels*, ao qual foi usado para a classificação das vertentes. O resultado deste procedimento foi o mapa de classificação das vertentes (Figura 5). Nesta etapa, os dados foram conferidos com as anotações e pontos de campo, onde em todos os casos a base de campo e de mapeamento foram coincidentes.

Os mapas de formas de terreno (Figura 4) e de classificação das vertentes (Figura 5) foram elaborados a partir da proposta de cores de Valeriano (2008, p. 64), a seguir:

. 11 - Convexo-convergente - R= 161, G = 181 e B = 255;

. 12 - Retilíneo-convergente - R = 58, G = 58 e B = 220;

. 13 - Côncavo-convergente - R = 0, G = 0 e B = 155;

. 21 - Convexo-planar - R = 205, G = 255 e B = 209;

. 22 - Retilíneo-planar - R = 0, G = 205 e B = 0;

. 23 - Côncavo-planar - R= 0, G = 124 e B = 0;

. 31 - Convexo-divergente - R = 255, G = 240 e B = 0;

. 32 - Retilíneo-divergente - R = 233, G = 142 e B = 0;

. 33 - Côncavo-divergente - R = 213, G = 0 e B = 0.

Para a seleção destes valores na caderneta de cores, Valeriano (2008, p. 63) realizou testes das combinações intermediárias, baseando-se na definição empírica das cores, tal como a classe côncavo-convergente, que ficou designada em azul devido a característica de acúmulo de água neste tipo de vertente. Assim, a definição das cores propostas pelo autor, e aqui aplicadas, segue uma definição empírica e lógica da relação entre o tipo de vertente e o processo geomorfológico a ela associado.

A classificação das vertentes na área de estudo apresentou na porção da Depressão de Ubá um predomínio de vertentes retilíneo-planar, principalmente nas áreas de fundo de vale, e convexo-planar, nas áreas de topos de morros.

Na área do Planalto de Viçosa há o predomínio de três classes de vertentes: côncavo-divergente (24,68%), convexo-convergente (24,47%) e retilíneo-planar (15,97%). Da mesma forma que na anterior, as áreas da classe retilíneo-planar são os vales, enquanto as outras duas são as áreas de encosta.

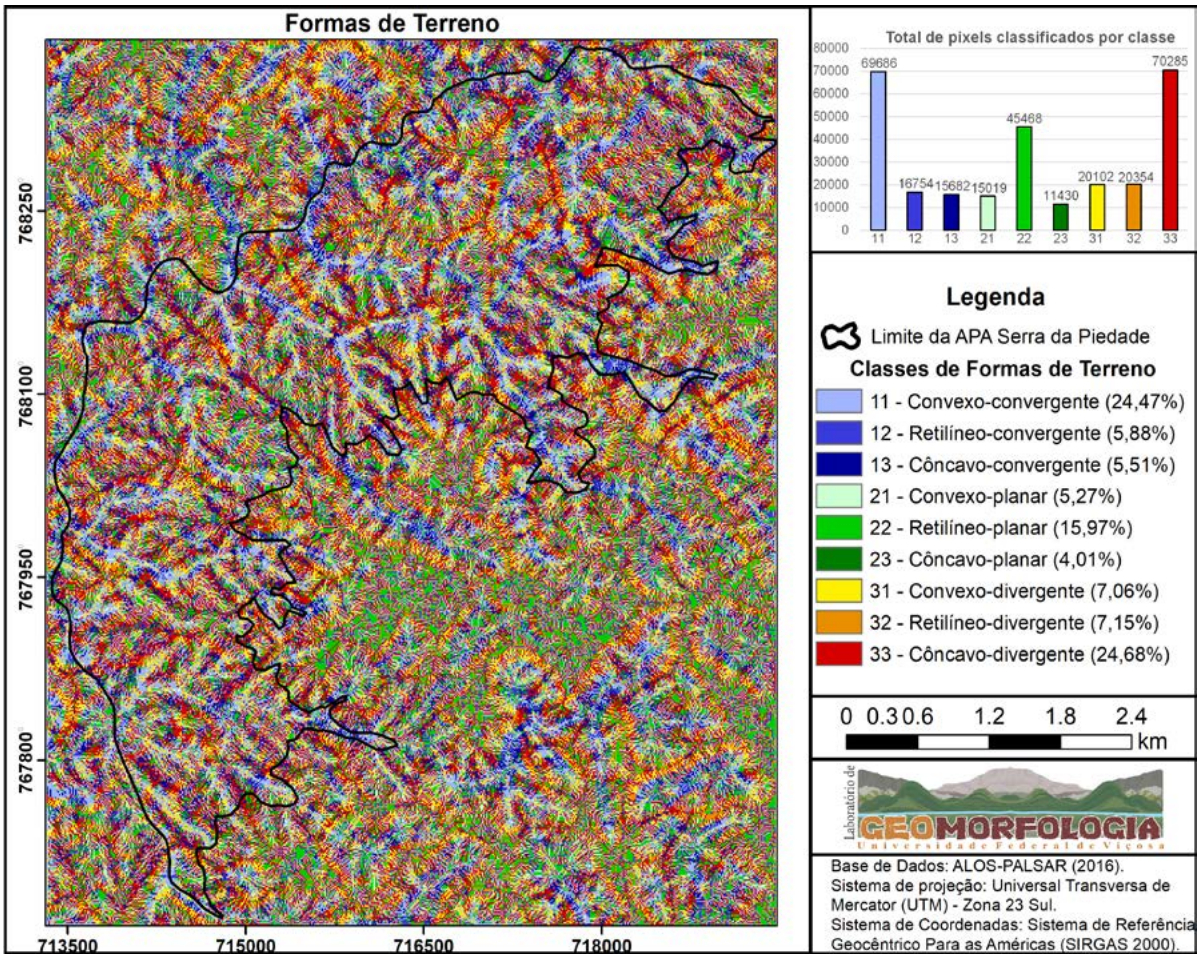


FIGURA 4: Mapa de Formas de Terreno da área da APA e em seu entorno com dados de distribuição dos pixels em relação às classes. Fonte: Arquivo dos autores.

Como observado no mapa de classificação das vertentes (Figura 5), as classes convexo-convergente (azul acinzentado) e côncavo-divergente (vermelho) somam 70,13% de toda área de estudo. A classe convexo-convergente é, majoritariamente, representativa para as áreas de topo de morro e vertentes suaves, menos declivosas, locais que os processos geomorfológicos tendem a ser menos intensos.

Fazendo uma análise separada entre a área da APA (*inside*) e seu entorno (*outside*), os valores mudam bastante devido a diferença do tipo de relevo da escarpa (APA) e do relevo mamelonar (entorno). Analisando a APA, tem-se que os pixels mais representativos são para a vertentes dos tipos convexo-convergente (45,62%), côncavo-divergente (35,88%) e retilíneo-planar (7,10%). Estes correspondem a 88% de todos os pixels da área interna da APA.

Na área do entorno, também, são estas classes que predominam, porém com uma diferença de menor valor percentual para as classes convexo-convergente (31,63%) e côncavo-divergente (32,10%). Enquanto a classe retilíneo-planar aumenta o seu valor, representando percentual de 25,76% na área do entorno da APA, relevo do tipo mamelonar onde os fundos de vale são mais abertos e o relevo é possui menor grau de declividade.

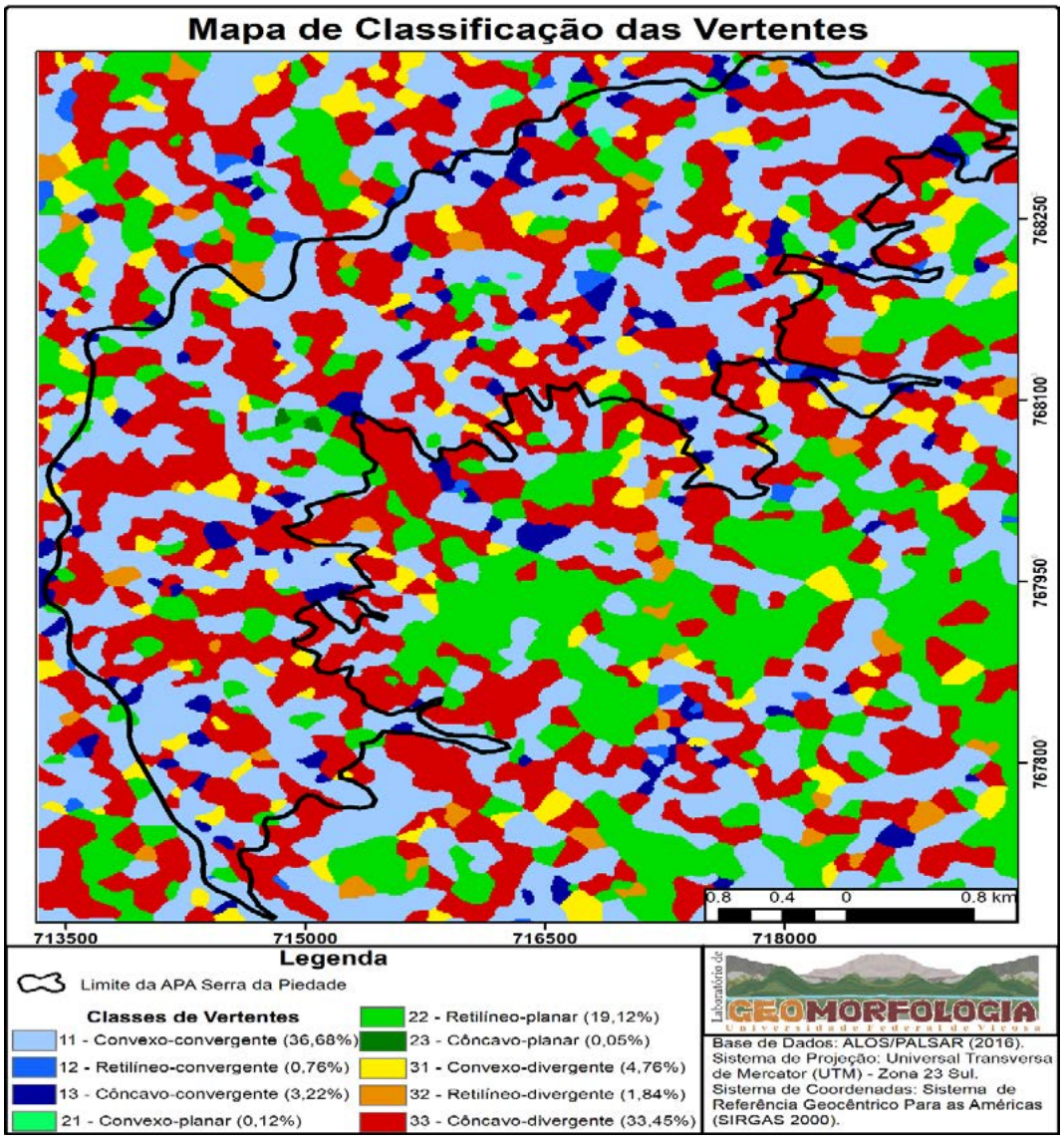


FIGURA 5: Mapa de Classificação das Vertentes da área da APA e em seu entorno com dados de distribuição dos *pixels* em relação às classes. Fonte: arquivo dos autores.

Isso indica que na área da escarpa as classes côncavo-divergente e convexo-convergente possuem maior representatividade que na área mamelonar, diferença da somatória de ambas: 81,5% para a escarpa e 63,73% para a área mamelonar.

5. Considerações Finais

Os resultados mostraram que a metodologia de mapeamento das vertentes proposto usando como base as referências citadas e aplicado na área de estudo foi adequada. Pois explicitou de maneira clara e precisa a diversidade das formas de vertentes em área com tamanho grau de diversidade geomorfológica.

Com a distinção e análise das vertentes entre as áreas interna e externa à APA foi possível observar diferenças quanto aos dados mapeados, em função da área da escarpa apresentar características estruturais diferentes do entorno. Onde na área da escarpa há um maior valor quantitativo de perfil de curvatura do tipo côncavo, indicando a importância dessa área quanto ao acúmulo, infiltração e consequente recarga do lençol freático por ser um ambiente de nascentes.

Também, fica claro que a análise separada dos ambientes, escarpa e mamelonar, mostra que em determinados dados a diferença foi mais explícita. Neste caso, os dados de perfil de curvatura indicam que na escarpa há maior valor da classe côncava, enquanto na área mamelonar há maior quantidade da classe convexa. Enquanto no plano de curvatura há um equilíbrio entre as classes convergente e divergente, com pouca diferença entre os ambientes.

Para as classes de vertentes, na área da escarpa (*inside*), as classes convexo--convergente e côncavo-divergente representam juntas o total 81,15% de classes, com maior destaque para a classe convexo-convergente, que sozinha representa 45,62%, portanto valor superior a 13,99% comparado à área mamelonar (*outside*). Na área mamelonar a classe retilíneo-planar aumenta sua representatividade, tendo quantidade de 25,75% da área (topos de morros e fundos de vales).

Dessa forma, a metodologia aplicada evidenciou que há diferenças bastante claras entre a área da escarpa e do relevo mamelonar, onde a quantidade de classes para os mapeamentos de perfil de curvatura, formas de terreno e classes de vertentes mudam de acordo com o ambiente mamelonar em comparação ao ambiente da escarpa.

Agradecimentos

Agradecemos ao apoio para a realização da pesquisa junto ao Laboratório de Geomorfologia do Quaternário (Geografia-UFV) e ao programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas (PPGSNP-UFV) pela oportunidade de realização do trabalho.

Referências

AB'SÁBER, A. N. Da necessidade de uma pluralidade de critérios para melhor classificação do Relevo Brasileiro.**Notícia Geomorfológica**, n. 6, 1960.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: Editorial da UFSC, v. 3, 2007.

CARMO, A. M.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R. Análise qualitativa e comparativa das variáveis morfométricas da região serrana da porção sul do Maciço Central do Ceará gerada através dos MDE: SRTM, ASTER GDEM e TOPODATA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 3, n. 67, p. 603-620, 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

DA SILVA, T. M. Raízes dos mapeamentos geomorfológicos e perspectivas atuais. Humboldt. **Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 1-27, 2021.

DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 2, n. 80, p. 45-55, 1990.

DYLIK, J. Notion du versant en geomorphologie. **Bulletin L'Académie Polonaise des Science**. Série des Sciences Geológiques et Géographiques, v. 16, p. 125-132, 1968.

GRADIM, D. T.; NOCE, C. M.; NOVO, T. A.; QUEIROGA, G. N.; SOARES, A. C. P.; OLIVEIRA, M. A. S. **Geologia e recursos minerais da folha Viçosa - SF.23-X-B-V**: estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM, 2014.

GOMES JUNIOR, E. C. **Segmentação de vertentes como ferramenta auxiliar no mapeamento digital de solos**. 2017. 88 f.Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2017.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 5.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

IBGE. **Viçosa**. 1. ed. Belo Horizonte: IBGE/Instituto de Geociências Aplicadas de Minas Gerais, 1979. Carta topográfica. Escala 1:50000. Projeção UTM. Datum horizontal: SAD-69. Datum vertical: marégrafo Ibituba, SC. - Folha SF-23-X-B-V-3, 26113, 1979.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Eds.). **Geomorphometry:** Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, v. 33, Elsevier, 2009. p. 227–254.

MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; RIBEIRO, T. M. Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. In: MARTINS, S. V. (Ed.) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV, 2012. p.17-40.

MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2009.

PIKE, R. J.; EVANS, I. S.; HENGL, T. Geomorphometry: a brief guide. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Eds.). **Geomorphometry:** Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, v. 33, Elsevier, 2009. p. 3–30.

SILVEIRA, C. T. OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C; SIRTOLI, A. E.; SILVA, C. R.; BOTELHO, M. F. Soil prediction using artificial neural networks and topographic attributes. **Revista Geoderma**, v. 195-196, p. 165–172, mar. 2013.

SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MONTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia agraria**, v. 9, n. 3, p. 317-329, 2008.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology:** an Introduction to Study of Landforms. New York: Logman, 1991.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, v. 263, p. 616-627, 1965.

VALERIANO, M. M. **Topodata:** guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). São José dos Campos, 2008.

YOUNG, A. Slope profile analysis: the system of best units. In: BRUNDSEN, D (Ed.). **Slopes form and process**. London: Institute of British Geographers, 1971.

MÉTODO AHP APLICADO À ANÁLISE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM UM TRECHO COSTEIRO DO MUNICÍPIO DE GOIANA, LITORAL NORTE DE PERNAMBUCO

Júlia Stefane da Silva Vieira
Universidade Federal de Alagoas Av. Lourival Melo Mota, S/N - Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, 57072-900
E-mail: julia.vieira@igdema.ufal.br
Larissa Furtado Lins dos Santos
Universidade Federal de Pernambuco Av. Prof. Moraes Rego, 1235 Cidade Universitária Recife-PE CEP 50670-901
E-mail: larissa.furtado@ufpe.br
Thiago Moura Cavalcante
Universidade Federal de Pernambuco Av. Prof. Moraes Rego, 1235 Cidade Universitária Recife-PE CEP 50670-901
E-mail: thiago.mourac@ufpe.br

Resumo

O município de Goiana no litoral Norte de Pernambuco, tem se apresentado como um objeto de estudo interessante do ponto de vista da vulnerabilidade ambiental, uma vez que, na última década tem se destacado pelo seu crescimento socioeconômico, implicando em modificações na dinâmica processual do meio físico natural. Dado o objeto de estudo, o método AHP - *analystic hierarchy process - processo analítico hierárquico* (SAATY, 1977), foi aplicado em um certo trecho da zona costeira municipal, afim de produzir um diagnóstico da vulnerabilidade ambiental local. Destarte, cruzando dados como: declividade, solos, moradias e tipos de usos, foi possível inferir que as áreas de maior vulnerabilidade se concentram junto a trechos de maior adensamento populacional, de solos mais erodíveis e áreas de uso urbano, onde via de regra, possuem topografia rebaixada e se localizam próximas a linha de costa e ao ambiente estuarino local do Rio Megaó. Essa configuração revelou, portanto, que a integração de diversos critérios físicos pode fornecer um diagnóstico ambiental satisfatório, e que sobretudo a influência antrópica na Paisagem é bastante relevante no que concerne aos impactos ambientais, devendo ser estudada de forma dialética com o componente físico.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental; Goiana; Método AHP.

Introdução

A noção de vulnerabilidade encontra-se estritamente ligada à exposição aos riscos, relevando diferentes graus de suceptilidade de pessoas, lugares, infra-estruturas, ou ecossistemas, designados a algum tipo de agravo em particular (ACSELRAD, 2006). Dessa forma, este tipo de análise reflete, sobretudo, a sensibilidade do meio físico natural aos diferentes inputs energéticos nele impetrados.

Conforme aponta Figueiredo (2010), para a análise da vulnerabilidade ambiental, é imprescindível ter ciência sobre os aspectos fisiográficos que compõem a área estudada, uma vez que fatores como declividade, altitude, temperatura, aridez, vegetação e solo, quando expostos aos condicionantes de pressão ambiental, tais como adensamento populacional e seus consequentes usos da terra, acarretam a ocorrência de vários impactos.

Assim, pode-se inferir que a designação da vulnerabilidade ambiental de uma determinada área possibilita avaliar a susceptibilidade local dos riscos, mediante à processos geoambientais, como erosivos, de contaminação de solos e recursos hídricos, etc (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012). Partindo desse pressuposto, o método AHP - *analystic hierarchy process - processo analítico hierárquico*, desenvolvido por Saaty (1977), é caracterizado pela elaboração de uma hierarquia de decisões, permitindo uma visão holística sob o objeto investigado, aplicável à análise de critérios considerados decisivos para a determinação da vulnerabilidade ambiental, por exemplo (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012). Os resultados obtidos pela análise dessa hierarquia, portanto, permitem subsidiar medidas de mitigação e diagnóstico ambiental, através da modelagem matemática com o uso do algoritmo AHP (DIAS; DA SILVA, 2014).

Dentre os ambientes de vulnerabilidade natural, as zonas costeiras têm sido largamente afetadas pelo crescente adensamento populacional e seus consequentes usos da terra, os quais vêm acarretado modificações na dinâmica processual das formas inerentes ao meio físico natural. Vale ressaltar que o componente antrópico tem sido de grande relevância para desencadear mudanças nas formas e processos costeiros, uma vez que tais ambientes são altamente vulneráveis.

É dentro desse contexto que se insere o Município de Goiana, no Litoral Norte do Estado de Pernambuco, o qual, na última década, vem sendo lagamente afetado por impactos ambientais, desde a implementação do complexo industrial do polo automotivo da FIAT/Chrysler e empresas subsidiárias. Esse expressivo crescimento socioeconômico implicou na intensificação das formas de uso e ocupação, alterando a dinâmica processual ambiental, principalmente na zona costeira local, a qual tem sofrido com modificações em sua morfologia e com o problema da erosão praial, afetando ainda ecossistemas costeiros (VIEIRA; REIS; GIRÃO, 2020).

Portanto, o presente trabalho objetificou utilizar a metodologia AHP a partir da análise de critérios socioambientais, tais como: tipologias de solos, declividade, formas de uso da terra e a ocupação antrópica, através da densidade de moradias presentes na área supracitada, os quais posteirormente foram cruzados, tendo como produto final um mapa da vulnerbilidade ambiental em um dado trecho da região litorânea municipal de Goiana.

Desta forma, a partir da compilação destes dados que alcançarão o diagnóstico da vulnerabilidade ambiental local, espera-se fornecer medidas mitigativas de cunho ambiental, que possam auxiliar no processo de planejamento municipal e promover subisídios à gestão costeira, além de suscitar novos trabalhos pertinentes à temática, em locais altamente sensíveis do ponto de vista físico, tal qual é a zona costeira do município de Goiana.

Materiais e Métodos

Caracterização física da área *de estudo*

A área de estudo consiste em um trecho da zona costeira do município de Goiana, litoral Norte do estado de Pernambuco, a qual encontra-se inserida entre as coordenadas geográficas de 34º 50' 0''O e 7º 35' 0''S, zona 25 Sul. Tal delimitação compreende cerca de 8km da linha de costa, abarcando as unidades praiais de Carne de Vaca e Ponta de Pedra e parte da margem direita do ambiente estuarino do rio Megaó, correspondendo a aproximadamente 20 km² (Figura 1).

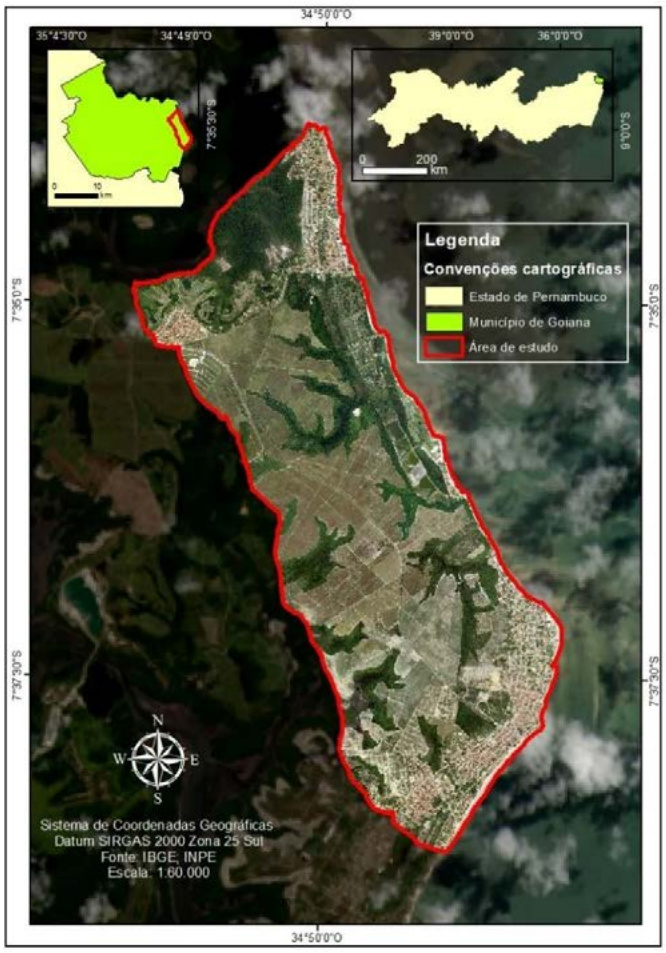


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

Fonte: Autoral, 2021

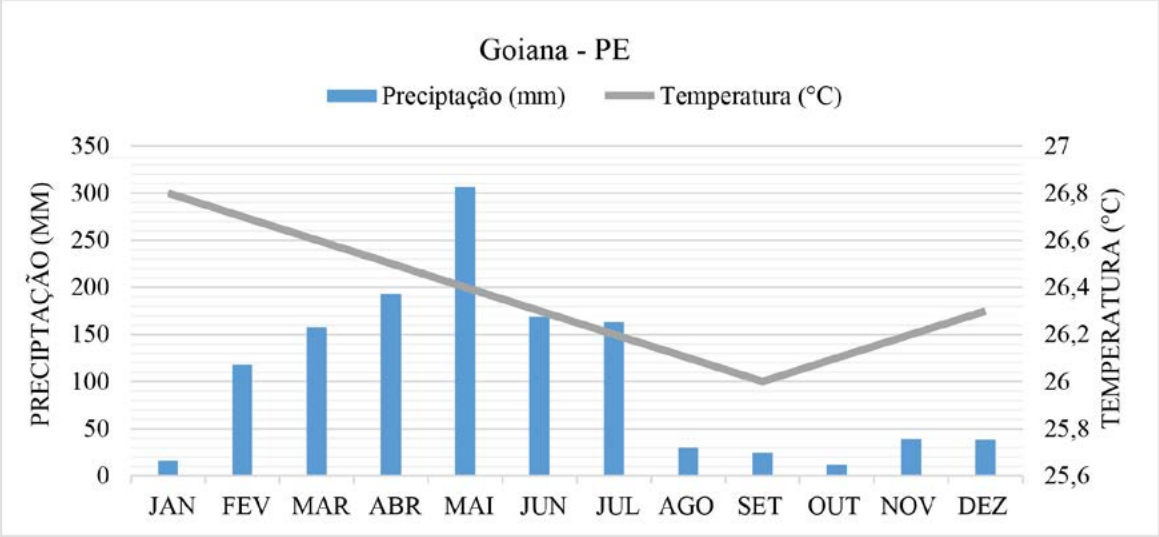
Em relação aos aspectos fisiográficos locais, a área é geologicamente inserida no minínio sedimentar da bacia costeira Pernambuco-Paraíba, cuja consolidação definitiva se desenvolveu entre os períodos Satoniano ou Campaniano. Foi uma das últimas bacias de margem atlântica no Brasil a ser afetada pela reativação da plataforma Sul-africana, relacionada a separação da Gondwana (MABESOONE, ALHEIROS, 1989).

Tal morfoestrutura é composta por litótipos das formações Beberibe, Gramame, Maria Farinha e Barreiras, dando origem a uma sequência estratigráfica cuja variação temporal vai do Cretáceo ao Pleistoceno, onde a Fm. Barreiras, fica sobreposta às mais antigas (Beberibe. Gramame e Maria Farinha), por ser mais recente (LGGM 1992 apud. CPRH, 2003). Estes litótipos sustentam feições de terrenos inconsolidados Terciários e Quaternários, (Formação Barreiras e Depósitos Flúvio-marinhos e Aluvionares), originando as seguintes morfoesculturas: planícies, tabuleiros dissecados, planaltos sedimentares rebaixados, integradas a Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba e formações associadas, ambas sobrepostas ao embasamento cristalino Pré- Cambriano (VIEIRA; REIS; GIRÃO, 2020).

Completando a caracterização física da área, o clima local – comum ao município de Goiana

– é do tipo é do tropical chuvoso tipo As', conforme adaptado da classificação climática de Köppen- Geiger, sofrendo forte influência dos sistemas atmosféricos de mesoescala que atuam no oceano Atlântico Sul, como os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL's), Frentes Frias, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e a Zona de Convergência do Intertropical (ZCIT). Essas características pluviométricas proporcionam episódios instáveis de precipitação, cujas as máximas ocorrem durante o outono-inverno (março a setembro, ultrapassando os 1200 - 1.800 mm/ano), com temperaturas médias por volta de 26 °C.

Figura 2: Climograma do Município de Goiana



Elaborado pelos autores, 2021.

Procedimentos metodológicos

A pesquisa partiu de uma revisão bibliográfica realizada em artigos, periódicos, monografias, teses e produções acadêmicas em geral, que tratassem da temática de vulnerabilidade ambiental e, especificamente, sobre a mesma aplicada ao município de Goiana. Além da revisão da literatura, realizou-se também procedimentos metodológicos em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), como a confecção de mapas, reconhecimento e vetorização de feições fisiográficas e formas de uso da terra e elaboração do método AHP.

Para tal, utilizou-se os softwares *Google Earth Pro* e *QGIS 3.14 with grass*, sendo o primeiro utilizado como subsídio ao reconhecimento da área a partir do método de fotointerpretação (GUY, 1966; RIVERAU, 1972). O primeiro esteve

ligado à interpretação dos aspectos físicos e antrópicos, como solos, vegetação, topografia e formas de uso da terra (uma vez que os trabalhos de campo ainda se tornam inviáveis devido a pandemia do COVID-19), e o segundo foi usado para a produção de mapas, compilando os dados adquiridos num primeiro momento e fomentando os resultados e discussões pertinentes ao trabalho, apresentados posteriormente.

As imagens de satélite aqui utilizadas, foram adquiridas gratuitamente no catálogo online de imagens do portal do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo elas produto do satélite LANDSAT 8, com os sensores Operational Land Imager (OLI). O sensor OLI opera em nove bandas espectrais, sendo quatro bandas na faixa do visível, quatro bandas na faixa do infravermelho até 2,29 micrômetros, todas com resolução espacial de 30m e uma banda pancromática na faixa do visível, com resolução espacial de 15m. Ademais, a composição de bandas espectrais aqui utilizada foi a 4,3,2, configurando ênfase na cor natural.

Para subsidiar a confecção do mapa de uso da terra aqui apresentado, utilizou-se como referência a classificação de formas de uso fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), encontrada no documento intitulado "Manual Técnico de Uso da Terra 3ª Edição", o qual destaca a relevância da caracterização dos processos de utilização da terra, no que concerne a compreensão dos fatores que suscitam mudanças e a expectativa da justiça ambiental, em detrimento dos diversos interesses no planejamento territorial, direitos civis e conflitos distributivos sobre os recursos naturais (IBGE, 2013).

Em relação aos demais dados SIG adquiridos, o arquivo *shapefile* de solos foi baixado gratuitamente na plataforma online da EMBRAPA, tendo como georreferencia o datum WGS-84 e escala cartográfica de 1:100.000, uma vez que abarca todo estado de Pernambuco. O arquivo foi reprojetado no datum SIRGAS 2000 e adequado ao recorte espacial da área, na escala de 1:60.000. Ademais, para a obtenção da declividade da área, utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE) produto do sistema de radar SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*, no formato geotiff (16 bits), com resolução espacial de 90m e datum WGS-84, em coordenadas geográficas.

Vale ressaltar a utilização de um mapa 3D do ano de 2015 do município de Goiana, configurando um material de alta resolução, uma vez que consiste num levantamento aerofotogamétrico municipal, mapeado na escala de 1:1000 referenciado no Sistema de Coordenadas Projetadas UTM SIRGAS 2000, no fuso 25S. Este material foi utilizado para subsidiar a vetorização das formas de uso da área e produzir o layout do mapa de localização da área de estudo.

Analystic Hierarchy Process: o método AHP

O método AHP - analystic hierarchy process - processo analítico hierárquico, desenvolvido por Saaty (1977), em linhas gerais, promove um "desmonte" do problema investigado, estruturando- o em partes, de modo que sejam criados níveis hierárquicos, os quais, quando análisados separadamente e compilados, de acordo com suas relevâncias, suscitam num resultado geral que forneça mitigação ao problema inicial. Para tal, são designados critérios, os quais possuem pesos atribuídos, de acordo com as suas respectivas importâncias relativas, que posteriormente são analisadas através da comparação de pares, utilizando a escala de Saaty, com valores numéricos e suas interpretações relacionadas, conforme aponta a tabela I:

Tabela I:
Escala fundamental de Saaty para comparação pareada – AHP

Grau de Importância	Correspondência	Interpretação
1	Igual importância	Contribuição equivalente dos dois critérios para o objetivo
3	Fraca importância	A experiência e o julgamento exercem forte influência de uma atividade em detrimento da outra
5	Forte importância	A experiência e o julgamento exercem forte influência de uma atividade em detrimento da outra
7	Muito forte importância	Quando uma atividade é fortemente influenciada pela outra; sua dominação e importância são demonstradas na prática
9	Importância absoluta	Quando a evidência favorece uma atividade em detrimento da outra com o mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se busca uma condição de compromisso entre as duas partes

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (1991)

Após o estabelecimento das comparações pareadas, o método AHP revela uma razão de consistência (RC), indicando a probabilidade das comparações terem sido originadas de modo aleatório, sendo o valor obtido, portanto, usado para designar o grau de importância do objeto analisado. De acordo com Saaty e Vargas (1991), para a razão de uma razão de coerência (RC) menor que 0,1. Em contrapartida, caso o mesmo índice ultrapasse o valor de 0,1, é recomendado submeter o objeto a um novo processo de avaliação, chegando, portanto, a um novo valor para essa razão de consistência.

Posteriormente, surge a necessidade da normalização dos critérios pré-estabelecidos, uma vez que, os valores inerentes à análise multicritério se apresentam sob unidades diferentes, tornando mais difícil a sua agregação de forma imediata. Destarte, visando à padronização destes, é realizada uma normalização dos valores atribuídos para cada critério, numa mesma escala, aplicando a lógica Fuzzy, desenvolvida por Lofti A. Zadeh, em 1965. (CALIJURI *et al*, 2002 apud. Falcão, 2013).

Em relação à sua aplicação em estudos de vulnerabilidade ambiental, o método AHP possui fundamental importância, uma vez que fornece uma combinação pareada de todos os critérios envolvidos na análise, aproximando-se de um resultado consistente e de acurácia científica, para o fornecimento de medidas de mitigação e tomada de decisão ambiental, a exemplo do mapa síntese de vulnerabilidade ambiental suscitado.

Portanto, após o estabelecimento dos pesos aos critérios aqui pré-estabelecidos – *declividade, usos, solos e moradias* – e a posterior normalização de seus valores, foi realizada a compilação desses dados, através de álgebra de mapas, para que assim fosse gerado o produto final desta análise: o mapa da vulnerabilidade da área de estudo. Para tais processos, utilizou-se os softwares *QGIS 3.14* e o *Microsoft Excel*, para o tratamento de dados geoestatísticos. Isto será melhor explicado na secção a seguir.

Resultados e discussões

Para a realização da modelagem AHP aplicada à análise da vulnerabilidade da área de estudo, agrupou-se os critérios delimitados, sendo eles: - *declividade, usos, solos e moradias* – os quais foram posteriormente classificados digitalmente, tendo a cada uma das classes designada, um peso atribuído, correspondendo ao seu respectivo risco. A relação das classes com os pesos atribuídos, subsidia a confecção do mapa final de vulnerabilidade ambiental. Vale ressaltar, entretanto, que as análises ambientais, sobretudo aquelas que tratam de vulnerabilidade, são bastante subjetivas, uma vez que depende diretamente do grau de familiaridade do pesquisador para com a área investigada, ao mesmo passo que são objetivas, por integrar diversas variáveis, tendo como produto final um único mapa, fornecendo, portanto, uma rica e integrada análise da Paisagem.

Fator declividade

Para a confecção do mapa da declividade da área, fora utilizado o Modelo Digital de Elevação do tipo SRTM, o qual posteriormente fora submetido a um processamento em ambiente SIG para obtenção das classes estipuladas. Assim, a declividade da área fora designada de acordo com as porcentagens estabelecidas pela EMBRAPA (2006), variando em percentual (%) de 0 a 3, quando o relevo é considerado plano, de 3 a 8 para suave ondulado, de 8 a 20 para ondulado, de 20 a 45 para fortemente ondulado, de 45 a 75, para relevo montanhoso e maior que 75 para relevo escarpado. Conforme é elucidado pelo mapa abaixo:

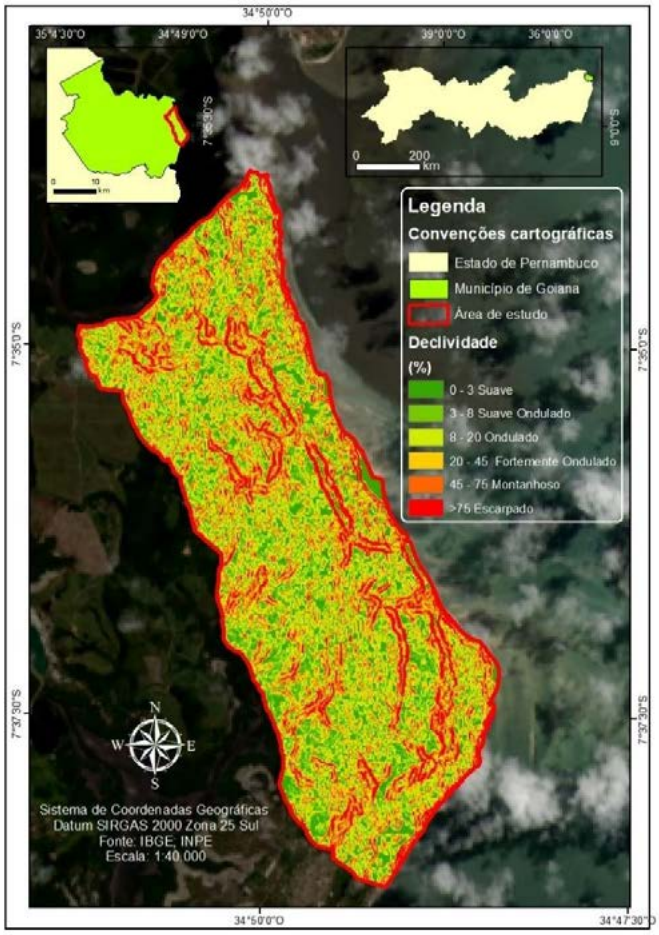


Figura 3: Mapa da declividade da área de estudo
Elaborado pelos autores, 2021.

Vale ressaltar que os intervalos das classes de declividade, correspondem respectivamente a potencialidade de desenvolvimento de processos erosivos, no que concerne aos riscos de deslizamentos e aporte de sedimentos (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012). Em linhas gerais, quanto mais é inclinado o relevo, maior é também a sua susceptibilidade aos processos erosivos, na medida que a magnitude do fenômeno depende diretamente da velocidade do escoamento. Desta forma, os valores de risco atribuídos a cada classe de relevo equivaleram: Suave (0,1), Suave Ondulado (0,2), Fortemente Ondulado (0,5), Montanhoso (0,8), Escarpado (1,0).

Fator solos

Dando seguimento a avaliação de critérios, delimitou-se as classes de solos presentes na área, sendo este um critério fundamental em estudos de mitigação ambiental, uma vez que, o conhecimento acerca de cada domínio pedológico é o que implica no seu melhor aproveitamento.

São as características litológicas do substrato rochoso, relacionadas à magnitude do intemperismo, que acarretam na designação do material à erosão. (AHMED, 2009)

Assim, o mapa de solos fora elaborado a partir de dados disponibilizados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2018), designando as seguintes classes pedológicas para a área: Argissolo Amarelo; Espodossolo Hidromórfico, Nessolo Quartzarênico e Solos de Mangue, conforme o mapa abaixo:

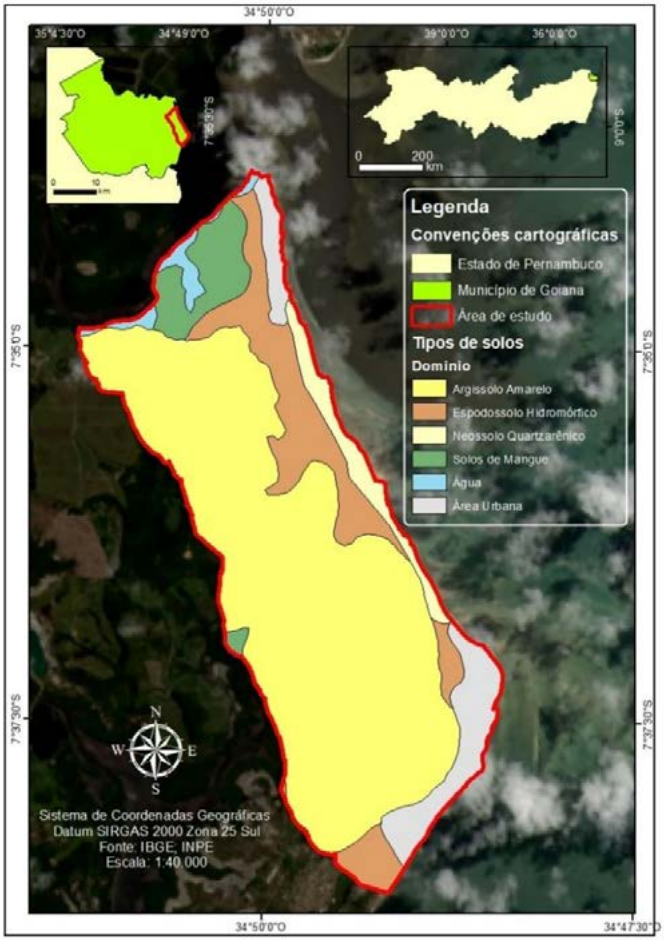


Figura 4: Mapa da distribuição dos solos da área de estudo
Elaborado pelos autores, 2021.

O Argissolo Amarelo domina a área, estendendo-se predominantemente pelos tabuleiros e parte da planície costeira, representando o maior domínio. De acordo com a Embrapa, tal solo é caracterizado fortemente por possuir um horizonte B textural, com baixos teores de Ferro (salvo pela goethita), sendo desenvolvidos principalmente por sedimentos da Formação Barreiras. Este tipo de solo comumente apresenta de média a baixa fertilidade, sendo recomendados para o manejo quando situados em áreas mais movimentadas e úmidas e em relevo plano ou plano a suave ondulado, como no caso dos Tabuleiros Costeiros, estando, portanto, bastante relacionado ao cultivo de cana-de-açúcar, condizendo com o uso da área. Por esse motivo, não apresentam risco significativo à vulnerabilidade ambiental, principalmente por se situarem nos topos dos tabuleiros, tendo, portanto, como valor atribuído, 0,2.

O Espodossolo hidromórfico, entretanto, ocupa quase todas as áreas de encostas dos tabuleiros, da planície costeira e parte da flúvio-marinha, apresentando como características, de forma geral (classe dos Espodossolos), o acúmulo de matéria orgânica e horizonte B espódico. Em relação as suas formas de uso e manejo, para fins agrícolas, estão associadas a utilização de culturas, a exemplo do coco-da-baía e tem sua ocorrência desenvolvida em baixadas litorâneas, comumente associadas a sedimentos arenosos. O hidromórfico, especificamente, apresenta como principal aspecto forte restrição à drenagem, o que, juntamente com o relevo de sua ocorrência - predominante nas encostas de tabuleiros, portanto declivoso - conduziu à atribuição do valor de risco de 0,9.

Ainda na planície costeira, mais especificamente próximo ou inserido no ambiente praial, econtra-se a presença de Neossolo Quartzarênico, cuja ocorrência é típica em relevos plano ou suave ondulado, apresentando textura arenosa, sendo profundos de alta lixiviação e baixo teor de matéria orgânica. Tanto por ser bem drenado, bem como por se localizar em relevos brandos, não apresenta recorrência de processo erosivo, sendo também utilizado para o cultivo de cana-de- açúcar. Assim, foi atribuído o valor de 0,1 ao Neossolo Quartzarênico, por apresentar uma erodibilidade relativamente menor frente aos demais solos mapeados na área.

Finalmente, fechando o critério pedológico, tem-se os Solos de Mangue, sendo eles bastante escuros, com alto teor de sais oriundos do mar e matéria orgânica, originários do período Holoceno. Sua ocorrência se dá em áreas de várzea de baixadas litorâneas, como as áreas estuarinas, ou sob vegetação de mangue com influência direta de deposição provenientes de ambientes de baixa energia, a exemplo das marés. Em relação ao seu uso, este tipo de solo se insere em ambientes considerados como berçários de certas espécies marinhas, que os utilizam para reprodução, tendo alto valor socioeconômico, ambiental e mesmo cultural, uma vez que se configura como principal sustento de comunidades pesqueiras. Devido as suas características físicas e intensa presença antrópica na área, a este tipo de solo foi atribuído o valor máximo de risco: 1,0.

Fator usos

Em relação as formas de uso local, seguindo os critérios de classificação estabelecidos pelo Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013), identificou-se seis categorias de uso da terra, sendo elas: Carcinicultura, Culturas Temporárias, Pastagem, Solo Exposto, Vegetação Natural e Área Urbana. Tal classificação é demonstrada no mapa abaixo:

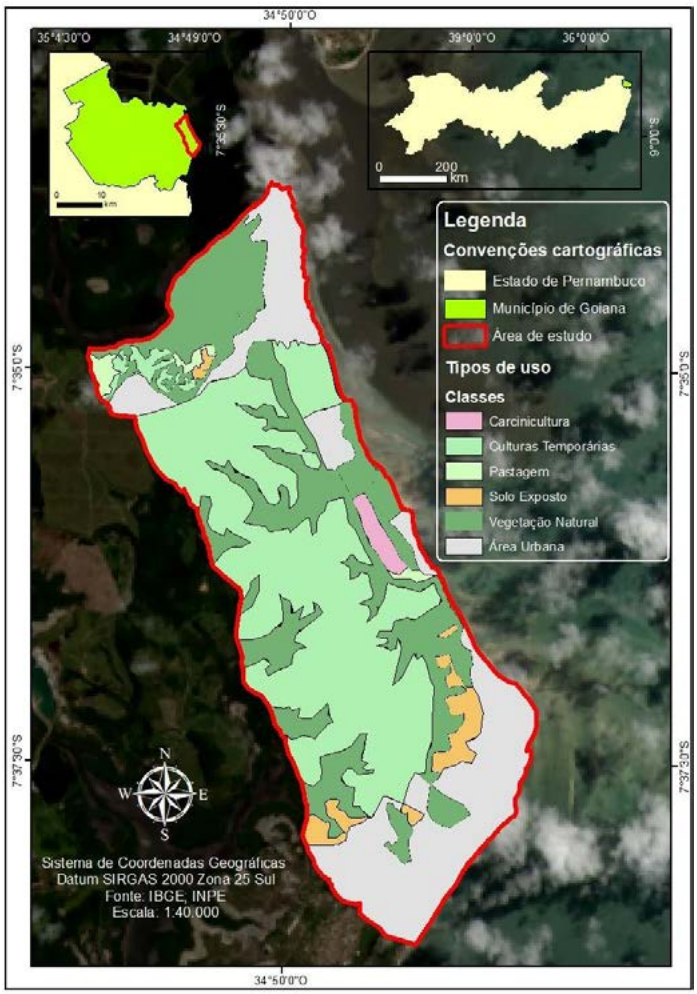


Figura 5: Mapa das formas de uso presentes na área de estudo
Elaborado pelos autores, 2021.

A carcinicultura corresponde a um ramo específico da aquicultura, que trata do cultivo e produção de camarão, sendo uma das principais atividades econômicas do município, subsidiando a fonte de renda de famílias pesqueiras local. Entretanto, o desenvolvimento dessa atividade tem apresentado conflitos com as áreas de mangue, degradando-as, por meio da supressão da vegetação para a instalação, ou mesmo ampliação de viveiros e implementação de vias de acesso para tais. Em detrimento disto, o lançamento de efluente e resíduos nos seus corpos d'água, pode comprometer, ao longo do tempo, a funcionalidade desses ecossistemas. (CPRH 2003 apud. ALBUQUERQUE; MAGNOS, 2008)

Destarte, levando em consideração as potencialidades da Carcinicultura, bem como sua relação direta com as áreas de mangue, fora atribuído o peso 0,7, o que acredita-se ser justo, uma vez que, apesar da sua sensibilidade, possui pouca expressão na área de estudo delimitada.

Enquadrando a categoria de culturas temporárias, tem-se a cana-de--açúcar e o coco-da- baía (IBGE, 2013), como os principais cultivos na área, sendo a primeira típica em áreas mais elevadas (como nos topos de tabuleiro) e a segundo comum as áreas mais rebaixadas, estando,

por essa razão, junto a planície costeira que compõe a área de estudo. A esta categoria de uso fora atribuído o valor de risco 0,3, relativamente baixo em relação ao demais identificados, uma vez que ambas as culturas não estão inseridas em áreas declivosas, junto à moradias e/ou relacionadas à solos susceptíveis à erosão.

Em relação à categoria Pastagem, devido a sua relativa proximidade as áreas de encosta do tabuleiro, bem como sua alternância com trechos de vegetação nativa (a exemplo das áreas de manguezais), atribuiu-se o valor de Risco 0,7. Apesar de ser uma atividade pontual e de pouca expressão na área, a categoria Pastagem pode implicar numa vulnerabilidade ambiental significativa, quando correlacionada com os demais critérios físicos que subsidiam este estudo; sendo por isso tão importante para a análise integrada em estudos de mitigação ambiental.

As áreas de solo exposto e urbanas, apesar de serem categoricamente distintas, assumem um mesmo valor de risco, 0,8, por se situarem praticamente mescladas uma a outra, assumindo, por este motivo, critérios de julgamento semelhantes na designação de riscos. Por constituírem áreas de beleza cênica e de rápida valorização do solo, as faixas litorâneas e adjacências se configuram como zonas de uso intensivo, de modo que o adensamento da ocupação urbana no setor, traz consigo problemas ligados à apropriação de vias públicas (CPRH, 2003), o que tem implicado em um acelerado processo de erosão costeira, retrogradação e/ou mudanças na morfologia da linha de costa e na degradação de ecossistemas marinhos e costeiros. (VIEIRA; REIS; GIRÃO, 2020)

Já na categoria de Vegetação Natural, enquadrando as áreas de manguezais e demais formações nativas (IBGE, 2013), tem-se o valor de risco máximo designado para as classes 0,9. Tal atribuição é justificada tanto pela elevada fragilidade dos ecossistemas de manguezais, por serem terrenos submetidos à influência constante das marés e relacionados ao uso intensivo para a pesca comercial, como também pelos prováveis desmatamentos e caças predatória existentes nas áreas de remanescentes de Mata Atlântica na área, que têm implicado na redução e ameaça da diversidade faunística e florística ainda existente na área. (CPRH, 2003)

Fator Moradias

Almejando espacializar a distribuição das moradias na área de estudo, foi realizada uma estimativa de ocorrência/influência das residências local, suscitando-se, desta forma um mapa da distribuição espacial contínua desta variável. O Kernel se configura como um estimador de intensidade, caracterizado por avaliar o comportamento espacial de eventos ou padrões pontuais, cuja análise exploratória inicia-se pela estimativa da intensidade de ocorrência do fenômeno pontual em toda a região na qual os pontos amostrais estão distribuídos, que neste caso, são aqui representados pelo *shape* de ponto de quantificação das moradias. (FALCÃO, 2013)

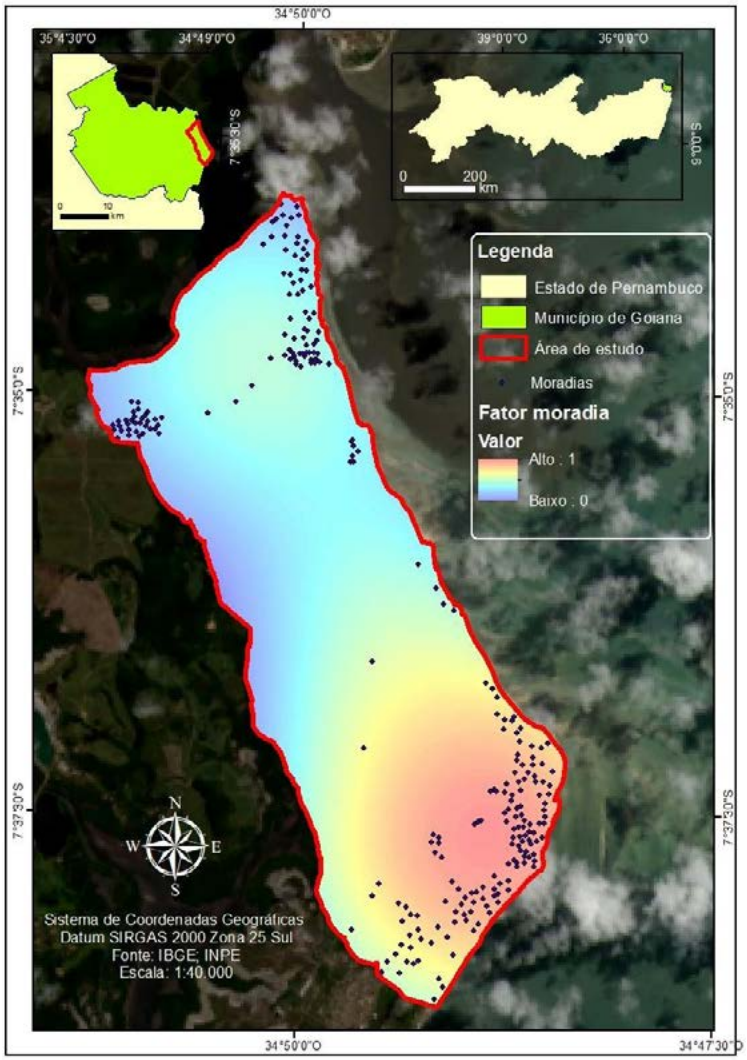


Figura 8: Mapa da Distribuição das moradias presentes na área de estudo
Elaborado pelos autores, 2021.

Através do mapa, é possível inferir que grande parte das moradias se concentra na planície costeira, presencialmente junto à faixa litorânea, revelando áreas de maior fragilidade quando cruzada com os demais critérios designados neste estudo, para a avaliação da susceptibilidade ambiental da área. Isto será melhor explicitado no tópico a seguir, através da síntese de todas as variáveis que suscitaram o mapa de vulnerabilidade local.

Combinação dos critérios e Vulnerabilidade Ambiental local

Após a análise isolada dos critérios designados para o estabelecimento da vulnerabilidade ambiental da área de estudo, realizou-se em ambiente SIG, por meio do software *QGIS 3.16*, o método de álgebra de mapas, utilizando-se da ferramenta calculadora raster para tal, combinando os valores dos riscos dos critérios, através da tabela de Saaty (1977), ora estabelecidos. Partindo desse pressuposto, os valores foram primeiramente plotados numa planilha do Excel e

posteriormente submetidos a cálculos geoestatísticos, revelando, matematicamente, índices que validam a acurácia do método aplicado, a exemplo da Razão de Consistência (RC), caracterizada, outrora, por indicar a probabilidade de as comparações entre os critérios terem sido geradas de modo aleatório. A razão de consistência neste estudo foi obtida no valor de 0,042356, configurando como satisfatório (uma vez que atesta um valor inferior a 0,1) de acordo com a metodologia proposta por Saaty (1980), designada Processo de Análise Hierárquica - AHP (Analytic Hierarchy Process).

Assim, segue abaixo a tabela com o estabelecimento da comparação entre os critérios, consoante Saaty (1977):

TABELA II:
Matriz de comparação pareada com os critérios globais e pesos atribuídos

Classes	Uso e Cobertura	Solos	Declividade	Moradias
Uso e cobertura	1,00	7,00	5,00	8,00
Solos	0,14	1,00	0,50	2,00
Declividade	0,20	2,00	1,00	4,00
Moradias	0,13	0,50	0,25	1,00

Elaborado pelos autores, 2021.

A partir da tabela e da avaliação dos valores estabelecidos para cada critério, em linhas gerais, é possível inferir que a categoria concernente ao "Uso e Cobertura" da área tem uma importância significativa frente aos demais critérios, uma vez que exerce importância muito forte em relação ao fator solos (7), forte importância em relação à declividade (5), e valor (8), abrangendo valores intermediários em relação ao fator moradias.

Ao passo que o fator "Moradias" possui baixa ou pouca relevância em relação aos demais critérios, tendo com o maior valor 1, demonstrando a importância da análise conjunta de todos os elementos pré-estabelecidos, uma vez que o adensamento populacional, quando atrelado aos demais critérios, configura-se como um fator de alta degradação ambiental.

Destarte, ficou estabelecida a seguinte hierarquia de critérios para a análise da vulnerabilidade ambiental da área de estudo, posteriormente espacializado no mapa:

1. Primeira maior importância: Formas de uso da terra;
2. Segunda maior importância: Fator declividade;
3. Terceira maior importância: Fator solos;
4. Quarta maior importância: Fator moradias.

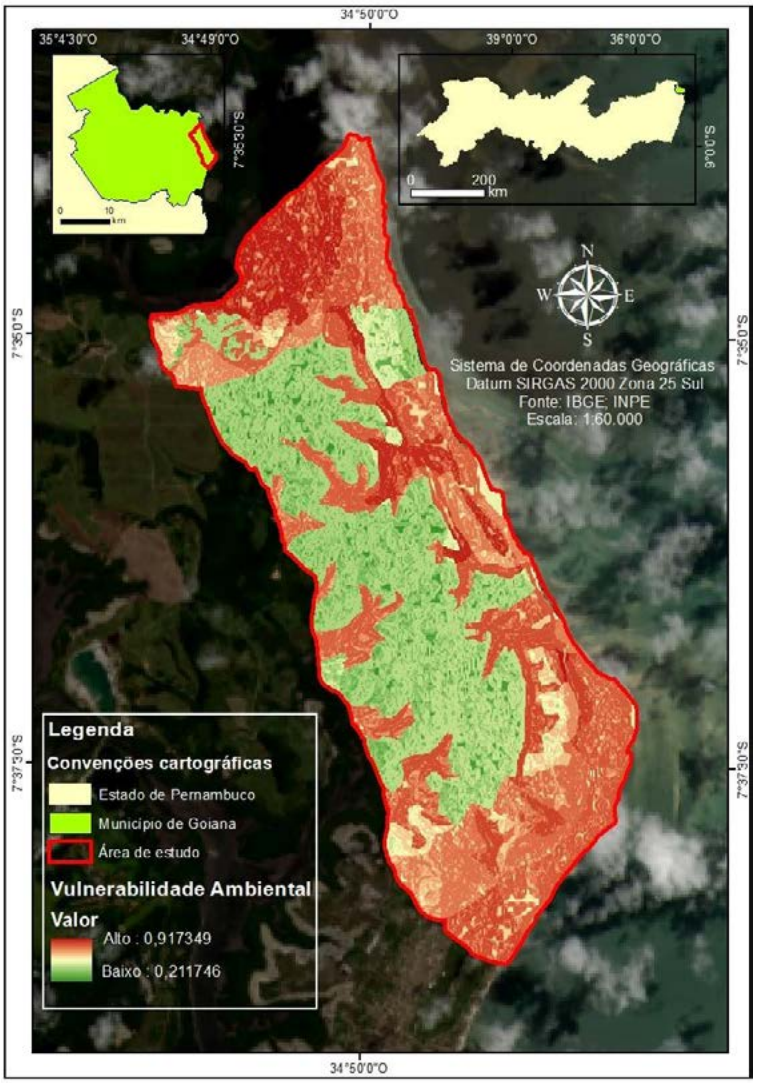


Figura 9: Mapa da Vulnerabilidade Ambiental da área de estudo, a partir do método AHP
Elaborado pelos autores, 2021.

Destarte, a combinação pareada dos critérios pré-estabelecidos, deram origem a ao mapa de riscos ao processo de degradação ambiental, num dado trecho da zona costeira do município de Goiana, litoral Norte de Pernambuco. Tal mapa apresenta valores compreendidos no intervalo de 0 a 1, seguindo a normalização outrora estabelecida à todos os critérios ponderados na presente análise, revelando áreas de maior ou menor vulnerabilidade ambiental.

Portanto, em termos absolutos, os valores variaram de 0,211746 (o mais baixo) a 0,917349 (o mais alto), estando, de modo geral, os menores índices relacionados às áreas de tabuleiros e os mais elevados presentes nas áreas de maior adensamento populacional, e de maior sensibilidade física do ponto de vista ecossistêmico, a exemplo das áreas de manguezais; o que só reforça a análise feita num primeiro momento, de forma isolada, dos critérios propostos. Não obstante, o mapa revela também a importância da análise integrada em estudos ambientais, uma vez que, determinado critério pode apresentar um comportamento distinto de quando investigado isoladamente, para quando averiguado de forma conjunta com as demais variáveis.

Considerações finais

A análise da vulnerabilidade ambiental, permite, a partir da relação processual de critérios físicos, fornece diagnósticos acerca do planejamento territorial de regiões sensíveis à impactos ambientais, tais como as regiões litorâneas brasileiras. O método AHP *analystic hierarchy process*

- *processo analítico hierárquico*, desenvolvido por Saaty (1977), fornece subsídios para a análise de vulnerabilidade ambiental, uma vez que, de modo hierárquico atribui diferentes relevâncias a determinados critérios, visando a compilação desses, para chegar a um produto geral.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do método AHP para a construção deste trabalho são de suma importância para o estabelecimento de diretrizes acerca dos principais critérios associados aos usos e ocupação da área estudada. Compreender a influência dos fatores de risco possibilita subsídios para um melhor planejamento ocupacional, sobretudo das áreas urbanas, visando reduzir a influência de impactos ambientais negativos.

A perturbação das condições naturais a partir de *inputs* de energia externos fornece consequências que, a longo prazo, podem tornar-se irreversíveis. Estes impactos ambientais, sobretudo os relacionados às ações antrópicas, são extremamente prejudiciais e se associam diretamente ao aumento da vulnerabilidade ambiental, necessitando de atenção especial dos tomadores de decisão.

Conforme destacado anteriormente, a área delimitada por parte do município de Goiana (PE) apresenta características ocupacionais que corroboram com a hipótese de que as áreas com maior presença de moradias são as que, consequentemente, fornecem os maiores fatores de risco.

Referências Bibliográficas

ACSELRAD, Henri. Vulnerabilidade ambiental, processos e relações. **Comunicação ao II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais, FIBGE, Rio de Janeiro**, v. 25, 2006.

AHMED, C. R. M. **Fatores que influenciam a erodibilidade nos solos do município de Campos dos Goytacazes-RJ sob uma análise multicritério**. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. Recuperado em 20 de agosto de 2020, de http://uenf. br/posgraduacao/engenharia-civil/wp- content/uploads/sites/3/2015/09/CLARISSA-REGINA-MASIERO-AHMED1. pdf.

ALBUQUERQUE, Paulo de Tarso da Fonseca, Paulo; MAGNOS Muniz e Silva, Carlos. **A aqüicultura como alternativa de reabilitação ambiental para áreas mineradas na Região Metropolitana do Recife RMR e Goiana-PE**. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

CPRH - Companhia Pernambucana de Meio Ambiente. **Diagnóstico socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco**. Recife, Brasil: CPRH, 2003.

DIAS, Valdirene Silva Brito; DA SILVA, Ardemírio de Barros. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 6, 2014.

DOS SANTOS, Humberto Gonçalves *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

FALCÃO, Ermano Cavalcante. **Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no município de Boa Vista-PB, 2013, 126f**. 2013. Tese de Doutorado. tese de doutorado). Universidade Federal de Campina Grande–PB.

DE FIGUEIREDO, M. C. B. *et al.* Análise da vulnerabilidade ambiental. **Embrapa Agroindústria Tropical-Documentos (INFOTECA-E)**, 2010.

GUY, M. (1966) - Quelques principes et quelques expériences sur la methodologie de la photointerpretation. Acte du 11 **Symposiun International de Photo-Interpretation**, vol. 1, págs. 21

- 41, Paris.

IBGE.Manual Técnico de Uso da Terra (**Manuais Técnicos em Geociências**), n. 7. 3º ed., IBGE. 2013.

JÚNIOR, José Fernando Pinese; RODRIGUES, Silvio Carlos. O método de análise hierárquica– AHP–como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 4-26, 2012.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco- Paraiba. **Revista brasileira de geociências**, v. 18, n. 4, p. 476-482, 1989.

VIEIRA, Júlia Stefane da Silva; REIS, Lucas Henrique Ribeiro; GIRÃO, Osvaldo da Silva. Análise morfodinâmica de ambientes costeiro e estuarino do município de Goiana, Litoral norte do estado de Pernambuco. **Cerrados**, v. 18, n. 1, p. 83-106, 2020.

JÚNIOR, José Fernando Pinese; RODRIGUES, Silvio Carlos. O método de análise hierárquica– AHP–como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 4-26, 2012.

RIVERAU, J. C. (1972) - Notas de aula do curso de fotointerpretação - Publicado - pela **Soc. Intern. Cult. Esc. Geol.** (Ouro Preto) em XI Semana de Estudos.

SAATY, T. **A scaling method for priorities in hierarchical structures**. JOURNAL OF Mathematical Psychology, New York, v. 15, p. 234-281, 1977.

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. **Prediction, projection and forecasting: applications of the analytic hierarchy process in economics, finance, politics, games and sports**. Springer, 1991.

SAATY, T. L. The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: **McGraw-Hill**, 1980. 287p.

MODELAGEM ECOLÓGICA APLICADA À CONSERVAÇÃO DE ARAUCÁRIA ANGUSTIFÓLIA EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Fernando Bertoldi de Oliveira
Universidade Feevale
RS-239, 2755 - Vila Nova,
Novo Hamburgo - RS, 93525-075
E-mail: fernandobertoldi95@gmail.com
Jairo Lizandro Schmitt
Universidade Feevale
RS-239, 2755 - Vila Nova,
Novo Hamburgo - RS, 93525-075
E-mail: jairols@feevale.br

Resumo

A Floresta Ombrófila Mista é uma importante formação florestal do bioma Mata Atlântica. A representação dessa formação está diretamente associada a presença de uma espécie arbórea conhecida por Araucária. Essa espécie foi fortemente explorada no século XX para obtenção de madeira. Devido ao atual estado crítico de conservação dessa espécie, este estudo propôs o uso de ferramentas de modelagem como forma de fornecer subsídios que ajudem a compreender seu desenvolvimento no meio ambiente. Foram avaliadas nove variáveis ambientais em relação aos pontos de ocorrência de *Araucária angustifólia* no estado do Rio Grande do Sul e em cada Unidade de Conservação do Estado. Foi relatado que 99,77% da área de nicho dessa planta não é abrangida pelas UCs no Estado. Entre as variáveis ambientais, altitude e PTU obtiveram maior contribuição para o modelo, totalizando 78% de importância. Estudos como esse são a resposta para compreender os fatores modificam a distribuição das espécies e que devem ser considerados nas ações de conservação de nossos biomas brasileiros.

Palavras-chave: Conservação, Modelagem, Araucária

1. Introdução

A Mata Atlântica brasileira, hoje reduzida a menos de 8% de sua extensão original, totaliza cerca de 1.350.000 km2 do território nacional, e estende-se desde o Ceará até o Rio Grande do Sul (Fundação SOS Mata Atlântica et al., 1998; Fundação SOS Mata Atlântica & INPE, 2002). Esse bioma é caracterizado por diferentes formações florestais como: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Campos de Altitude e Restinga. (CAMPANILI e PROCHNOW, 2006; MMA, 2014). Entre essas formações florestais do bioma a Floresta Ombrófila Mista (FOM) é caracterizada principalmente pela presença abundante da araucária (*Araucaria angustifolia*) (REITZ & KLEIN, 1966), espécie arbórea que foi intensamente explorada devido sua madeira de altíssima qualidade no século XX (HUECK 1972; REITZ & KLEIN 1966; KOCH e CORRÊA 2002). Entretanto essa espécie expressa grande importância ecológica, como fonte de alimentos para aves e mamíferos (REITZ & KLEIN 1966), especialmente por sua maior disponibilidade de sementes concentrar-se no outono / inverno, época em que poucas espécies frutificam (PAISE & VIEIRA 2005). *A. angustifolia* apresenta regeneração fraca, tanto no interior da floresta, como em ambientes pouco perturbados. Devido a essas circunstâncias a espécie encontra-se listada na Red List da IUCN, na categoria "criticamente em perigo", além da Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção (IBAMA 1992, Brasil/MMA 2008). Todos esses aspectos críticos ressaltam a insuficiência de espaços legalmente protegidos, sob a forma de unidades de conservação, na área de ocorrência original dessa espécie.

Tendo em vista a importância ecológica e o grau de ameaça dessa espécie, estudar o padrão de distribuição espacial fornece subsídios para compreender o comportamento de diversos fenômenos que podem estar associados ao seu desenvolvimento (ANJOS et al., 1998). O conhecimento do padrão espacial das espécies pode fornecer informações sobre a ecologia, subsidiar a definição de estratégias de manejo e conservação, auxiliar em processos de amostragem ou esclarecer a estrutura espacial de uma espécie.

O uso de algoritmos de modelagem, dados e técnicas de Sensoriamento Remoto integrado os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) tem se ampliado com o passar dos anos contribuindo no desenvolvimento de diversos tipos de análises no âmbito dos estudos geoambientais (COELHO e FERREIRA, 2011; JENSEN, 2009). Os algoritmos mais frequentemente utilizados na espacialização e análise de espécies são os de máxima entropia, empregados na definição de relações existentes entre a distribuição atual de espécies e as variáveis climáticas atuais, que refletem a preferência a determinadas condições ambientais (ARAÚJO e GUISAN, 2006). Tais modelos são utilizados para comparar a distribuição presente na literatura com relação ao nicho ecológico estabelecido pela distribuição potencial por eles determinada. Os modelos de distribuição potencial de espécies geram possibilidades promissoras para o uso de dados existentes em museus e herbários (ELITH et al., 2006). Como resultado dos modelos, baseados na distribuição de probabilidades de localização com relação às variáveis climáticas, certas espécies podem apresentar distribuições distintas daquelas definidas em guias específicos da literatura (SIQUEIRA, 2009).

Nessa perspectiva o presente trabalho tem como objetivo investigar a distribuição potencial de *Araucaria angustifolia* no estado do Rio Grande do Sul - Brasil através do algoritmo de máxima entropia, Maxent, utilizando variáveis bioclimáticas de temperatura e precipitação, topográfica, vegetação.

Procedimentos metodológicos

2.1 Dados de ocorrência

Os dados de ocorrência da espécie de estudo foram obtidos por meio de bancos de dados SpeciesLink (CRIA); Herbário Virtual da Flora e dos Fungos (INCT) e pelo website, Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (GBIF, 2017; GBIF,2020). As informações serão revisadas para a presença de dados duplicados e incoerências relacionadas distribuição geográfica, por exemplo, causada por erros de digitação de coordenadas (HIJMANS e ELITH, 2015 SIQUEIRA et al., 2019). Após a coleta de dados foi elaborado uma planilha contendo todos os pontos de ocorrência das espécies e as informações como: localidade (cidade ou município), coordenadas geográficas (latitude e longitude) em graus decimais, data de coleta e altitude. Os registros foram agrupados para geração de um mapa no Software ArcMap versão 10.4.1

2.2 Variáveis ambientais

Para a coleta dos dados climáticos utilizaremos o banco de dados WorldClim e AMBDATA (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (AMARAL et al., 2013) para extrair as seguintes variáveis ambientais demonstradas na tabela 1:

TABELA 1.

Variáveis ambientais utilizadas para modelagem do estudo, extraídas dos bancos de dados online WorldClim ***(http://www.worldclim.org) e AMBDATA (http://www.dpi.inpe.br/Ambdata).***

CÓDIGO	SIGLA	DESCRIÇÃO
BIO4	TS	Sazonalidade da temperatura
BIO15	PS	Sazonalidade da precipitação
BIO5	TMa	Temperatura máxima no período mais quente
BIO6	TMi	Temperatura mínima no período mais frio
BIO10	TTQ	Temperatura média do trimestre mais quente
BIO11	TTF	Temperatura média do trimestre mais frio
BIO13	PTU	Precipitação no trimestre mais úmido
BIO17	PTS	Precipitação trimestre mais seco
ALT	ALT	Altitude

Fonte: Próprio autor, 2021

2.3 Modelagem de Máxima Entropia

A distribuição potencial atual de *A. angustifolia* foi modelada utilizando o programa Maxent versão 3.4.0e (Figura 1), que estima a distribuição mais uniforme sobre a área que se pretende avaliar, com base em dados de presença e ausência, utilizando um algoritmo de máxima entropia. O programa calcula probabilidades sobre cada pixel do mapa gerando probabilidades que somadas geram um valor entre 0 e 1 (PHILIPS et al., 2006; PHILIPS e DUDIK, 2008). O programa foi rodado utilizando a configuração padrão. O modelo foi gerado utilizando 75% dos registros de ocorrência selecionados aleatoriamente e avaliado com os 25% restantes. Os modelos foram avaliados utilizando a característica

operacional relativa (ROC) e a área sob a curva (AUC) (FIELDING e BELL, 1997). A curva considera a taxa de omissão em relação à área fracional prevista. Modelos com valores de AUC próximos a 1.0 podem ser considerados bons e conseguem predizer a presença de condições para a espécie melhor do que o acaso. Modelos com AUC próximos ou inferiores a 0.5 são considerados modelos não melhores que o acaso. Foi considerada ainda a possibilidade de 5% de erro na predição, pois alguns registros podem representar indivíduos fora do seu nicho ótimo ou em áreas de transição. Todas as células abaixo do valor limiar foram fixadas em '0' e mantidas as probabilidades de ocorrência das acima desse limite. Foram realizadas dez réplicas, formatadas em média ± desvio padrão, o que representa uma análise mais robusta do modelo.

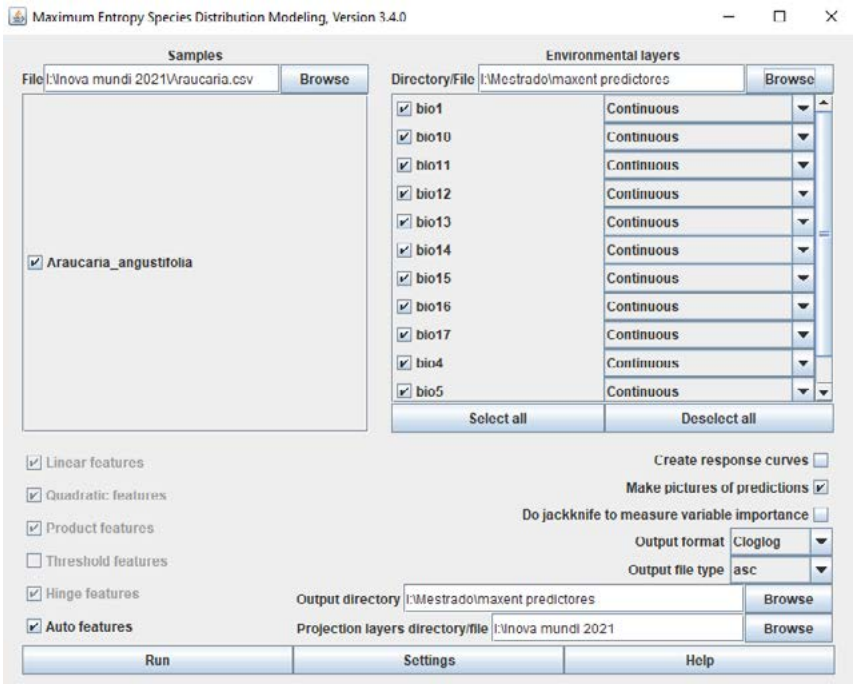


FIGURA 1: Disposição da entrada de dados no programa Maxent.
Fonte: próprio autor, 2021.

2.4 Produção dos Mapas

Os mapas de distribuição da *Araucária angustifólia* em relação à modelagem de Máxima Entropia e Distribuição Potencial em Relação às Unidades de Conservação do Rio Grande do Sul foram elaborados no aplicativo computacional ArcGIS-10.8 Todos os dados vetoriais foram organizados para elaboração de um projeto em SIG, onde as camadas de limite estadual, unidades de conservação e cobertura de *A. angustifolia* tiveram como fonte o website Unidades de conservação do Brasil e. Em seguida foram inseridos e reprojetados os raster gerado pelo Maxent no sistema Universal Transversa de Mercator-UTM e Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas-SIRGAS 2000, seguido do recorte para o estado do Rio Grande do Sul.

Resultados e discussão

A modelagem de máxima entropia apresentou condições melhores do que o acaso na predição de condições favoráveis para a ocorrência de *A. angustifolia*, com um limiar de resposta da AUC de 0.964 ± 0,006 (Fig. 2 e 3).

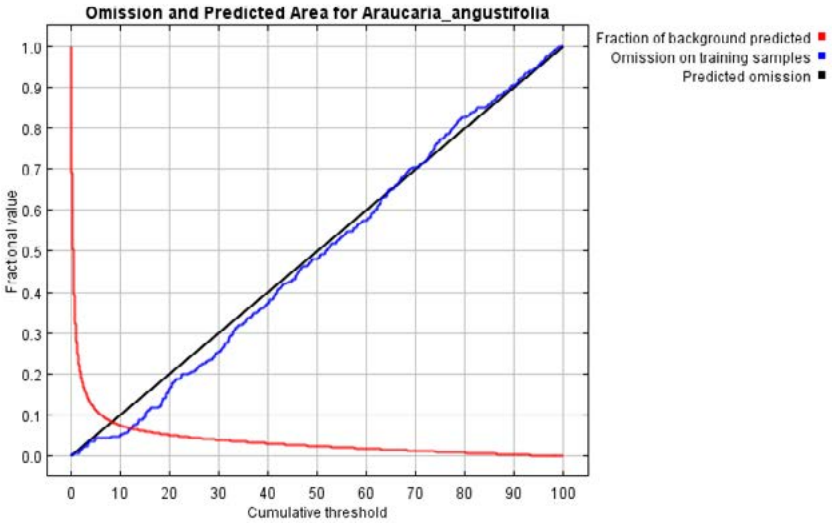


FIGURA 2: Representação da taxa de omissão calculada através dos registros de presença de treinamento e nos registros de teste.
Fonte: próprio autor, 2021.

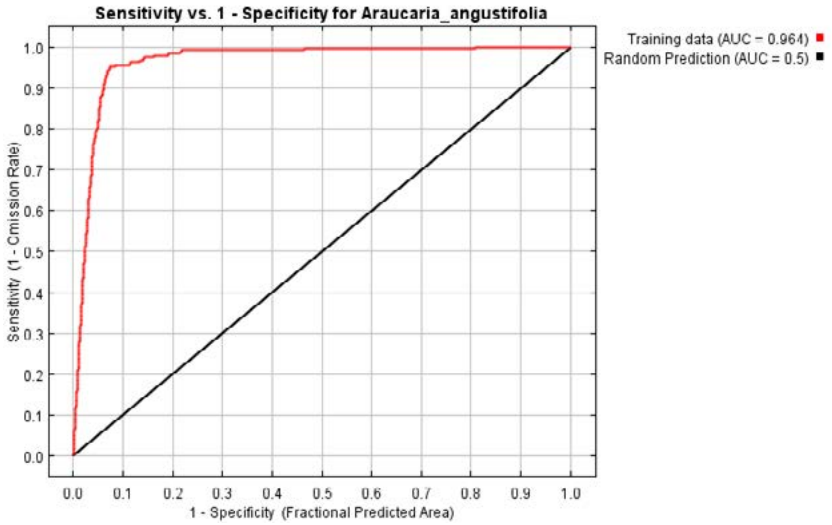


FIGURA 3: Representação da curva de característica de operação do receptor (ROC) para os mesmos dados.
Fonte: próprio autor, 2021.

A distribuição prevista pelo modelo realizado nesse estudo coincidi-o com a bibliografia atual (WREGE, et al 2017). A espécie *Araucária angustifólia* limita-se entre os estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul.

O modelo gerado aponta a presença a região da serra como principal local para manutenção das populações da espécie no Rio Grande do Sul. No entanto diferente da bibliografia, surge uma nova concentração dessas populações próximo a região central do estado, entre os municípios de Santa Maria e Santa Cruz do Sul (WREGE, et al 2017). Essa nova concentração pode ser explicada, pelo típico relevo montanhoso e úmida considerada adequada para o desenvolvimento da espécie nessa região do estado, como demonstrado na figura 4.

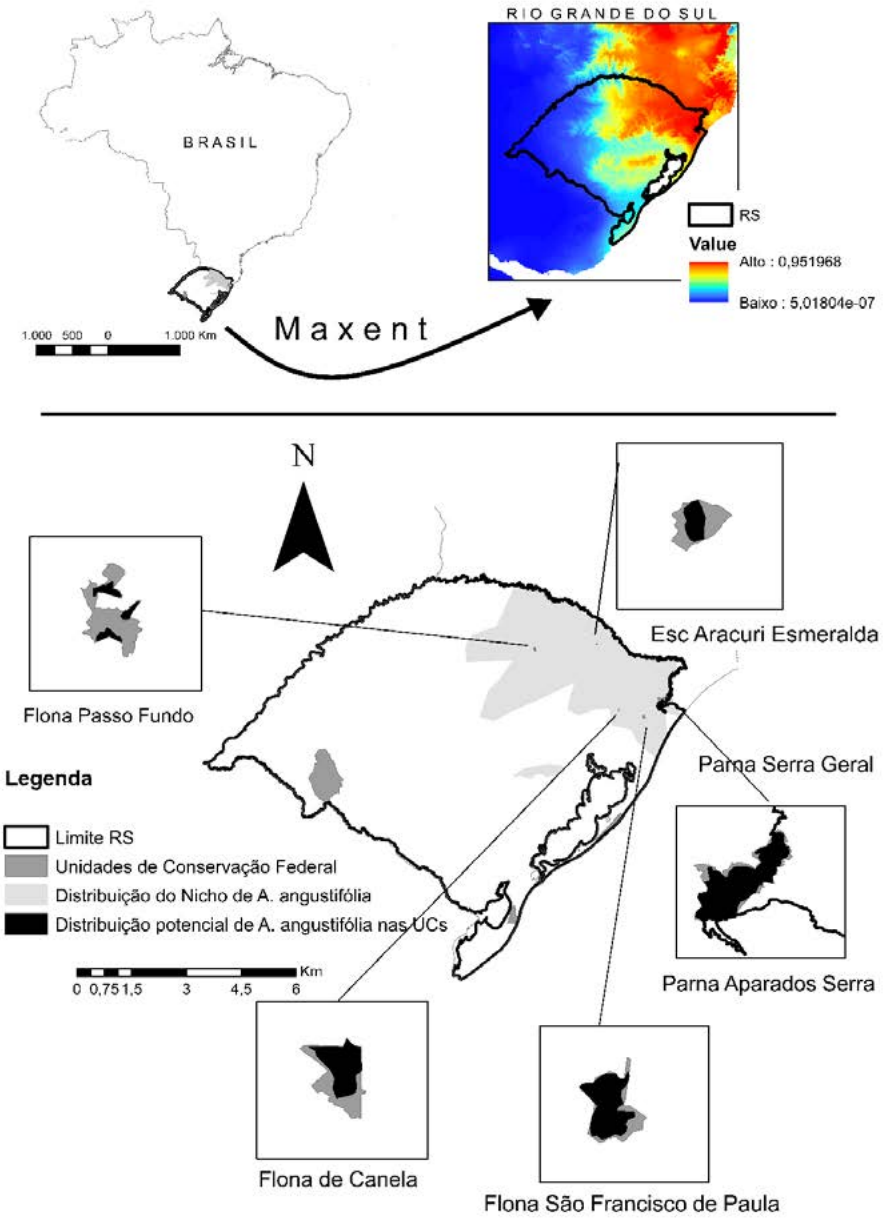


FIGURA 4: Mapa da distribuição potencial de *Araucaria angustifolia* em relação às Unidades de Conservação Estaduais do Rio Grande do Sul. **Fonte:** próprio autor, 2021.

Entre as variáveis ambientais analisadas, altitude e PTU (Precipitação no trimestre mais úmido) foram as mais significativas para construção do modelo, correspondendo a 78% de importância. Essas variáveis quando relacionadas ao mapa de ecorregiões corresponde às áreas de ocorrência de campos sulinos e floresta de araucária. Demonstrando a importância de sua representação para este ecossistema (WREGE et al. 2016).

Considerando a análise do modelo para o estado e a extensão da área do nicho de *A. angustifolia* sobreposta por Unidades de Conservação (UCs), 99,77% da área de nicho não e abrangida pelas UCs na modelagem de máxima entropia. Entretanto quando observamos está sobreposição em relação a área total de UCs e o nicho de A. *angustifolia* dentro dessas unidades, 61,23% estão sendo preservadas por estas unidades. Deve-se considerar também que das nove UCs estaduais só seis

foram avaliadas por ter como critério de estudo a presença de *A. angustifolia.* Podeos compreender melhor esse resultado analisando a figura 4 e tabela 2.

TABELA 2.

Área total (ha) calculada para cada camada do estudo

Mapa	Área Total (ha)
UCs	31.314,00
Distribuição do Nicho de Angustifólia nas UCs	19.173,56
Distribuição do Nicho de Angustifólia no RS	64.80204,00

Fonte: Próprio autor

Apesar do resultado da falta de UCs para uma maior abrangência de preservação do nicho da espécie no Estado. Observa se que os indivíduos de *A. angustifolia*, assim como avaliado por KANIESKI, et al. 2009 ocorrem de forma gregária, o que demostra a predileção da espécie por um ambiente específico de desenvolvimento. Essa característica se bem avaliada por ser utilizada para gerar subsidiar, num primeiro momento, as principais áreas e esforços para encontrar um ambiente com inter-relações favoráveis à conservação biológica da espécie (ZANETTE et al. 2017).

Outro ponto importante de ser analisado nesse estudo é a distância de dispersão desses pontos gregários dos indivíduos dessa espécie, onde a fragmentação dos ambientes florestais pode estar diretamente relacionada. Uma vez que o tamanho da espécie e é uma medida equivalente ao tamanho do território (BOWMAN, 2003). A dispersão depende também da existência de áreas livres (BOWMAN, 2003) e da relação das variáveis ambientais ideais para ocupação da espécie (MATLOCK e EDWARDS, 2006, LORRILLIERE et al., 2010). O espaçamento existente entre cadeias de montanha pode causar um efeito equivalente ao de ilhas (NORES, 1995), representado nesse estudo principalmente nas UCs Parna Aparados da Serra e Parna Serra Geral. Sendo assim necessário uma atenção maior no momento de adotar áreas prioritárias para ações de conservação.

Embora a porcentagem de conservação da espécie ainda seja consideravelmente boa se comparada com o tamanho total de UCs com a área de nicho de *A. angustifolia* preservada em UCs. Se reflete sobre o grau crítico de conservação dessa, para que através de análises ambientais como realizadas nesse estudo, sejam elaboradas estratégias de implantação de uma maior quantidade de UCs capazes de abranger seu nicho de forma mais efetiva para o estado. Contribuindo para a preservação dessa espécie símbolo e toda biodiversidade que se relaciona a ela.

4. Conclusão

Este estudo demonstra a importância dessas técnicas para o estudo da nossa biodiversidade e conservação de espécies ameaçadas. A modelagem desse estudo permitiu não só compreender o grau de conservação da *Araucária angustifolia* como também refletir sobre a qualidade dos nossos espaços naturais em termos de distribuição de espécies. O estudo revela que teríamos potencial para abranger muitas outras áreas importantes para manutenção da espécie. No entanto deve-se avaliar a relação que as variáveis ambientais que interagem nesses espaços geográficos. Uma vez que estás espécies necessitam de condições de desenvolvimento especificas em seus sítios.

O uso do SIG e programas como Maxent, possibilitam a sistematização de informações capazes de favorecer ações mais eficazes e ágeis de conservação. Foi comprovado que muitos outros trabalhos podem se favorecer do compartilhamento de informações para elucidar ações de gestão que garantam a preservação dos ambientes naturais.

5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

Agradeço a orientação excepcional do professor Jairo Lizandro Schmitt e por todos os conhecimentos adquiridos no laboratório de botânica da Universidade Feevale. Eu não seria capaz de ir tão longe se não fosse tantos momentos de aprendizado e compartilhamento de conhecimento que esse espaço me permitiu.

Referências

AMARAL S.; COSTA C.B.; ARASATO L.S.; 2013 AMBDATA: Variáveis ambientais para Modelos de Distribuição de Espécies (MDEs). Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

AMBDATA. **Variáveis ambientais**. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/. Acesso em: 25 jul. 2021.

ARAÚJO, M., e GUISAN, A. Five (or so) challenges for species modelling. Journal of Biogeography, v. 33, p. 1677- 1688, 2006.

Bowman, J. Is dispersal distance of birds proportional to territory size? Canadian Journal of Zoology, v. 81, p. 195- 202, 2003.

Brasil, 2008. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Cadastro nacional de unidades de conservação. Disponível em (Acesso em 21/07/2021).

CAMPANILI, M., e PROCHNOW, M. Os Estados da Mata Atlântica. **Mata Atlântica–Uma rede pela floresta**. –RMA, Brasília, 142-145. 2006.

COELHO, A. L. N.; FERREIRA, G. A. C. Geotecnologias aplicadas em área inundável: O caso de Brejo Grande, Serra - ES. GeoTextos, vol. 7, n. 1. 2011.

DOS ANJOS, LUIZ. Conseqüências biológicas da fragmentação no norte do Paraná. **Série técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 87-94, 1998.

ELITH, J., GRAHAM, C. H., ANDERSON, R. P., Dudik *et al.* Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography, v. 29, p. 129-151, 2006.

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY. **Pontos de ocorrência - Araucária angustifolia**. Disponível em: https://www.gbif.org/pt/. Acesso em: 22 jul. 2021.

HIJMANS, R. J.; PHILLIPS, S.; LEATHWICK, J. Elith J. dismo: Species distribution modeling. 2014. **R package version**, p. 1.1-4, 2015.

HUECK, KURT. As florestas da América do Sul: ecologia, composição e importância econômica. 1972.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção. Portaria 006/92-N de 15 de janeiro de 1992. Diário Oficial.

JENSEN, J.R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. Celeste. Araucária. **A Floresta do Brasil Meridional. Olhar Bra-sileiro, Curitiba**, 2002.

LORRILLIÈRE, ROMAIN; BOISTEAU, Benjamin; ROBERT, Alexandre. Modelling the spatial dynamics of a recovering species: the grey heron Ardea cinerea in France. **Ibis**, v. 152, n. 1, p. 118-126, 2010.

MATLOCK, R., e EDWARDS, P. The influence of habitat variables on bird communities in forest remnants in Costa Rica. Biodiversity and Conservation, v. 15, p. 2987-3016, 2006.

NORES, M. Insular biogeography of birds on mountain-tops in north western Argentina. Journal of Biogeography, v. 22, p. 21-70, 1995.

PHILIPS, S. J., e DUDIK, M. (2008) Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography, v. 31, p. 161-175, 2008.

PHILIPS, S., J., ANDERSON, R. P., e SHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, v. 190, p. 231-259, 2006.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. Araucariáceas (62 p.). **Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues**, 1966.

SPECIESLINK. **Araucária angustifolia -dados maxent**. Disponível em: http://www.splink.org.br/. Acesso em: 22 jul. 2021.

WORLDCLIM. **Variaveis ambientais**. Disponível em: https://www.worldclim.org/. Acesso em: 25 jul. 2021.

WREGE, M. S. *et al.* Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Embrapa Florestas--Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.

WREGE, M. S. *et al.* Plantios florestais com Pinus no Estado do Paraná e os novos cenários definidos pelas mudanças climáticas globais. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2016.

ZANETTE, F. *et al.* Particularidades e biologia reprodutiva de Araucaria angustifolia. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE)** 2017.

O GRAU DE ENTALHAMENTO DOS VALES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BAGAGEM, NO OESTE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Gilmar Ferreira Júnior
Universidade Federal de Uberlândia
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: gferreira.jr17@gmail.com
Juliana Abreu Crosara Petronzio
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: julianapetronzio@ufu.br
Marília Inês Mendes Barbosa
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: mariliabarbosa@ufu.br
Alan Silveira
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU) Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: alan.silveira@ufu.br

Resumo

A Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem, posicionada na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, apresenta questões ambientais relacionadas ao histórico de extração mineral e, mais recentemente, do intenso uso agropecuário. O trabalho propôs a elaboração dos documentos cartográficos hipsométrico e de dissecação vertical, organizados no *software ArcGIS*, com o intuito de colaborar com a análise do potencial à ocorrência de processos morfogenéticos. Com base nessas cartas, a Bacia foi compartimentada em três setores. Observou-se que a Média e a Baixa Bacia apresentam valores mais elevados de densidade de drenagem e entalhamento dos vales, indicando maior potencial morfogenético. A Alta Bacia caracteriza-se por cotas altimétricas mais elevadas em amplos interflúvios com topos, rampas extensas e espessos perfis de solos. Esse contexto associa-se as características morfoestruturais da área investigada.

Palavras-chave: Hipsometria; Dissecação Vertical; Morfogênese; Pedogênese.

1. Introdução

O conhecimento geomorfológico possibilita o estudo dos processos denudacionais e as alterações no equilíbrio dinâmico natural, causadas tanto por fatores naturais quanto por fatores antrópicos. Guerra e Cunha (2004) chamam a atenção para as relações estabelecidas entre a encosta e os vales fluviais, as quais apresentam características propensas para a migração de elementos dentro da bacia hidrográfica, estando diretamente ligada ao fator de uso e ocupação da terra.

Gomes *et al*. (2016) indicam que a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) é responsável pela gestão de recursos hídricos no Brasil, a qual reconhece a bacia hidrográfica como uma unidade de estudo e planejamento. Botelho e Silva (2007) denominam a bacia hidrográfica como uma célula básica de análise ambiental, onde é possível identificar e mensurar os numerosos componentes e processos de interação ocorrentes.

Nos trabalhos de mapeamentos geomorfológicos são frequentes as mensurações das formas de relevo a partir das variáveis morfométricas. Barbosa *et al.* (1984), em estudo sobre a evolução de mapeamentos integrados do meio físico e biótico do Projeto RADAM (Radar da Amazônia, após 1975 denominado RADAMBRASIL), explicam que a mensuração da dissecação das formas foi atribuída ao uso de dois dígitos (que variavam de 1 a 5), onde o primeiro se referia à extensão da forma e, o segundo, ao aprofundamento da drenagem. Ross (1992), também fazendo referência ao Projeto RADAMBRASIL, apresentou uma matriz dos índices de dissecação, onde as linhas (horizontais) representam a dimensão interfluvial média, enquanto as colunas (verticais) indicam o entalhamento médio dos vales.

Spiridonov (1981) propôs a elaboração de mapeamentos morfométricos específicos para a análise da dissecação das formas de relevo, com as cartas de Dissecação Horizontal e Dissecação Vertical. Hubp (1988) também apresenta uma cartografia morfométrica específica, a partir das cartas de Densidade de Dissecação e Profundidade de Dissecação. Além das variáveis morfométricas de dissecação vertical (grau de entalhamento dos vales) e dissecação horizontal (dimensão interfluvial/densidade de drenagem), também são frequentemente utilizadas as cartas de declividade e hipsometria nos estudos de caracterização geomorfológica.

A hipsometria é a representação altimétrica do relevo de uma determinada área no mapa, pelo uso de cores convencionais (GUERRA e GUERRA, 2010). Para o IBGE (2009), a representação da hipsometria é um importante instrumento para a identificação de superfícies balizadas em níveis altimétricos previamente conhecidos.

De acordo com Ferreira *et al*. (2015), ao tratarem de técnica automática para a elaboração da carta de Dissecação Vertical de Spiridonov (1981), ressaltam que no Brasil essa metodologia passou por uma adaptação sugerida por Mauro *et al.* (1991). Cunha (2001) explica que a Dissecação Vertical calcula a variação altimétrica entre a linha de cumeada e o talvegue, para cada setor de sub-bacia, permitindo avaliar a competência denudacional provocada pela rede hidrográfica na área estudada.

Em vista disso, o presente trabalho teve o objetivo de analisar o grau de entalhamento dos vales na bacia hidrográfica do Rio Bagagem, no oeste do estado de Minas Gerais, a partir da aplicação de técnicas de cartografia morfométrica e geoprocessamento vinculadas à Hipsometria e Dissecação Vertical. Ambas as cartas foram geradas com base nas folhas topográficas por vetorização e modelamento digital. Além disso, para fins de complementação, foram compilados trabalhos cartográficos geológicos e pedológicos que estão sendo realizados nessa região. Com isso, procurou-se apontar, de acordo com grau de entalhamento dos vales, as áreas de maior potencial ao desenvolvimento dos processos morfogenéticos, de modo a contribuir com informações ao planejamento ambiental.

Delimitada pelas coordenadas 18°33'45"S/47°56'15"W e 18°56'15"S/47°26'15"W, a bacia hidrográfica do Rio Bagagem está situada na mesorregião que do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, englobando, da nascente até a foz, oito municípios, dentre os destacados Patrocínio, Iraí de Minas, Nova Ponte, Romaria, Monte Carmelo, Estrela do Sul, Grupiara e Cascalho Rico (Figura 1).

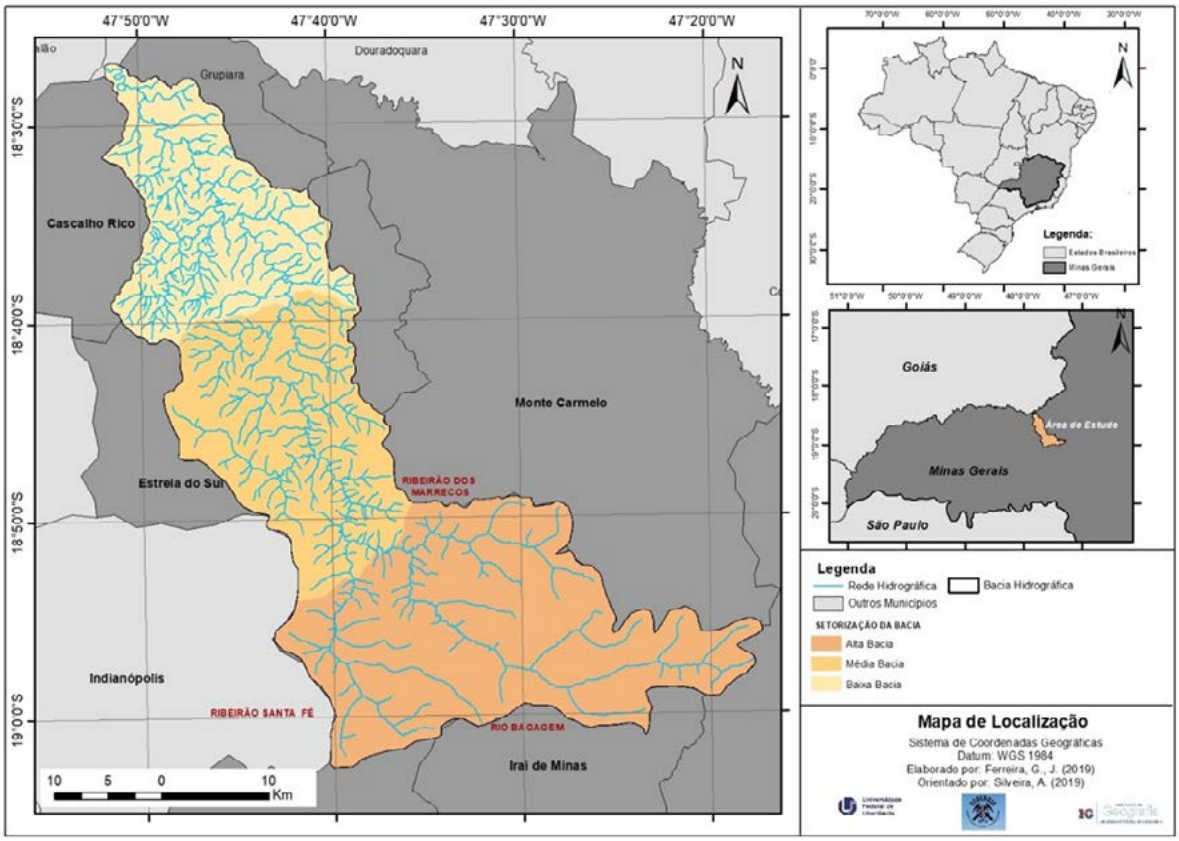


FIGURA 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem, no oeste do estado de Minas Gerais.

Segundo Reis *et al.* (2017), o Rio Bagagem percorre cerca de 111 Km e drena área aproximadamente de 1.344 Km2. No canal principal do Rio Bagagem desaguam vários córregos, desde sua nascente no município de Patrocínio até a foz no reservatório da Usina Hidrelétrica de Emborcação, em Grupiara.

A região onde se insere a bacia hidrográfica do Rio Bagagem é marcada por histórico de uso e ocupação de terras voltadas para o extrativismo, com destaque para exploração de diamantes, e mais recentemente para agronegócio, como mencionado por Cortes (2015). Reis *et.al.* (2017) chamam a atenção para a mudança da paisagem nessa região, em função da ampliação de áreas destinadas à agricultura substituindo a vegetação original. Dessa forma, Reis *et.al.* (2017) afirmam que essa lógica agroprodutiva da mesorregião do Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba é fruto de um planejamento político nacional para modernização e industrialização.

Silva e Assunção (2009) destacam que o Rio Bagagem tem grande importância para a região, por constituir manancial utilizado na irrigação e consumo da população. Indicam que, à montante da cidade de Iraí de Minas, nas proximidades dos municípios de Patrocínio e Monte Carmelo, a maior parte das captações tem a finalidade de atender demandas para a irrigação de culturas de café durante o período de estiagem, principalmente nos meses de junho a agosto (SILVA; ASSUNÇÃO, 2009).

Segundo o Plano de Ação dos Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba (CBH-AMAP, 2013), a demanda de água para atendimento dos diversos usos presentes na PN1, na qual se insere a bacia hidrográfica do Rio Bagagem, é de 53,4 m^3/s e a segunda maior do Rio Paranaíba. A captação de água atende majoritariamente as atividades agrícolas (irrigação), alcançando 93,3% do total. O abastecimento humano demanda 2,5%, seguido pela dessedentação animal com 2,3% e pela atividade industrial com 1,3%, além das demandas de mineração de 0,3 m^3/s, representando 0,6% do total (CBH-AMAP,2013).

Considerando a relevância da bacia hidrográfica do Rio Bagagem para a região onde se localiza, o trabalho apresenta dados adquiridos a partir da elaboração das cartas Hipsométrica e de Dissecação Vertical, que podem colaborar para o planejamento ambiental. Para a análise dos dados obtidos, em função dos documentos cartográficos, foram relevantes as informações geológicas, pedológicas e climáticas, as quais são apresentadas na continuidade deste texto.

2. Caracterização Físico-Natural da Área de Estudo

A região da bacia hidrográfica do Rio Bagagem apresenta grande complexidade geológica e geomorfológica, retratada Baccaro *et al.* (2001) como duas grandes unidades morfoestruturais (ou geotectônicas) e associadas unidades morfoesculturais: Bacia Sedimentar do Paraná (morfoestrutura) e Planalto Tabular (morfoescultura), compreendendo áreas elevadas de cimeira entre 950 e 1.050 m, com topos planos e modelado do tipo denudacional tabular e; a Faixa de Dobramentos Brasília (morfoestrutura) e Planalto Dissecado (morfoescultura), caracterizados por formas convexas, aguçadas e planícies fluviais, com altimetrias variando de 700 a 900 m.

A geologia das unidades morfoestruturais da bacia hidrográfica do Rio Bagagem (Figura 2) é composta por terrenos neoproterozoicos da Faixa Móvel Brasília reunindo a Suíte Granítica Estrela do Sul, o Complexo Monte Carmelo, o Grupo Araxá e o Ortognaisse Goiandira; rochas mesozoicas da Bacia Sedimentar do Paraná, englobando o Grupo Bauru (Formação Marília) e o Grupo São Bento (Formações Botucatu e Serra Geral); e depósitos detríticos indiferenciados e coberturas detríticas-lateríticas coluvionares, ambos cenozoicos (CODEMIG, 2017).

Com base em produtos aerogeofísicos, a interpretação geológica-estrutural de Cortes (2015) do substrato da bacia hidrográfica do Rio Bagagem indica controle estrutural na conformação e evolução dos terrenos, especialmente na coincidência dos lineamentos de direção geral NW-SE e NE-SW com a rede de drenagem instalada, considerada como fator primordial na evolução do relevo.

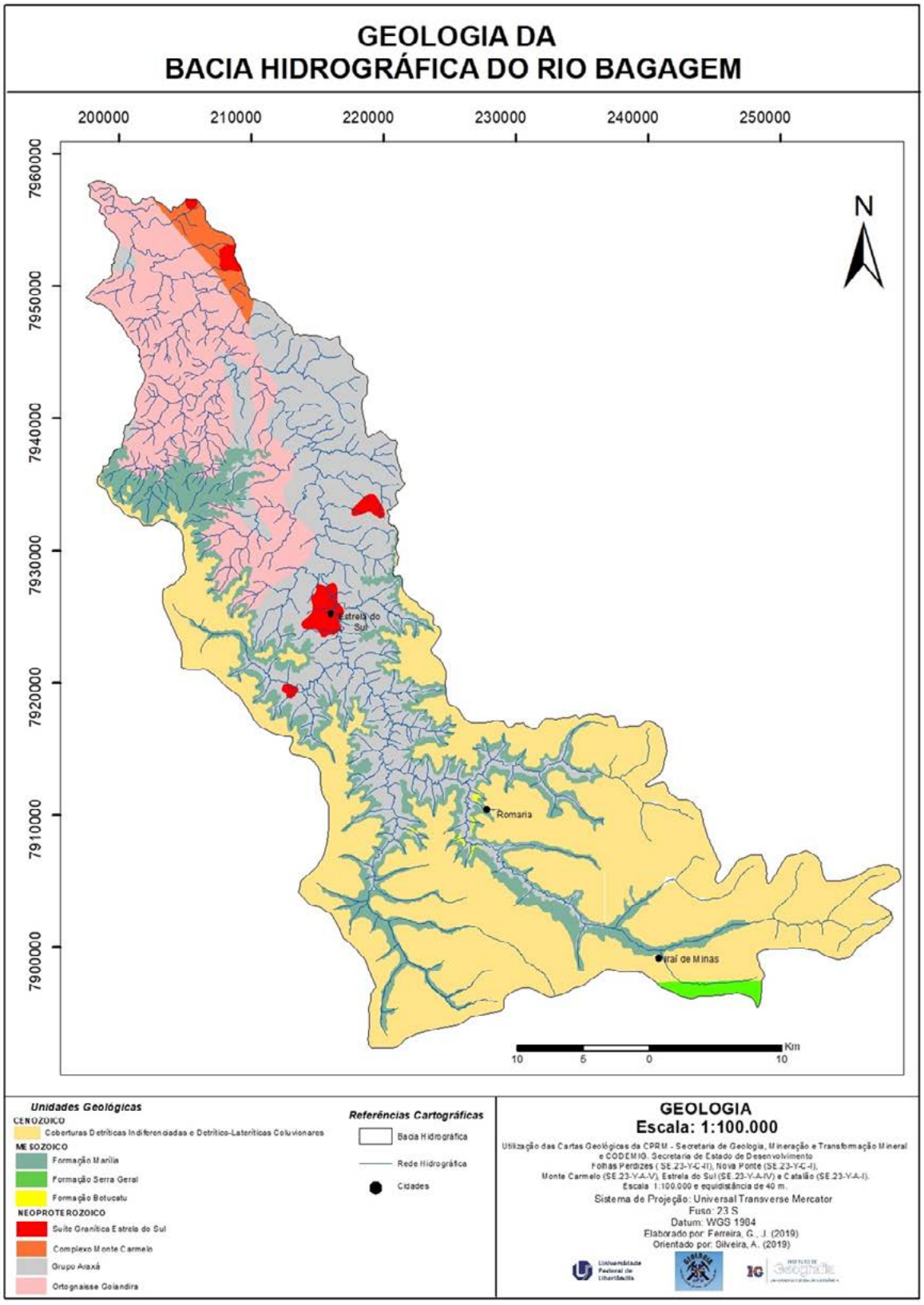


FIGURA 2: Mapa Geológico do Rio Bagagem. Fonte: Modificado de CODEMIG (2017).

Nos terrenos neoproterozoicos da bacia hidrográfica do Rio Bagagem, o Ortognaisse Goiandira (KLEIN, 2008) compreende biotita gnaisses com granulação média à grossa, inequigranulares e porfirobásticos, que ocorrem principalmente na Baixa Bacia e, em menor proporção, na Média Bacia. As rochas do Grupo Araxá (SEER, 1999) afloram na Média e Baixa Bacia, e são representadas por muscovita xistos, por vezes com granada, sendo comum intercalações de anfibolitos e talco xistos.

O Complexo Monte Carmelo (SEER *et al*., 2007), restrito ao setor leste da Baixa Bacia, é constituído por granitos e gnaisses graníticos, muitas vezes miloníticos, com coloração cinza esbranquiçada, granulação fina à média, equigranulares a porfiríticos. A Suíte Granítica Estrela do Sul (SEER e MORAES, 2013) diz respeito aos corpos intrusivos no Grupo Araxá, e são constituídos por granitos a duas micas cinza claros, equigranulares, com fácies pegmatítica rica, aflorando localmente na Média e Baixa Bacia.

Rochas do Grupo São Bento (BARBOSA *et al.*, 1970) e do Grupo Bauru (BARCELOS, 1984), ambos do Mesozoico, afloram nos terrenos da Bacia Sedimentar do Paraná. Na área em questão ocorrem rochas do Cretáceo das Formações Botucatu e Serra Geral que compõem o Grupo São Bento, e o Grupo Bauru está restrito à Formação Marília. A Formação Botucatu (NORTHFLEET, 1996) é composta por arenitos de coloração avermelhada, granulometria fina e grãos minerais arredondados, podendo exibir estratificação cruzada de porte considerável e notável silicificação. A Formação Serra Geral (RENNE *et al.*, 1966) compreende basaltos afaníticos, constituídos por piroxênios e plagioclásios, e ocorrem preferencialmente em cotas elevadas na Alta Bacia, mas encontrados também em vales da Média Bacia. A Formação Marília (FERNANDES e COIMBRA, 1996) é composta por arenitos imaturos de granulometria fina a média, estratificados, tendo, na base, lentes de conglomerado clasto-suportados (seixos de quartzo, xistos e granitos).

Com idades mais recentes (Cenozoico), os Depósitos Detríticos Indiferenciados e Coberturas Detrito-Lateríticas Coluvionares (CPRM, 2014; CODEMIG, 2017) ocorrem principalmente na Alta Bacia e na transição com a Média Bacia. Associadas a esses depósitos, carapaças ferruginosas e cascalheiras podem representar erosão de antigas coberturas.

Sobre a unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná há o desenvolvimento predominante de Latossolos Vermelhos, Amarelos e Vermelho-Amarelos (MOTTA *et al.*, 2004). Também foram identificados Plintossolos Pétricos em terços inferiores de vertentes e nos fundos de vales, bem como Gleissolos em áreas de contextos hidromórficos da Alta Bacia. Já na unidade morfoestrutural da Faixa Brasília predominam os Argissolos Vermelho-Amarelo, Cambissolos Háplicos e Neossolos Regolíticos ou Litólicos (MOTTA *et al.*, 2004).

Quanto às características climáticas, Novais (2011) afirma que na mesorregião do Triângulo Mineiro predomina o clima tropical, com temperatura média de 22 a 240C, atingindo a casa dos 260C em novembro, e mínimas de 200C entre maio e junho. Além disso, este autor menciona que a máxima precipitação chega a 350 mm em janeiro, declinando acentuadamente nos meses de junho a agosto, atingindo valores mínimos de 5 mm em julho, crescendo em setembro, alcançando 300 mm. Neste sentido, o tipo climático na área de estudo é caracterizado por duas estações marcantes, com precipitação concentrada no verão e estiagem no inverno.

3. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em três etapas: organização da base cartográfica (1), mapeamentos morfométricos (2) e trabalhos de campo (3).

O ponto de partida (etapa 1) foi a utilização da técnica de Georreferenciamento no Sistema de Coordenadas Planas, *Datum* WGS-84, Sistema de Projeção UTM e Fuso 23. Em seguida, foi empregado a ferramenta de vetorização nas cartas topográficas, em escala de 1:100.000 e equidistância das curvas de nível de 40 m, disponibilizadas pelo Diretoria de Serviços Geográficos do Ministério do Exército, englobando as Folhas Catalão (SE.23-Y-A-I), Estrela do Sul (SE.23-Y-A-IV), Monte Carmelo (SE.23-Y-A-V), Nova Ponte (SE.23-Y-C-I) e Perdizes (SE.23-Y-C-II).

A partir das cartas topográficas obtiveram-se os *shapes* file das curvas de nível, rede de drenagens, limite de sub-bacias e pontos cotados, constituindo, assim, a base cartográfica do trabalho, no qual se processou as imagens da Hipsometria e Dissecação Vertical. Todo o procedimento cartográfico foi desenvolvido no *software ArcGis 10.5*. Dessa forma, iniciaram-se os procedimentos referentes à etapa 2, com a organização dos documentos cartográficos citados.

Para a elaboração da carta Hipsométrica foi utilizado o comando *3D Analyst Tools* para a produção do modelo *TIN*, com a sequência dos comandos: *3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Create TIN*. Na sequência, foi realizado o *input* das curvas de nível e inseridos os intervalos no modelo *TIN*, sendo utilizados os valores: < 560 m, 560 ⊦ 600 m, 600 ⊦ 700 m, 900 ⊦ 1000 e > 1000 m.

A organização da carta de Dissecação Vertical esteve fundamentada na proposta de Spiridonov (1981), com procedimento de elaboração digital por meio da técnica automática indicada por Ferreira *et al.* (2015). Em primeiro lugar foi criado um modelo *TIN* análogo ao gerado para a Hipsometria, por meio do comando *Create TIN*. Esse modelo precisa contemplar todos os valores altimétricos da área, no qual foram determinadas 12 classes, de 560 m a valores superiores a 1000 m, variando de 40 em 40 m, sendo, assim, responsável por promover um mosaico triangular da imagem, fazendo as feições ali presentes mais próximas da realidade e, consequentemente, com menor erro. Em seguida, foi transformado em *Raster* por meio do comando *3D Analyst Tools > Conversion > TIN to Raster*, com o intuito de transformar esse modelo *TIN* em uma do tipo *raster* para processamento posterior.

Com isso, foi empregada a ferramenta digital de Ferreira *et al.* (2015), utilizando os seguintes comandos: *Catalog > Pasta de Trabalho*, no qual a ferramenta se encontra > *Dissecação Vertical.tbx > Auxiliar > Dissecação Vertical*. Para realizar o desenvolvimento da imagem, foi necessário utilizar o valor de 20, para o parâmetro de segmentação da drenagem, 60 no parâmetro de agrupamento da drenagem e as classes de dissecação estabelecidas com 100, 200, 400, 800, 1600 metros.

Foi necessário realizar uma edição do *Raster* gerado, para definir os intervalos desejados em função das cores para cada classe de dissecação. Assim, os valores altimétricos foram estabelecidos como < 40 m; 40 ⊦ 80 m; 80 ⊦ 120 m; 120 ⊦ 160 m; 160 ⊦ 200 e > 200 m, correspondendo, respectivamente, às cores verde, amarelo, laranja, vermelho, marrom e preto.

Os resultados gerados foram corrigidos conforme o procedimento digital proposto por Ferreira *et al.* (2015). Também se empregou o procedimento manual, que consistiu em criar um *shape* para setores de encontro entre curva de nível e canal fluvial, assim como um segundo *shape*, no qual estão contidos os polígonos de cores referentes a cada classe de dissecação.

As características geológicas e pedológicas da área foram obtidas por meio da técnica de compilação de dados, sendo os aspectos geológicos extraídos dos mapas geológicos da CPRM (2014) e CODEMIG (2017) e os solos, por meio dos mapeamentos da EMBRAPA (1982), em escala 1:500.000, e de Motta *et al.* (2004), na escala de 1:250.000.

Além dessas referências, também foram utilizados os trabalhos de Pereira *et al.* (2014) e Baccaro *et al.* (2015) como complementação das informações geomorfológicas regionais, buscando relacionar esses dados com as informações obtidas nos mapeamentos morfométricos da bacia.

Após a etapa de elaboração dos documentos cartográficos, foram realizadas visitas em campo (etapa 3), com o objetivo de verificar as informações obtidas nos mapeamentos Hipsométrico e de Dissecação Vertical, além de complementar e comprovar os registros. Depois de concluídas as visitas em campo e os trabalhos de edição final dos mapeamentos no *software ArcGIS*, foi possível relacionar as informações obtidas por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) com aquelas observadas *in loco*, as quais serão discutidas a seguir.

4. Resultados e Discussão

A bacia hidrográfica do Rio Bagagem foi dividida nos compartimentos Alta Bacia, Média Bacia e Baixa Bacia, com base nas características morfométricas observadas nas cartas Hipsométrica (Figura 3) e Dissecação Vertical (Figura 4).

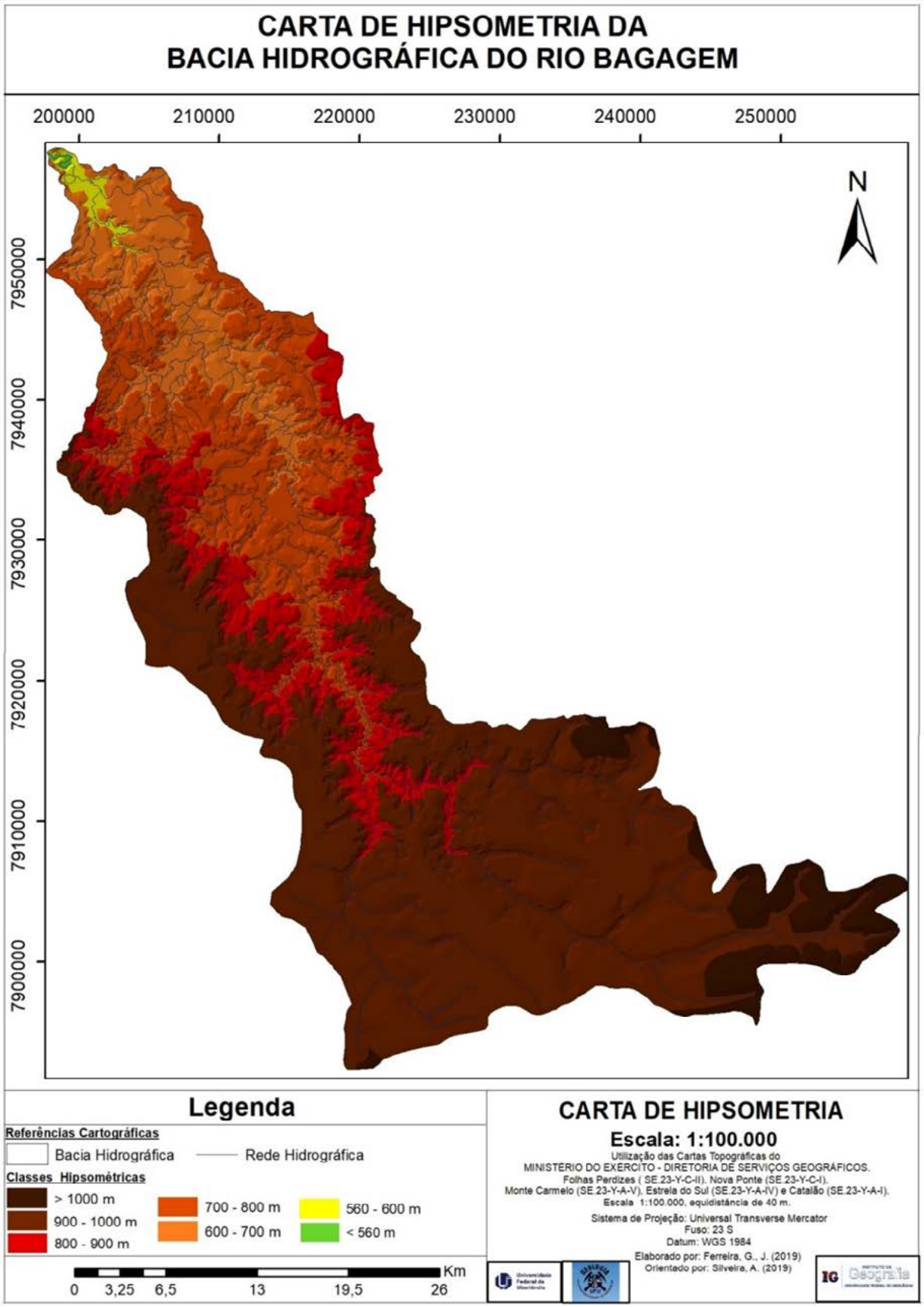


FIGURA 3: Carta Hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem, no oeste do Estado de Minas Gerais. Organização: autores.

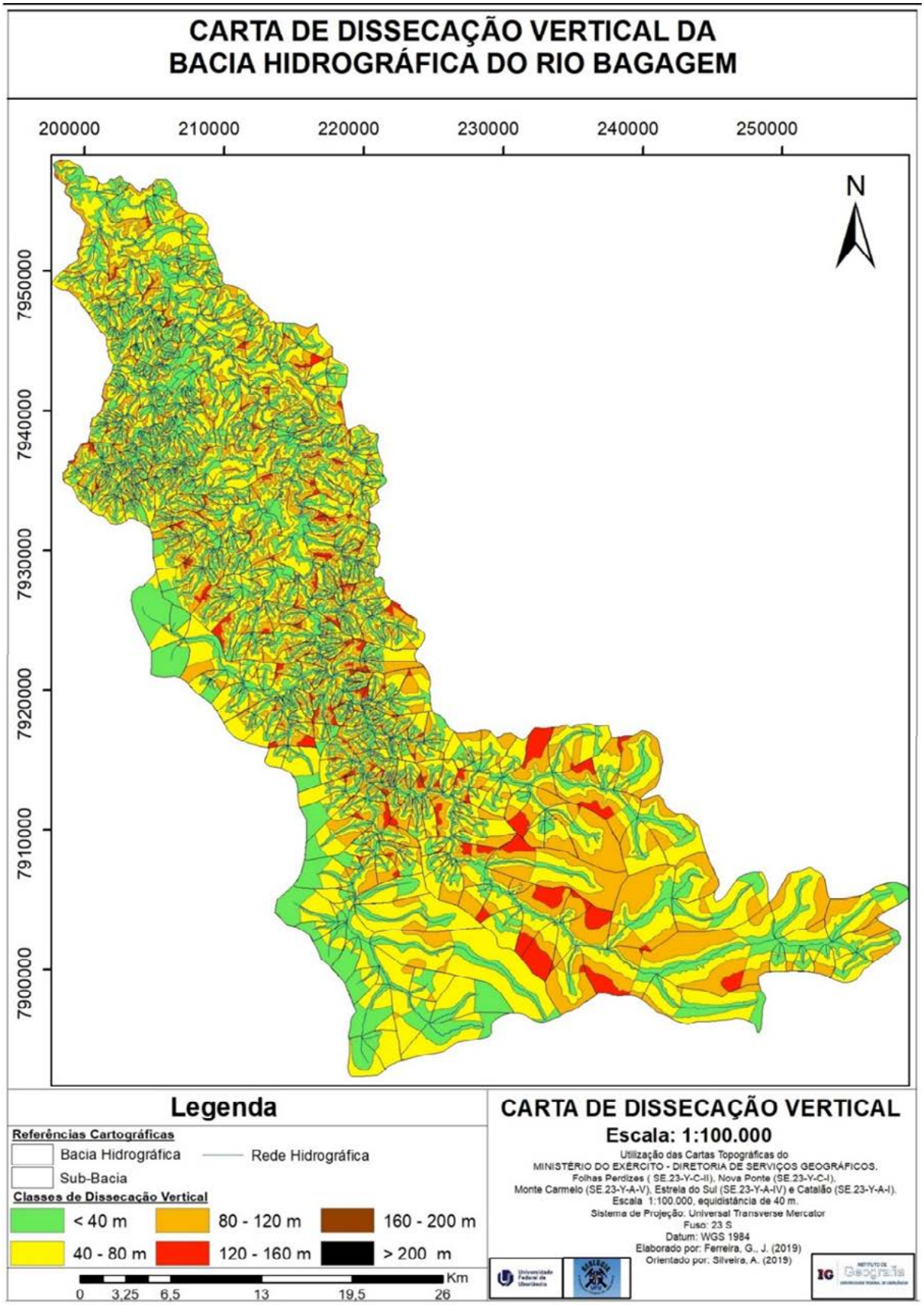


FIGURA 4: Carta de Dissecação Vertical da Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem, no oeste do Estado de Minas Gerais. Organização: autores.

Para o setor da Alta Bacia, a carta Hipsométrica (Figura 3) demonstra o predomínio de cotas entre 900 a 1000 m, com formas de relevo tabulares. É ainda possível observar cotas a 800 m, dispostas na rede de drenagem que transiciona para o setor da Média Bacia, demonstrando, conforme aumento da densidade de drenagem, o maior entalhamento dos vales. Já para as cabeceiras de drenagem do Rio Bagagem, posicionadas no compartimento leste da Alta Bacia, foram registradas cotas acima de 1000m, conforme ilustra a Figura 5A1.

Nessas áreas de cabeceira de drenagens posicionadas a leste, a carta de Dissecação Vertical (Figura 4) indica o predomínio das classes < 40, 40 ⊦ 80, e 80 ⊦ 120 m, como pode ser observado na Figura 5A2. Destacam-se também as drenagens posicionadas nos compartimentos oeste e sudoeste (Ribeirão Santa Fé), quando a variação altimétrica é menos efetiva, registrando as classes < 40 e 40 ⊦ 80m. Conforme se dirige à jusante dessa área, em direção ao setor da Média Bacia, o canal principal do Rio Bagagem e seus tributários passam a entalhar e a classe de 120 ⊦ 160 m é notada. Essa mesma característica é evidenciada em drenagens do Ribeirão Marrecos (Figura 1), posicionadas no compartimento nordeste da Alta Bacia.

Observa-se a partir dos dados, o domínio de classes reduzidas de dissecação vertical com alguns compartimentos marcados por classes intermediárias, conforme aumento da densidade de drenagem em direção a Média Bacia. Embora se registre algumas áreas com maior entalhe, o setor da Alta Bacia se destaca pela presença de interflúvios amplos e vertentes suavizadas que apresentam comprimentos extensos (rampas extensas), como ilustra a figura 5A3.

Quanto aos aspectos geológicos, a Alta Bacia posiciona-se dominantemente nos terrenos da Bacia Sedimentar do Paraná, caracterizada pela presença de rochas da Formação Marília, Formação Serra Geral e Coberturas Detríticas Indiferenciadas e Detrítico-Lateríticas Coluvionares. Nessas áreas são registradas a presença de solos bem desenvolvidos e espessos, com domínio dos Latossolos, os quais são principalmente utilizados pela agricultura irrigada, como pode ser observado na Figura 5A4. Além disso, nas áreas mais dissecadas pelas drenagens na transição para a Média Bacia, são observadas litologias metamórficas do Grupo Araxá, pertencentes à Faixa de Dobramentos Brasília, locais onde a cobertura pedológica fica menos espessa e menos desenvolvida.

O comportamento do canal fluvial na Alta Bacia apresenta, em alguns trechos, padrão de drenagem de canais retilíneos, instalados ao longo de falhas geológicas. Nessa perspectiva, a rede hidrográfica está se valendo dessas estruturas geológicas, estabelecendo, assim, o curso principal das drenagens.

Assim, a Alta Bacia é caracterizada pela presença de extensos interflúvios, com formas de topos aplainados em cotas elevadas que se dirigem aos canais fluviais a partir de vertentes extensas e suavizadas. Os perfis de alteração são espessos com a presença de Latossolos (bem drenados), com pontuais afloramentos rochosos. É marcada por um potencial pedogenético mais pronunciado, quando comparado ao morfogenético, tendo em vista que as características morfométricas do relevo, evidenciadas pela hipsometria e dissecação vertical, potencializam a infiltração das águas do escoamento superficial.

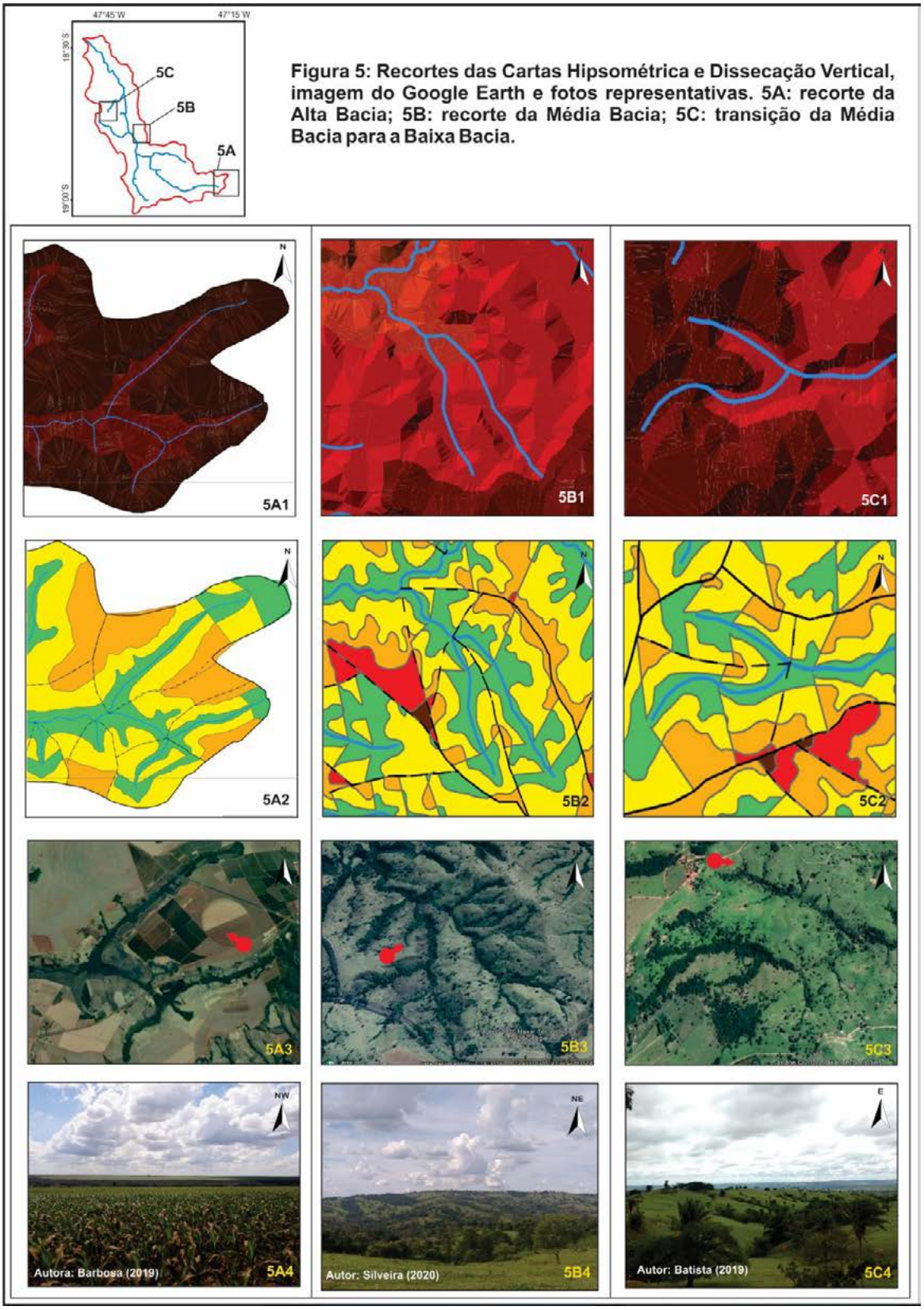


FIGURA 5: Comparação dos dados obtidos por meio da Hipsometria (5A1, 5B1 e 5C1), Dissecação Vertical (5A2, 5B2 e 5C2), Imagens do *Google Earth* (5A3, 5B3 e 5C3) e Fotografia Digital (5A4, 5B4 e 5C4) para três áreas distintas da bacia hidrográfica do Rio Bagagem (5A, 5B e 5C). Organização: autores.

Essas características são aproveitadas pela agricultura de café e grãos, as quais fazem uso dos Latossolos posicionados em relevos tabulares para amplas áreas de cultivos mecanizados. Além disso, fazem uso dos recursos hídricos para a irrigação, considerando que as condições climáticas da tropicalidade (verão chuvoso) e do comportamento físico-hídrico (potencial para a infiltração) garantem o reabastecimento permanente das águas de sub-superfície.

Para a Média Bacia, a carta Hipsométrica (Figura 3) demonstra o predomínio de cotas entre 700 a 900 m, com formas de topos convexos, principalmente no compartimento central desse setor. As bordas leste e oeste da Média Bacia apresentam cotas entre 900 a 1000 m, com formas tabulares que se dirigem ao setor da Alta Bacia. A transição entre esses setores é marcada por vertentes escarpadas, onde se posicionam canais de primeira ordem que se dirigem a Baixa Bacia, registrando-se grande entalhe e elevada densidade de drenagem, conforme observado na Figura 5B1.

Na Média Bacia, a carta de Dissecação Vertical (Figura 4) indica o predomínio das classes < 40, 40 ⊦ 80, e 80 ⊦ 120 m, mas também classes de 120 ⊦ 160, e 160 ⊦ 200 m, que aparecem de forma menos expressiva. A Figura 5B2 registra classe de dissecação vertical que chega a 160 ⊦ 200 m, destacando um tributário do Rio Bagagem, o ribeirão Bagaginha (Figura 5B3), que disseca as bordas dos relevos tabulares se dirigindo aos planaltos dissecados da Faixa de Dobramentos Brasília (Figura 5B4).

Na Média Bacia ocorrem rochas metamórficas do Grupo Araxá e Ortognaisse Goiandira em contato com rochas ígneas, como a Suíte Granítica Estrela do Sul. O comportamento do canal fluvial apresenta, em alguns trechos, padrão retilíneo, localmente com corredeiras, ou com feições em "cotovelo", as quais estão instaladas ao longo de falhas geológicas ou fraturas. Devido ao maior contato entre a água e o substrato pelo adensamento de drenagem que se aproveita das características diferenciadas dos litotipos e do controle estrutural, esse setor é marcado por elevadas classes de dissecação vertical.

Com isso, os perfis de alteração das rochas são menos presentes, desenvolvendo solos pouco espessos com a presença de Cambissolos e Neossolos Litólicos, dirigidos dominantemente ao uso agropecuário (Figura 5B4). Dessa forma, a Média Bacia é marcada por um potencial morfogenético mais pronunciado, quando comparado ao pedogenético, tendo em vista que as características morfométricas do relevo, evidenciadas pela hipsometria e dissecação vertical, potencializam o escoamento das águas superficiais.

Para a Baixa Bacia, a carta Hipsométrica (Figura 3) demonstra o predomínio de cotas entre 600 a 800 m, com formas de relevo de topos convexos em sua maior totalidade. Alguns compartimentos, como o setor sudoeste (Figura 5C1) e borda sudeste, apresentam valores de 800 a 1000 m e de 800 a 900 m, respectivamente.

A carta de Dissecação Vertical (Figura 4) indica o predomínio das classes < 40, 40 ⊦ 80 e 80 ⊦ 120 m, associados por vezes às classes de 120 ⊦ 160 e 160 ⊦ 200 m. Observa-se que o grau de entalhamento se reduz em direção à foz do Rio Bagagem, ao passo que nas proximidades com o setor de Média Bacia as classes de dissecação são mais pronunciadas. Esse contexto pode ser observado na Figura 5C2, que ilustra drenagens que dissecam vertentes escarpadas (Figura 5C3), representando a transição dos planaltos tabulares da Bacia Sedimentar do Paraná para os planaltos dissecados da Faixa de Dobramentos Brasília (Figura 5C4).

Quanto aos litotipos, a Baixa Bacia é ocupada predominantemente por terrenos metamórficos do Ortognaisse Goiandira, embora ocorram, também, rochas do Grupo Araxá e, muito localmente, corpos intrusivos da Suíte Granítica Estrela do Sul. Afloramentos da Formação Marília da Bacia Sedimentar do Paraná podem ser encontrados no setor oeste da Baixa Bacia, e rochas do Complexo Monte Carmelo estão restritas ao compartimento leste.

Os perfis de alteração derivados desses litotipos não se apresentam muito espessos, constituindo solos de desenvolvimento incipiente como os Cambissolos, com áreas pontuais de Neossolos Litólicos, associados à Suíte Granítica Estrela do Sul. Algumas manchas de Argissolos são registradas em feições de relevo menos dissecadas com menor grau de entalhe, posicionados em topos e vertentes do extremo norte da Baixa Bacia, ou seja, mais próximo a foz do Rio Bagagem. Enquanto nas áreas e Cambissolos e Nessolos dominam o uso agropecuário (Figura 5C4), as manchas de Argissolos são por vezes são utilizadas para fins de plantio.

Assim, a Baixa Bacia é marcada por um potencial morfogenético mais pronunciado, se comparado ao pedogenético, tendo em vista as características do relevo evidenciadas pela hipsometria e dissecação vertical, associadas ao contexto geológico da Faixa de Dobramento Brasília.

5. Considerações Finais

Os dados hipsométricos e de dissecação vertical indicam que os setores de Média e Baixa Bacia do Rio Bagagem apresentam maior potencial ao desenvolvimento de processos morfogenéticos. Os registros de densidade de drenagem e grau de entalhamento dos vales demonstram ser mais pronunciados do que no setor da Alta Bacia.

Esse contexto associa-se as condições morfoestruturais da área, quando a bacia do Rio Bagagem apresenta seu alto curso na Bacia Sedimentar do Paraná, com formas de relevo tabulares e espessos perfis de alteração latossolizados. Destaca-se que a Alta Bacia, com amplos interflúvios em cotas de 900 a 1000 metros são caracterizados por ambiente de recarga de aquífero.

A transição entre essas unidades morfoestruturais é marcada por vertentes escapadas, que são dissecadas por canais de primeira ordem, dirigidos aos planaltos dissecados da Faixa de Dobramentos Brasília, no sentido da Média e Baixa Bacia. As bordas dessas escarpas evidenciam a erosão regressiva e o recuo das vertentes em direção à Bacia Sedimentar do Paraná.

Referências

BACCARO, C. A. V.; FERREIRA, I. L.; ROCHA, M. R.; RODRIGUES, S. C. Mapa geomorfológico do Triangulo Mineiro: uma abordagem morfoestrutural-escultural/Triângulo Mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 13, n. 25, p. 115-127. 2001.

BARBOSA, G. V.; SILVA, T. C.; NATALI Filho, T.; DEL'ARCO, D. M.; COSTA, R. C. R. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do RADAMBRASIL. **Boletim Técnico, Série Geomorfologia**, Rio de Janeiro. 1984, p. 3-26.

BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. Geologia da região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro: **Boletim DNPM/SFPM**, 136, p. 1-140. 1970.

BARCELOS, J. H. **Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do estado de São Paulo**. 1984. 191 f. Tese (Livre Docência em Petrologia Sedimentar) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1984.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In*: Vitte, A.C.; Guerra, A.J.T. (Orgs.): **Reflexões**

sobre a Geografia Física do Brasil. 2a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 153-192.

CBH-AMAP Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba. **Plano de Ação dos Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba**. Brasília: ANA, 2013. 189 p.

CORTES, J. P. S. Interpretação Aerogeofísica, Geológica e Estrutural na Bacia Hidrográfica do Rio Bagagem (MG). *In*: I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias, SASGEO, Uberaba: **Anais**. Uberaba, p. 1-8, 2015.

CODEMIG Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Cartas Geológicas: Folha Catalão (**SE.23-Y-A-I**), Estrela do Sul (**SE.23-Y-A-IV**), Nova Ponte (**SE.23-Y-C-I**.) e Perdizes (**SE.23-Y-C-II**). Departamento de Serviço Geográfico, Belo Horizonte, 2017. Escala 1:100.000.

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Carta Geológica: Folha Monte Carmelo (**SE.23-Y-A-V**). Gerência de Relações Institucionais e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 2014. Escala 1:100.000.

CUNHA, C. M. L. da **A Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2001.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Levantamento de reconhecimento de média intensidade de solos e avaliação da aptidão agrícola das terras no Triângulo Mineiro**. Boletim de Pesquisa** 1. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 526 p., 1982.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo*)*. São Paulo: **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 717-728. 2000.

FERREIRA, M. V.; TINOS, T. M.; PINTON, L. de G.; CUNHA, C. M. L. da. A cartografia da dissecação vertical para avaliação do relevo: proposta de técnica automática. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.67, p. 1231-1245, 2015.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 5a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 394.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** 8a ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010, p.650.

GOMES, W. M.; MIGUEL, A. E. S.; PINTO, A. L. Análise da Dissecação Horizontal e Vertical da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda, Três Lagoas/MS. **Fórum Ambiental da Alta Paulista,** Tupã, SP, v. 12, n. 3, p. 53-64, 2016.

HUPB, J. L. **Elementos de geomorfología aplicada**: métodos cartográficos. Ciudad del México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1988, 128 p.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia.** 2a ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 175 p.

INMET Instituto Nacional de Meteorologia. Estações Automáticas. Dados em Gráficos. *In:* Estações e Dados. **Estações Automáticas** Brasília: DF, [2019]. Disponível em: http://inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index. Acesso em: 26 out. 2019.

KLEIN, P. B. W. **Geoquímica de rocha total, geocronologia de U-Pb e geologia isotópica de Sm-Nd das rochas ortognáissicas e unidades litofaciológicas associadas da região de Ipameri – Catalão (Goiás)**. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, 155 p. 2008.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Mapeamento Geomorfológico: a carta de energia do relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga-TO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v 2, p. 269-284, maio 2012.

MAURO, C. A.; RUSSO, I. L.; BOVO, R.; TELES, A. P. S. S.; CARVALHO, M. B .S.; PICARELLI, A.; MELO, E. M. M. Contribuição ao Planejamento Ambiental de Cosmópolis-SP-BR. *In*: Encuentro de Geógrafos de América Latina, 3, 1991, Toluca. **Memórias.** Toluca: UAEM, 1991, v.4, p. 391-419.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO Diretoria de Serviços Geográficos Cartas Topográficas: Folha de Catalão (**SE-23.Y.A.I**), Estrela

do Sul (**SE-23.Y.A.IV**), Monte Carmelo (**SE-23.Y.A.V**), Nova Ponte (**SE-23.Y.C.I**) e Perdizes (**SE-23.Y.C.II**). Departamento de Serviço Geográfico, Belo Horizonte, 1973. Escala 1:100.000.

MOTTA, P. E.; BARUQUI, A. M.; SANTOS, H. G. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 238 p.

NOVAIS, G. T. **Caracterização climática da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do entorno da Serra da Canastra (MG).** 2011. Tese (Mestrado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/16101. Acesso em: 26 out. 2019, 175.

NORTHFLEET, A. A.; MEDEIROS, R. A.; MÜHLMANN, H. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. **Boletim Técnico da Petrobras**, v.12, n.3, p.291-346, 1969.

PEREIRA, K. G. O.; SILVA, S. M. As Implicações Geomorfológicas da Tectônica no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v. 10, no 6, p. 55-60, jan. 2014.

REIS, L. N. G.; MARTINS, M. T.; ROSA, D. A. Mapeamento Multitemporal da Bacia do Rio Bagagem-MG. *In*: XIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, **Tupã**. **Anais**: Tupã, v. 13. p. 115-130, 2017.

RENNE, P.; ERNESTO, M.; PACCA, I. G.; COE, R. S.; GLEN, J. M.; Prévot, M.; PERRIN, M. The age of Paraná Flood Volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. **Science**, 258: 975-979. 1992.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p.17-30. 1992.

SEER, H. J. **Evolução tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Araxá, Minas Gerais**. 1999, 267 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – UNB, Brasília. 1999.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. Within plate, arc, and collisional Neoproterozoic granitic magmatism in the Araxá Group, Southern Brasília belt, Minas Gerais, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, 43, p. 333-354. 2013.

SEER, H.J.; MORAES, L. C.; CARNEIRO, A. C. B. Geologia e deformação do Grupo Araxá na região de Estrela do Sul-Monte Carmelo-Abadia dos Dourados, Minas Gerais. *In:* Simpósio de Geologia do Sudeste, 14, Diamantina: **Livro de Resumos**, p. 44-44. 2007.

SILVA, E. M.; ASSUNÇÃO, W. L. O uso da água na bacia do rio Bagagem (MG). *In*: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: a geografia física e as dinâmicas de apropriação da natureza, Viçosa: **Anais.** Viçosa, p. 1-17, 2009.

SPIRIDONOV, A. I. **Princípios de la metodologia de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. 1981. 657 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Havana: Universidad de la Havana, Faculdad de Geografia. 1981.

PARÂMETROS TOPOGRÁFICOS DERIVADOS DE MODELO DIGITAL DO TERRENO E SUA RELAÇÃO COM ESCORREGAMENTOS: CHAPADA DO ARARIPE (CE)

Carlos de Oliveira Bispo
Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901
E-mail: carlos.bispo@ufpe.br
Bárbara Gabrielly Silva Barbosa
Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901
E-mail: barbara.gbarbosa@ufpe.br
Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901
E-mail: fabrizio.listo@ufpe.br

Resumo

Processos de evolução da paisagem variam de acordo com as características ambientais de cada região, destacando-se o papel dos fatores condicionantes topográficos na deflagração de escorregamentos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de parâmetros topográficos na ocorrência de escorregamentos translacionais na Chapada do Araripe (CE). A partir de um Modelo Digital do Terreno foram gerados os mapas de ângulo da encosta, aspecto, curvatura e área de contribuição, dos quais, calculou-se o índice Frequência de Distribuição. Por meio da sobreposição a um inventário de escorregamentos foi calculado o índice Concentração de Cicatrizes visando avaliar as classes mais suscetíveis aos processos. Os resultados demonstraram que houve uma maior incidência de escorregamentos em encostas declivosas e com formas predominantemente côncavas, orientadas para o quadrante norte e com baixos valores de fluxo hídrico acumulado.

Palavras-chave: Modelo Digital do Terreno, Parâmetros Topográficos, Escorregamentos, Suscetibilidade, Chapada do Araripe.

1. Introdução

Escorregamentos são processos de dinâmica natural, contudo, amplificados pela ocupação inadequada de áreas suscetíveis a movimentos de massa. Em linhas gerais, caracterizam-se como movimentos rápidos, de curta duração, com velocidades variáveis e planos de ruptura bem definidos entre o material deslizado e o não movimentado, podendo assumir geometria rotacional, translacional ou em cunha (ZÁRUBA e MENCL, 1969; GUIDICINI; NIEBLE, 1984; SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 1996).

Estes processos provocam, recorrentemente, muitos problemas, cuja dinâmica pode ocasionar desastres naturais incorrendo em impactos danosos nas esferas sociais, ambientais e econômicas (SIDLE; PEARCE; O'LOUGHLIN; 1985; YALA, 2002). O conhecimento prévio da suscetibilidade dos terrenos é de grande relevância aos gestores públicos, contribuindo para o planejamento do uso e ocupação da terra, controle da expansão urbana, avaliação de cenários potenciais de riscos, entre outros (GAO, 1993; FERNANDES et al., 2004; VAN WESTEN et al., 2008).

O mapeamento de áreas com predisposição à ocorrência de escorregamentos tem sido recomendado por órgãos governamentais e acadêmicos, em consonância com a Lei Federal n. 12.608 (BRASIL, 2012), a qual instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). A mesma autorizou a criação de sistemas de informações, de alertas e de monitoramento de processos, tendo como principal foco contribuir para a prevenção e a redução de desastres, incentivando o planejamento territorial.

Muitos fatores influenciam a ocorrência de escorregamentos e dificilmente um processo pode ser atribuído a uma única causa definitiva, embora seja possível identificar um efeito dominante ou desencadeador (SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 1996; BIERMAN e MONTGOMERY, 2014). Conforme Guidicini e Nieble (1984), há uma diversidade de parâmetros naturais que condicionam a deflagração de escorregamentos, tal como, o tipo de solo, a geologia, a forma do terreno, a declividade, a pluviometria, entre outros. Analisar esses parâmetros e suas respectivas influências nos processos deflagradores é uma tarefa essencial para melhor entender a dinâmica geomorfológica de uma região. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência de parâmetros topográficos na ocorrência de escorregamentos translacionais na Chapada do Araripe, na região do semiárido no Ceará.

2. Área de estudo

A Chapada do Araripe (área de 9000 km^2) localiza-se no interior do Nordeste brasileiro e estende-se por 190 km de leste para oeste entre os Estados do Ceará, de Pernambuco e do Piauí (PEULVAST e BÉTARD, 2015).Apesar de se localizar no semiárido nordestino brasileiro, cujos índices pluviométricos são mais escassos em comparação com os ambientes úmidos, a Chapada do Araripe constitui-se num planalto sedimentar com média de 900 m de altitude, configurando-se como uma área de exceção climática (MORALES e ASSINE, 2015).

O recorte escalar desta pesquisa (Figura 1), compreende a face oriental da Chapada do Araripe na região do Cariri Cearense. A área em estudo (287 km^2) posiciona-se a partir de encostas orientadas para NE, sob a forma de anfiteatros (hollows), com curvaturas convergentes-côncavas, voltadas ao município do Crato - CE. A escolha desta área decorre da presença de características ambientais que favorecerem a ocorrência de escorregamentos (Figura 2), tais como: (i) índices médios anuais maiores de umidade e de precipitações pluviais (em relação ao restante da Chapada); (ii) relevos altimetricamente elevados e declivosos; e (iii) pelo fato de constituir-se como ambiente de exceção (enclave subúmido).

Dados climáticos indicam que a precipitação da área de estudo supera os 1000 mm anuais (FUNCEME, 2006) o que possibilita a formação de espessos mantos de intemperismo e solos profundos nas encostas, além de depósitos coluvionares incoesos e com redução de estabilidade. Dessa forma, tal região resulta de uma dinâmica isolada, com destaque à sua influência hipsométrica e pluviométrica, sobretudo pela ação das ZCIT - Zona de Convergência Intertropical, permitindo condições para a ocorrência de escorregamentos.

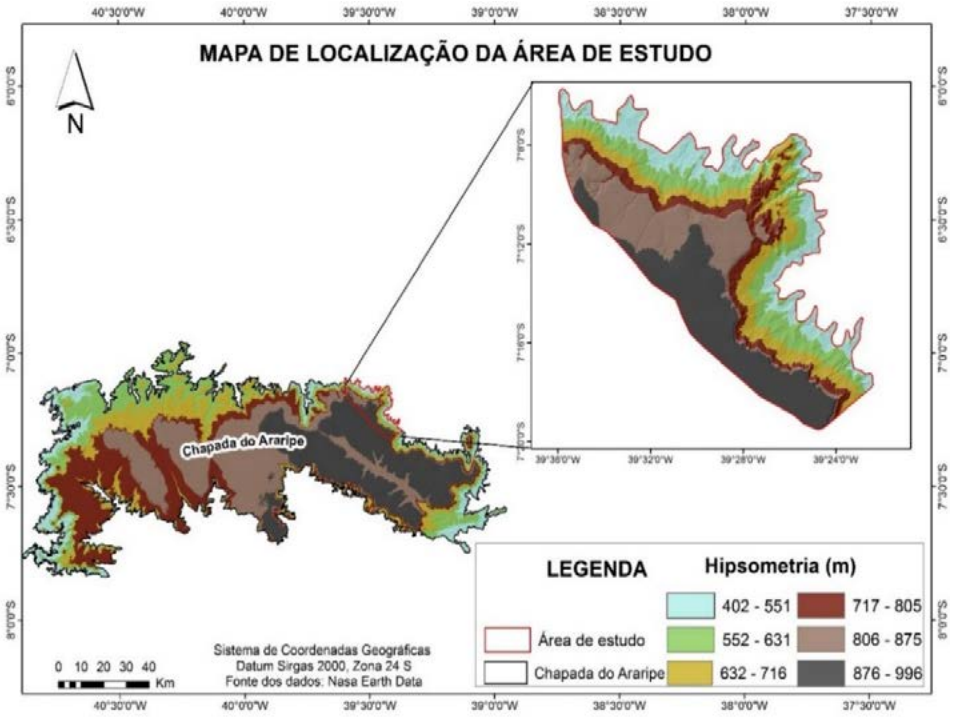


Figura 1: Localização da área de estudo da pesquisa (recorte escalar) inserido na Chapada do Araripe (CE).

Fonte: autores. Base de dados: *Nasa Earth Data.*

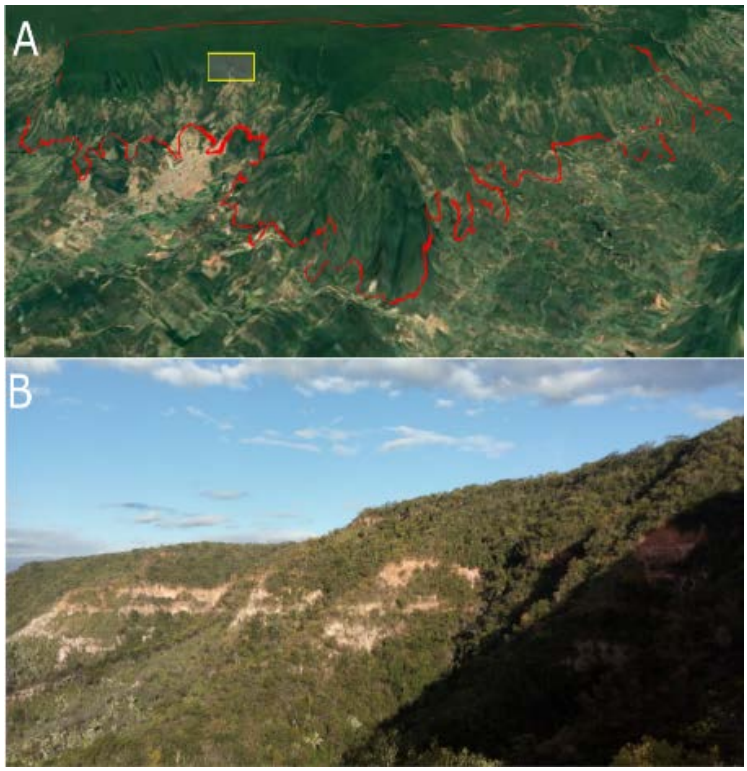


Figura 2. Modelo tridimensional (exagero vertical de 4x) do recorte escalar utilizado na pesquisa, no qual, observa-se que a escarpa foi bastante atingida por escorregamentos e topo tabular com incidência ausente de processos, devido sua forma plana **(A)**; Cicatrizes de escorregamentos, atuais e pretéritas, na escarpa (o retângulo amarelo em A indica o local aproximado da captura da imagem) (B). Fonte: Foto A (Base de Dados *Google Earth Pro*), Foto B (autores, 2018).

3. Material e Métodos

Os mapas de ângulo da encosta, curvatura, aspecto e área de contribuição foram obtidos a partir deum Modelo Digital do Terreno (MDT) com resolução de 12,5 m e escala 1:50.000, tendo como base de dados o satélite ALOS PALSAR *Global Radar Imagery*, disponibilizado gratuitamente. A confecção dos mapas de ângulo, curvatura e aspecto aconteceu dentro de uma rotina automatizada no *software ArcGIS*, com o uso da caixa de ferramentas *ArcToolbox /3D Analyst Tools/Raster Surface*. Já para o mapa de área de contribuição foi utilizada a ferramenta de direção de fluxo do *software* TauDEM (*TerrainAnalysisUsing Digital ElevationModels*), desenvolvida pelo Grupo de Pesquisa Hidrológica da *Utah State University* (Estados Unidos) (TARBOTON, 2003), tomando-se como base o MDT.

O mapa de ângulo foi elaborado com seis classes, obedecendo os seguintes intervalos: 0°-7°, 7,1°-11°, 11,1°- 17°, 17,1°- 27°, 27,1°- 45°, >45° (IPT, 2012). O mapa de curvatura foi realizado a partir dos intervalos propostos por Valeriano (2008): formas côncavas (<0.04); formas retilíneas (= 0) e formas convexas (> =0.04). No mapa de Aspecto, as classes foram definidas de acordo com as direções da rosa-dos-ventos (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) para as quais as encostas estão voltadas (FLORENZANO, 2008). Para o mapa de área de contribuição, os valores de fluxo acumulado classificaram-se em escala logarítmica devido à variabilidade existente em função da distribuição dos dados (BEVEN e KIRKBY, 1979), dividindo-se, assim, em cinco classes: 0m² – 10 m², 10m² – 100 m², 100m² – 1000 m², 1000m² – 10000 m² e > 10.000 m².

Visando avaliar a influência de cada um dos parâmetros condicionantes foi realizado um inventário de cicatrizes de escorregamentos, obtido a partir da interpretação de imagens de satélite disponibilizadas pelo *Google Earth Pro* compreendendo à escala temporal entre os anos 2003 e 2020, validadas em trabalhos de campo. Os seguintes critérios foram utilizados para a delimitação das cicatrizes nas imagens de satélite: ausência de vegetação, textura do solo, posição na encosta, forma e tamanho, sendo consideradas somente a porção de ruptura das cicatrizes (terço à montante), desconsiderando-se suas áreas de arraste e de depósito coluvionar (GUZZETI, *et al.,* 2012).

O inventário foi sobreposto aos quatro mapas (ângulo, curvatura, aspecto e área de contribuição) visando-se o cálculo do seguinte índice proposto por Gao (1993): Concentração de Cicatrizes (CC) (distribuição quantitativa de cada classe afetada pelos escorregamentos, isto é, a razão entre o número de células de cada classe afetadas pelas cicatrizes e o total de células correspondentes aos escorregamentos) conforme a Equação 1. Em cada mapa também foi calculada a Frequência de Distribuição (FD):distribuição percentual de suas respectivas classes (Equação 2).

$$CC = \frac{\text{nº de células de cada classe}}{\text{Área Atingida Total}} * 100 \qquad \text{Equação 1}$$

$$FD = \frac{\text{nº de células de cada classe}}{\text{Total de células}} * 100 \qquad \text{Equação 2}$$

4. Resultados e Discussão

No inventário de cicatrizes, foram mapeadas 71 feições de escorregamentos que ocupam uma área de 24. 063m². Analisando as cicatrizes de escorregamentos de forma distribuída tem-se que 79% delas possuem área inferior a 500 m². A maior cicatriz mapeada possui 854 m² e a menor 102 m², quando calculado o volume total de sedimentos gerados por esses escorregamentos, obtém-se um total de 36.095 m² (considerando-se uma profundidade de ruptura de 1,5 m).

Conforme o mapa de ângulo da encosta (Figura 3), foi possível verificar que as duas primeiras classes (0º-7º e 7,1º- 11º) apresentaram uma Frequência de Distribuição (FD) de 80,0% da área total, influenciadas pelas muitas áreas planas no topo da Chapada. Em seguida, as classes (11,1°-17° e 17,1°-27º) apresentaram uma FD de 17,7% e as duas últimas classes (27,1°- 45° e > 45°), correspondentes ao relevo mais escarpado, representaram uma FD de apenas 2,3% (Figura 4).

As duas últimas classes de maiores angulações estão em sua grande parte localizadas ao longo de toda a escarpa rochosa da Chapada do Araripe (Figura 5) e na porção central da área de estudo, situada a NE, correspondente a serra do Juá, uma intrusão granítica que se encontra em contato direto com estratos sedimentares. As potencialidades para a ocorrência de movimentos de massa em maciços cristalinos no semiárido cearense já foi atestada em trabalhos realizados por Bastos e Peulvast (2016).

Quanto à validação do mapa de ângulo da encosta, notou-se que a maior Concentração de Cicatrizes (CC) localizou-se nas duas últimas classes (27,1°- 45° e > 45°) que embora representaram somente 2,3% da área estudada, apresentaram uma CC equivalente a 44,4% e 21,6%, respectivamente, totalizando 66% (Figura 4).

Corroborando com esses resultados, Bonini *et al.* (2020) ao estudarem uma bacia hidrográfica na região do Vale da Ribeira (SP) identificaram uma maior Concentração de Cicatrizes nas classes entre 20° e 25° (23,2%), cujo índice atingiu seu valor máximo na classe entre 30° e 35° (26,5%) e declinando nas classes com ângulos superiores a 35°. As áreas de relevo mais declivoso, apesar de não serem o único fator condicionante, favorecem de forma significativa a ocorrência dos escorregamentos, principalmente, pelo aumento da velocidade do escoamento superficial da água e do poder erosivo na movimentação de materiais superficiais, podendo aumentar a suscetibilidade da área, assim como já constatado em outros estudos por Selby (1993); Fernandes *et al.,* (2001) e Listo e Vieira (2012).

O mapa de curvatura (planta e perfil) (Figura 3) indicou uma FD equânime entre as três classes (côncavo - 35,4%; convexo - 35,4% e retilíneo - 29,2%) (Figura 4). O índice CC mostrou uma maior suscetibilidade nas encostas côncavas (41,8%), seguido, com pouca diferença percentual, pelas curvaturas convexas (39,2%) e retilíneas (19%) (Figura 4). Os maiores percentuais de CC para as encostas côncavas convergem com estudos realizados por Gao (1993), Dietrich e Montgomery (1998), Fernandes *et al.*(2001), Vieira (2007) e Listo e Vieira (2012), no qual, apontaram que os padrões côncavos do relevo são mais suscetíveis a escorregamentos, diante da maior convergência de fluxos hídricos para estas áreas e, consequentemente, maior concentração de fluxos subsuperficiais.

Porém, enfatiza-se também a necessidade de uma análise conjunta de parâmetros geoambientais para o melhor entendimento das características da curvatura, pois, embora a literatura indique que as áreas côncavas possuem uma maior tendência a instabilidade devido a maior concentração de fluxos, esta relação nem sempre se confirma (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994; FERNANDES *et al.,* 2001).

Similarmente aos resultados encontrados para região da Chapada do Araripe, Bonini *et al.* (2020) identificaram para a bacia do rio Gurutuba no município de Itaoca (SP), que as classes côncavas e convexas apresentaram as maiores concentrações de cicatrizes, respectivamente, 35,2% e 33,9%, seguida pela retilínea, com 31%.

No tocante ao mapa de aspecto (Figura 3), observa-se que as orientações estão localizadas de maneira dispersa pela área estudada, com as seguintes FD: Nordeste (19,7%), Norte (16,8%), Leste (15,9%), Noroeste (12,7%), Sudeste (12,6%), Oeste (6,3%), Sul (5,9%), Relevo Plano (5,3%) e Sudoeste (4,8%) (Figura 4). As encostas mais afetadas pelos escorregamentos (índice CC) foram aquelas orientadas a Norte (30,7%), a Leste (27,5%), a Nordeste (15%) e a Sudeste (13,7%). Já os menores índices de CC equivaleram às encostas orientadas para Noroeste (7,2%), Sul (2,6%), Oeste (2,6%) e Sudoeste (0,7%) (Figura 4).

Desta forma, as encostas orientadas para o quadrante Norte foram aquelas que apresentaram uma maior CC e, provavelmente, são as que recebem menor incidência solar, gerando uma manutenção da umidade e comprometendo a estabilidade das encostas.

De acordo com GAO (1993), a quantidade de radiação solar recebida pela encosta tem a capacidade de influenciar diretamente a sua umidade e, consequentemente, sua estabilidade. Em outros trabalhos que também avaliaram a influência do aspecto na deflagração de escorregamentos, a pesquisa de Santos (2020), realizada na Região Metropolitana do Recife (PE), verificou uma maior suscetibilidade nas encostas orientadas para direção Sudeste. Já Nery e Vieira (2015), em um estudo na Serra do Mar Paulista, encontraram a orientação Oeste como sendo a mais afetada pelos escorregamentos. Enquanto Bonini *et al.* (2020), pesquisando os escorregamentos na região do Vale da Ribeira (SP), verificaram que as encostas a Leste e Sudeste concentraramaproximadamente67% das cicatrizes mapeadas.

Com relação à área de contribuição (Figura 3), a que apresentou a maior FD foi a classe entre 10m² – 100 m² (44,7%), seguido pelas classes 100m² – 1000 m² (24,4%), 0 – 10 m² (24%), 1000m² – 10000 m² (4,8%) e > 10.000 m² (2,1%) (Figura 4). Com relação à CC, a classe 10 m² – 100 m² foi aquela que mais concentrou cicatrizes (45,7%), seguida pela classe 100m² – 1000 m², que registrou um índice de 37,9%. As demais classes registraram, juntas, apenas 16,7% (Figura 4).

A classe >10.000 m² representa os principais canais da área de estudo. Já as classes 10m² – 100 m² e 100m² – 1000 m², por exemplo, representam as áreas com cabeceiras de drenagem da área. Santos(2020), identificou em seu mapa de área de contribuição que a classe 100m² - 2.500 m² foi aquela que mais registrou ocorrência de cicatrizes (67,1%). Já Bonini *et al.* (2020) constataram que áreas de contribuição até 600 m² foram as que apresentaram o maior índice CC (39,43%). Houve uma tendência de decréscimo dos índices de CC com o aumento da área de contribuição, assim como observado para o caso da Chapada do Araripe.

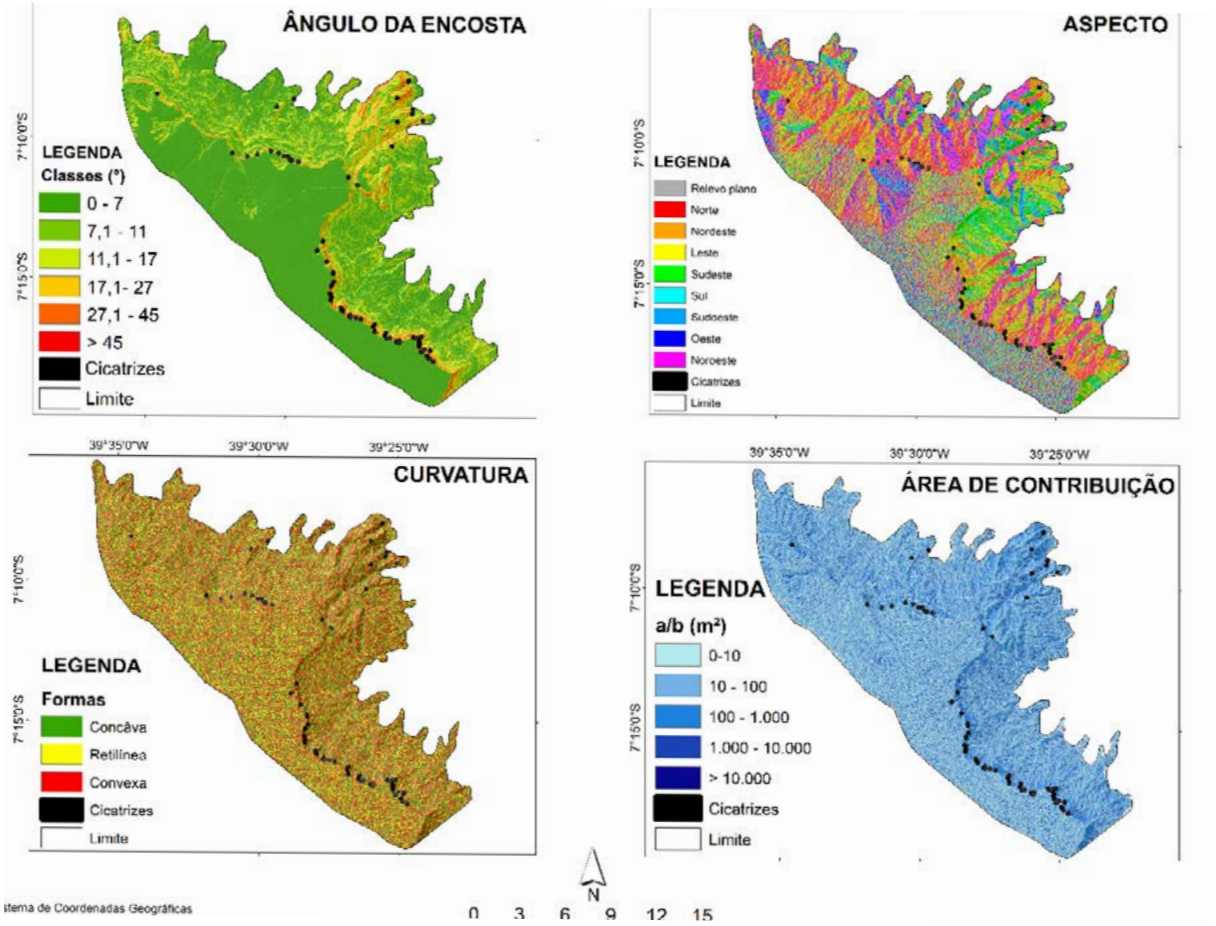


Figura 3: Parâmetros Topográficos de Ângulo da encosta, Aspecto, Curvatura e Área de contribuição sobrepostos ao inventário de cicatrizes de escorregamentos. Fonte: autores. Base de dados: *Nasa Earth Data.*

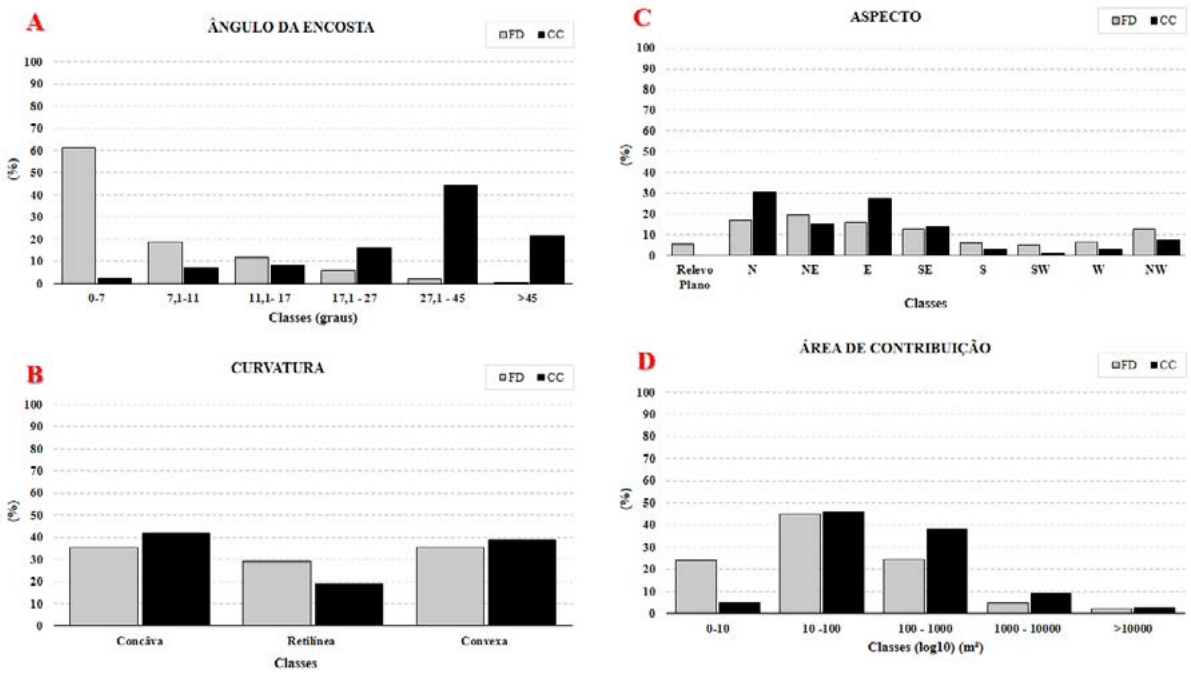


Figura 4: Histogramas de Frequência de Distribuição (FD) e Concentração de Cicatrizes (CC) dos parâmetros Declividade (A); Curvatura (B); Aspecto (C) e Área de Contribuição (D). Fonte: autores.



Figura 5: Cicatriz de escorregamento translacional situada em área de elevada declividade na escarpa rochosa da Chapada do Araripe (CE). Fonte: autores (2020).

5. Considerações Finais

O conjunto das técnicas empregadas neste trabalho permitiu a elaboração de mapeamentos com acurácia que mostraram o quadro topográfico da Chapada do Araripe, cujos resultados apresentados atenderam ao principal objetivo deste artigo.

A partir das análises dos mapas temáticos diante dos índices estatísticos Frequência de Distribuição (FD) e Concentração de Cicatrizes (CC) foi possível indicar as classes topográficas mais propensas a escorregamentos. Dessa forma, o padrão de maior suscetibilidade em relação à estes parâmetros equivaleu às encostas mais declivosas (27,1°- 45° e > 45°), com padrão predominantemente côncavo, orientadas para o quadrante norte e com área de contribuição entre 10m² – 100 m², que representam cabeceiras de drenagem da área de estudo.

Os parâmetros topográficos são os principais deflagradores dos desastres geomorfológicos, dessa forma, os métodos aplicados apresentaram-se satisfatórios ao indicar às classes temáticas mais suscetíveis a ocorrência de escorregamentos. A partir da modelagem de cenários preditivos, trabalhos futuros poderão ser realizados.

Em conclusão, no cumprimento da Lei Federal n. 12.608, as respostas obtidas na presente pesquisa, poderão ser utilizados pelo poder público para o melhor monitoramento da Chapada do Araripe, na determinação de áreas de risco e no eficiente planejamento do uso da terra.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por incentivos através da concessão de bolsas de estudo.

Referências

AYALA, I.A. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, 47, 107-124, 2002.

BASTOS, F. H.; PEULVAST, J. Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no maciço de Baturité - Ceará, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 124-142, 2016.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing área model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, Oxford, v. 24, p. 43-69, 1979.

BIERMAN, P.R. & MONTGOMERY, D.R. **Hillslope**. In: Key Concepts in Geomorphology. W.H. Freeman and Company Publishers New York. 145-178, 2014.

BONINI, J. E.; BATEIRA, C. V. M.; DIAS, V. C.; MARTINS, T. D. VIEIRA, B. C. Évaluation de la susceptibilité auxglissements de terrain superficiels à partir de paramètres morphométriques et desmodèles SHALSTAB et de la Valeur Informative. **CONFINS** (PARIS), v. 46, p. 1-13, 2020.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.608, DE 10 de abril de 2012**. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 10 de abril de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/> Acesso em: 13 mai. 2020.

DIETRICH, W. E. e MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB:** A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential. National Council for Air and Stream Improvement, Technical Report, 1998. 26p.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org). **Geomorfologia e meio Ambiente**. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, p. 123-194.

FERNANDES, N. F. *et al.* Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, 2001.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. Topographic controls in Rio de janeiro: Field evidence and modeling. **Catena** (55). p. 163-181. 2004.

FLORENZANO, T. G (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008

FUNCEME. Zoneamento geoambiental do estado do Ceará: parte II mesoregião do sul cearense. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Fortaleza. 2006. 132p.

GAO, J. Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.SA. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.18, p.579-591, 1993.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de Escavação**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher; 1984.

GUZZETTI, F. *et al.* Landslide inventory maps: New tools for an old problem. **Earth Science Reviews** 112: 42-66. 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). BITAR, O. Y; FREITAS, C. G. L; FERREIRA, A. L. Classificação de declividade para fins de normalização geotécnica em planejamento urbano: estudos em áreas de domínio pré-cambriano na região Sudeste. **Anais...** Congresso Brasileiro de Geologia, 46, 2012.

LISTO, F. L. R.; CARVALHO VIEIRA, B. Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. **Geomorphology**, v. 169-170, p. 30-44, 2012.

MORALES, N.; ASSINE, M. L. Chapada Do Araripe: A Highland Oasis Incrusted into the Semi-arid Region of Northeastern Brazil. In: VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C. (Orgs.). **Landscapes and Landforms of Brazil**. Dordrecht: Springer, 2015.

MONTGOMERY, D.R.; DIETRICH, W.E. A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research** (30), 1994. p. 1153-1171.

NERY, T. D.; VIEIRA, B. C. Susceptibility to shallow landslides in a drainage basin in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil, predicted using the SINMAP mathematical model. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 74, n. 2, p. 369–378, 2015.

PEULVAST, J. BÉTARD, F. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: The Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, v. 233, p. 20-40, 2015.

TARBOTON, D. G. **Terrain analysis using digital elevation models in hydrology**. In: 23rd ESRI International Users Conference, San Diego, California, 7-11 de Julho 2003. Proceedings

VALERIANO, M. M. **TOPODATA:** guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. 72 p.

VIEIRA, B. C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. Tese (Tese em Geografia) – UFRJ. Rio de Janeiro, p.193, 2007.

SANTOS, E. M. **Aplicação do modelo SHALSTAB na previsão de escorregamentos no município de Camaragibe, Região Metropolitana do Recife.** 2020. 99f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPE, Recife, 2020.

SELBY, M. J. **Hillslope: materials &processes.** New York, 1993.

SIDLE, R.C., PEARCE, A.J., O'LOUGHLIN, C.L. Hillslope stability and land use. **Washington: American Geophysical Union**,1985 140 p.

VAN WESTEN, C.J., CASTELLANOS ABELLA, E.A., KURIAKOSE, S.L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. **Engineering Geology**, 102, 112-131, 2008.

ZARUBA, Q., MENCL, V. Landslides and their control. Amsterdam: **Elsevier**, 1976. 205 p.

PROPOSTA AUTOMÁTICA DE ENERGIA DO RELEVO: PROCEDIMENTOS PARA O TRATAMENTO E INTEGRAÇÃO DE DADOS MORFOMÉTRICOS A PARTIR DE FERRAMENTAS BÁSICAS DO SOFTWARE ARCGIS

Bruno Ferreira da Silva
Universidade Federal de Uberlândia
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: brunof_silva1998@hotmail.com
Alan Silveira
Universidade Federal de Uberlândia
Km 1, LMG-746, Monte Carmelo – MG, CEP: 38500-000
E-mail: alan.silveira@ufu.br Resumo

Resumo

Para o presente trabalho, propôs-se a elaboração da carta de Energia do Relevo no software ArcGIS utilizando ferramentas básicas que não demandam conhecimento específico do usuário pelo programa computacional ou por linguagem de programação. A área de estudo em que foi confeccionado a Energia do Relevo é a bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão, situada no município de Nova Ponte (MG). O mapeamento referido consiste na compilação de dados morfométricos advindos de três documentos cartográficos: carta de Declividade, de Dissecação Horizontal e de Dissecação Vertical, que permite identificar as áreas mais suscetíveis aos processos morfogenéticos mediante classes qualitativas. Ressalta-se que este trabalho não é o primeiro a utilizar o ArcGIS para a Energia do Relevo, porém, propôs-se procedimentos bem simples e por etapas que visam uma fácil aplicabilidade da técnica automática. Além disso, foi proposto o tratamento dos dados utilizados a fim proporcionar um melhor acabamento.

Palavras-chave: Energia do Relevo. Proposta Automática. Software ArcGIS. Correção do TIN de Declividade. Ribeirão do Brejão.

1. Introdução

A morfometria do relevo faz uso de uma análise quanto à geometria que possibilita identificar a atuação processos morfogenéticos em uma bacia hidrográfica (CUNHA, MENDES e SANCHES; 2003). A carta de Energia do Relevo é um documento cartográfico que permite uma caracterização morfométrica do relevo e que permite uma aplicabilidade em distintas áreas do conhecimento, dependendo do interesse do pesquisador (MENDES, 1993).

Mendes (1993) propôs a elaboração da carta de Energia do Relevo por meio da compilação dos dados morfométricos de declividade, dissecação horizontal e dissecação vertical. Esta carta possui uma alta complexidade por tratar-se de um documento do tipo qualitativo que é elaborado a partir de dados quantitativos.

A energia do relevo já foi anteriormente discutida e objeto de estudo por diversos pesquisadores, porém a partir de variáveis e/ou técnicas diferentes, como trabalhos de Smith (1935) e Spiridonov (1981). O diferencial da proposta de Mendes (1993) é de utilizar dos dados de gradiente de vertente (declividade), distância interfluvial (dissecação horizontal) e altitude relativa (dissecação vertical) para caracterizar a potencialidade dos processos morfogenéticos, visto que o mapeamento utiliza de classes que variam desde muito fraca a muito forte energia do relevo.

O primeiro trabalho a propor a elaboração da carta de Energia do Relevo por meio do software ArcGIS é de autoria de Zanatta et al. (2015). Os autores tiveram como proposta o uso da ferramenta Field Calculator juntamente com o uso de linguagem Python para a definição dos parâmetros de processamento da carta de Energia do Relevo. Ressalta-se que a confecção da carta de Energia do Relevo, além de analógica, possui trabalhos referentes a outros programas computacionais como Spring e AutoCAD, como trabalhos de Leite e Rosa (2012) e Zacharias, Freitas e Sanchez (2005), respectivamente. O interesse pelo uso do software ArcGIS em específico, deve-se ao fato de que se tornou uma referência para o Geoprocessamento e demais áreas do conhecimento afins. Desta forma, propôs-se a elaboração da carta de Energia do Relevo no software ArcGIS 10.5 a partir de procedimentos e ferramentas básicas que não demandam que o usuário utilize de linguagem de programação, visto que se baseiam nos princípios de operações de conjuntos para a síntese do mapeamento proposto.

2. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão corresponde a uma área de 73,36 km2 e situa-se no município de Nova Ponte, Minas Gerais, na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. Os elementos que compõem a área de estudo, como limite da bacia e das sub-bacias, canais pluviais, curvas de nível e cotas altimétricas, estão apresentadas na Figura 1, visto que são essenciais para o desenvolvimento da carta de Energia do Relevo.

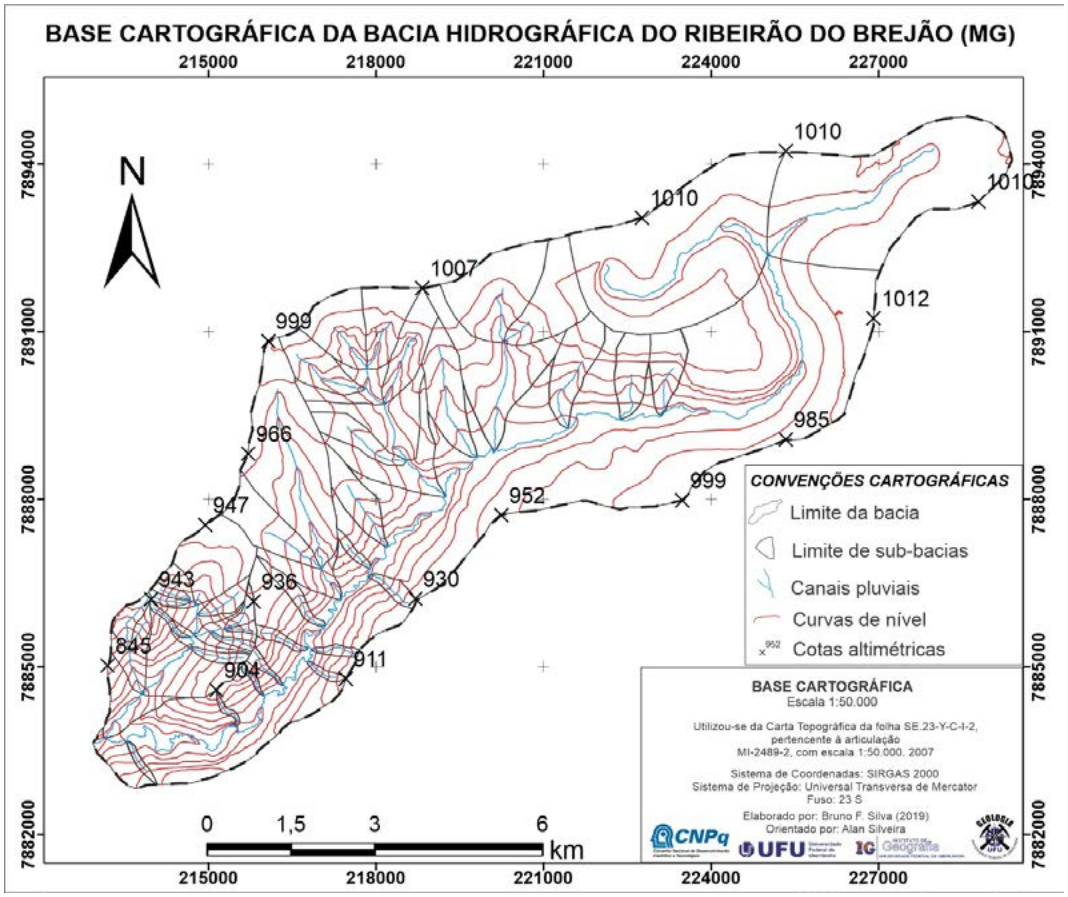


FIGURA 1: Base cartográfica da área de estudo.

3. Metodologia

A Carta de Energia do Relevo consiste na compilação das Cartas Morfométricas de Declividade, Dissecação Horizontal e Dissecação Vertical, proposta de Cunha, Mendes e Sanchez (2003). Assim, é possível elaborar um documento cartográfico que possibilita identificar as áreas com maior potencial energético aos processos morfodinâmicos.

Os procedimentos adotados neste manual utilizam de ferramentas muito simples, fundamentadas nos princípios de operações em conjunto, como união e diferença, que permitem uma fácil aplicabilidade do método. Desta forma, os procedimentos a serem apresentados respeitam a sistemática da sobreposição das classes morfométricas proposta por Mendes, Cunha e Sanchez (1993), porém de forma automática por meio do software ArcGIS.

Para elaborar a Carta de Energia do Relevo a partir do software ArcGIS, necessitam-se dos seguintes arquivos:

- TIN de declividade gerado a partir da ferramenta create TIN from Features;
- Shapefiles de polígonos para a correção do TIN de declividade;
- Shapefiles das sub bacias para a Dissecação Horizontal.
- Shapefiles das sub bacias para a Dissecação Vertical.

As classes de Dissecação Horizontal e Dissecação Vertical utilizadas neste trabalho foram obtidas a partir das técnicas automáticas propostas por Ferreira et al. (2014, 2015). Os dados morfométricos de dissecação apresentam poucos erros e que são passíveis de fácil correção, porém ainda não há técnicas que possibilitem gerar a declividade entre curvas com grande precisão para o software em questão. Assim, faz-se necessária a correção por sobreposição de polígonos em áreas cujo TIN de declividade apresenta resultados incoerentes. No entanto, para gerar a Carta de Energia do Relevo, é importante que não haja qualquer sobreposição de polígonos a fim de evitar quaisquer erros no procedimento da elaboração deste documento. Para isto, propôs-se também neste trabalho discriminar os passos para a correção do TIN de declividade a fim de certificar a qualidade da carta de Energia do Relevo. Desta forma, buscou-se corrigir o TIN de declividade, sintetizar todos os dados morfométricos e, com isso, confeccionar a carta de Energia do Relevo. Fez-se uso de um notebook com processador Intel Core i7 2.50 GHz, com 8 (oito) GB de memória RAM e sistema Windows 10 Home Single Language.

Correção do TIN de declividade – É necessário que o TIN de declividade compreenda apenas a área de estudo. O procedimento de recorte pode ser obtido a partir de 3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Edit TIN. Siga as orientações: Input TIN (inserir o TIN de declividade a ser recortado); Input Feature Class (inserir o limite da área de estudo); Height Field: “<None>”; Tag Field: “Área”; SF Type: “Soft_Clip”; Use Z: “false”; OK.

O primeiro passo é separar as classes do TIN de declividade já que durante a elaboração deste modelo é feito a triangulação que resulta em inúmeros polígonos. Em 3D Analyst Tools > Conversion > From TIN > TIN Triangle, preencha da seguinte forma: Input TIN (selecionar o TIN de declividade); Output Feature Class: (escolher o local de saída do TIN Triangle); Slope Units: “Percent” ou “Degree” (depende da unidade de medida de interesse, neste caso optou-se por porcentagem); Z Factor: 1; os demais parâmetros podem ser deixados conforme sugerido pelo software; OK.

O próximo passo é extrair cada intervalo de classe do TIN Triangle gerado para obter os intervalos de classe. Para isso, utiliza-se a ferramenta Analysis Tools > Select (Figura 2). É necessário seguir a recomendação: Input Features (selecionar o TIN Triangle); Output Feature Class (escolher o local de uma dada classe, exemplo “Classe_6”); Expression (SQL): “Slope_Pct < 3”, neste caso a fórmula permite que seja selecionado os polígonos que apresentem uma declividade menor que 3%, sendo assim respectivo à classe 6 (menor declividade); OK. Repetir este procedimento para as demais classes até que todos os intervalos sejam compreendidos. Para os intervalos entre duas classes, tem-se: Expression (SQL): “Slope_Pct > 3 AND Slope_Pct < 6”, assim, obtém- se os polígonos da classe 3 a 6% de declividade.

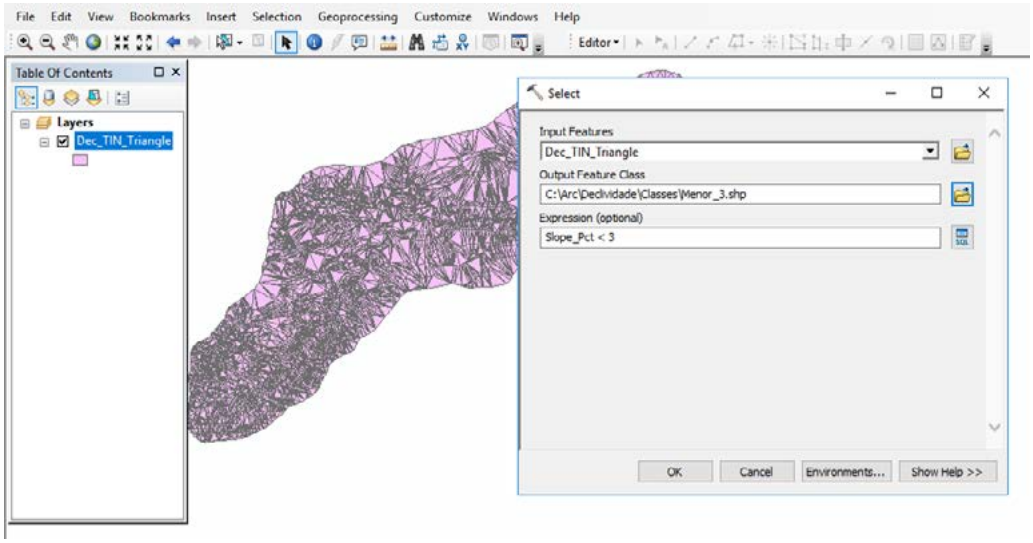


FIGURA 2: Captura de tela do uso da ferramenta Select no ArcGIS.

Em seguida, é preciso gerar uma shapefile de correção. Para isso, importe todos os polígonos de correção do TIN de declividade que foram criados para sobrepor os erros gerados durante a elaboração do TIN, visto que ainda não há uma ferramenta específica e precisa para obter a declividade entre curvas. Na ferramenta Analysis Tools > Overlay > Union, siga os seguintes procedimentos: Input Features (importar todas as shapefiles das classes); Output Feature Class (escolher o local de saída da shapefile de correção); os demais parâmetros devem seguir o sugerido pelo software.

Para a eliminação dos polígonos errados do TIN de declividade a partir da shapefile de correção, faz-se uso da ferramenta Analysis Tools > Overlay > Erase. Com os seguintes procedimentos: Input Features (selecionar uma das classes TIN extraídas, por exemplo “Classe_1”); Erase Features (selecionar a shapefile de correção gerada no procedimento anterior); Output Feature Class (escolher o local de saída da classe TIN); os demais parâmetros devem seguir o sugerido pelo software. Este procedimento deve ser repetido para todas as classes utilizando a mesma shapefile de correção para Erase Features.

Para a síntese das classes de declividade, utiliza-se a ferramenta Analysis Tools > Overlay > Union, com as seguintes recomendações: Input Features (importar os pares de shapefiles respectivas a mesma classe); Output Feature Class (escolher o local de saída da classe específica de declividade); os demais parâmetros devem ser mantidos. Deve-se realizar este procedimento para os demais pares de classes de declividade.

A remoção das linhas de processamento da declividade é um procedimento opcional visto que o intuito é retirar os traços dos polígonos a fim de tornar mais limpo o produto cartográfico. Para isto, abra a tabela de atributos (Attribute Table) de uma classe específica, selecione todos os polígonos desta e efetue o seguinte procedimento: Editor > Start Editing > Merge...; na caixa de seleção do Merge basta selecionar alguma camada como referência, não há critério de seleção pois todos pertencem a mesma classe, como pode ser visto na Figura 3. Para efetivar este procedimento é preciso ir em: Editor > Stop Editing. É necessário realizar os mesmos processos para as demais classes de declividade.

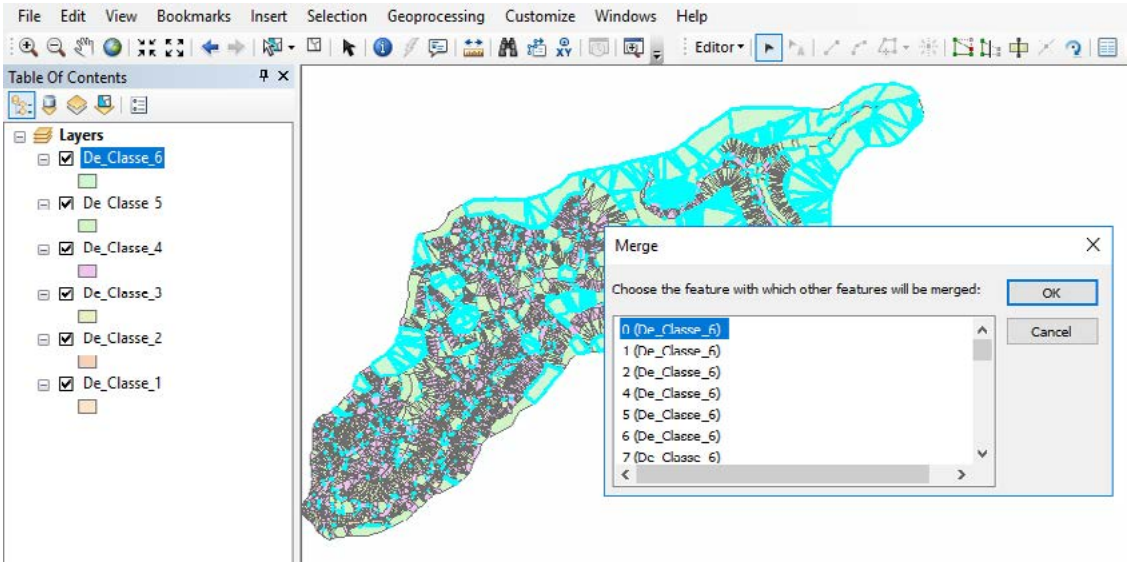


FIGURA 3: Captura de tela do uso da ferramenta Merge no ArcGIS.

Síntese dos dados da Dissecação Horizontal e Dissecação Vertical - Os seguintes procedimentos devem ser efetuados para os dados da Dissecação Horizontal e da Dissecação Vertical. A ferramenta automática de Ferreira et al. (2014) permite que ambos os dados cartográficos citados compartilhem do mesmo formato e estruturação quanto ao banco de dados. Assim, os procedimentos a seguir são aplicados da mesma forma tanto para a Dissecação Horizontal quanto para a Dissecação Vertical a fim de reduzir a grande quantidade de polígonos gerados em apenas shapefiles respectivas à cada classe.

O primeiro passo consiste na fusão das shapefiles de dissecação, pois normalmente são geradas individualmente para cada sub-bacia a fim de evitar erros e longo tempo de processamento pelo software. Com todas as shapefiles geradas pela ferramenta automática, utilize Data Management Tools > General > Merge. Siga as recomendações: Input Datasets (importe todas shapefiles); Output Dataset (escolha o local de saída da shapefile única de dissecação); Ok.

Para a extração das classes de dissecação, utiliza-se a ferramenta Analysis Tools > Extract > Split By Attributes. Então, recomenda-se: Input Table (importe a shapefile gerada no procedimento anterior); Target Workspace (escolha o local para que as classes sejam extraídas); Split Fields (marque o parâmetro que corresponde às classes, neste caso o “Dissecatio”, como ilustrado na Figura 4); Ok.

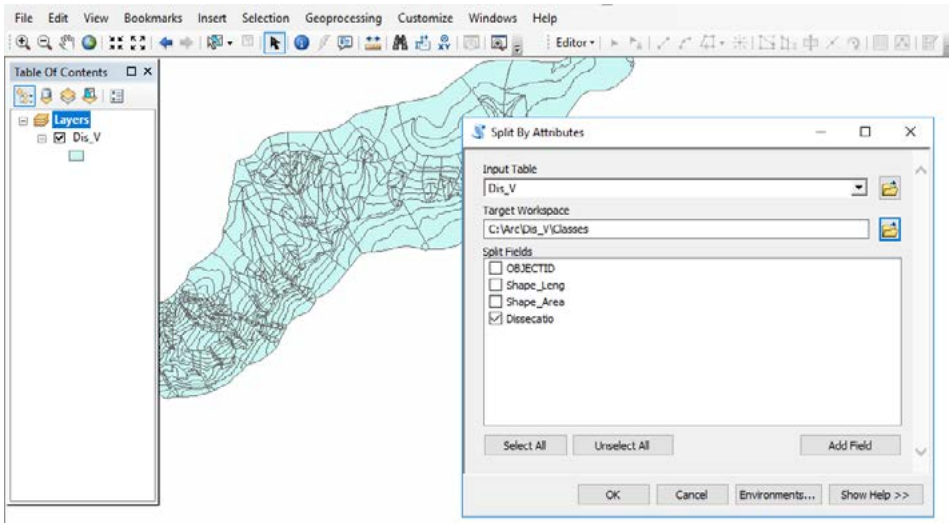


FIGURA 4: Captura de tela do uso da ferramenta Split By Attributes no ArcGIS.

A união de shapefiles pertencentes a uma mesma classe é importante pois é comum que a quantidade de shapefiles extraídas sejam maiores que a quantidade de classes desejadas. Em intervalos abertos pode haver a presença de diversas shapefiles que pertençam a uma mesma classe, como a valores de dissecação vertical maiores que 100 metros, que abrangem valores de 120, 140, 160, e assim por diante. Desta forma, faz-se necessário agrupar essas shapefiles por meio de Analysis Tools > Overlay > Union. Em que: Input Features (importe as camadas que pertencem a mesma classe); Output Feature Class (escolha o local de saída da classe); os demais parâmetros devem ser deixados conforme sugerido pelo software; OK.

Em seguida, é necessário fazer a fusão dos polígonos de uma mesma classe de dissecação. Abra a tabela de atributos (Attribute Table) de uma classe, selecione todos os polígonos e efetue o seguinte procedimento: Editor > Start Editing; escolha a shapefile cujos polígonos estão selecionados; OK. Em seguida, Editor > Merge...; na caixa de seleção do Merge marque alguma camada como referência; OK. Por fim, finalize em Editor > Stop Editing. Realize novamente o procedimento para as demais classes.

Elaboração da Energia do Relevo – Consiste na junção das classes morfométricas correspondentes. Para isto, importe as classes obtidas para a Declividade, Dissecação Horizontal e Dissecação Vertical. Utilize a ferramenta Analysis Tools > Overlay > Union. Os procedimentos recomendados são: Input Features (insira as shapefiles de mesma classe); Output Feature Class: (escolha o local de saída da classe de Energia do Relevo); os demais devem ser mantidos; OK. Este procedimento deve ser realizado para as demais classes.

Por fim, o último procedimento consiste na hierarquização das classes de energia de relevo a fim de obter a Carta de Energia do Relevo. Em Table of Contents devem ser mantidas as shapefiles das classes na seguinte ordem: 1ª classe (a de maior intensidade) até a última classe (a de menor intensidade). Após isto, basta definir as cores de acordo com as classes e a preferência do elaborador.

4. Resultados e Discussão

Após os processos apontados no item Metodologia, teve-se a obtenção da Energia do Relevo a partir das classes morfométricas de Declividade, Dissecação Horizontal e Dissecação Vertical, como pode ser visualizado na Figura 5.

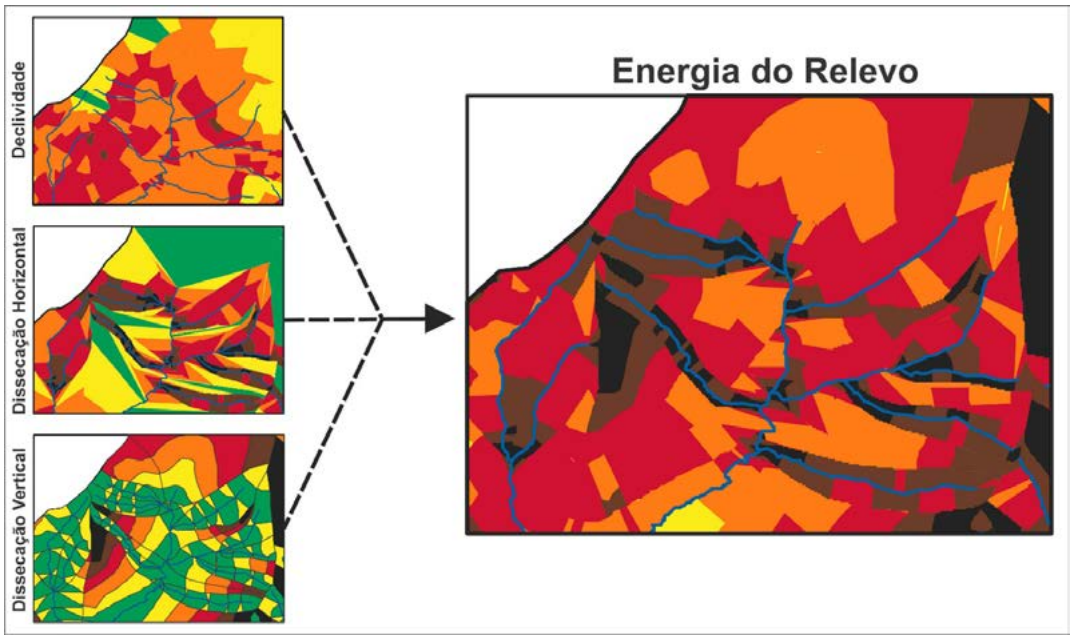


FIGURA 5: Esquema representativo da integração dos dados morfométricos para a obtenção da Energia do Relevo.

Os procedimentos para a elaboração deste mapeamento demonstraram-se bastante práticos, sobretudo por não haver a necessidade de uso de linguagens de programação para a compilação dos dados morfométricos, que demandam um conhecimento mais específico por parte do usuário. Embora a elaboração deste documento cartográfico seja em etapas, demonstrou-se vantajoso por não apresentar erros imprevisíveis ou travamento durante o processamento, ainda que exigiria minutos a poucas horas para gerá-lo, dependendo da familiaridade do usuário com o software.

O tratamento individualizado antes da elaboração da carta de Energia do Relevo permitiu que não houvesse problemas de triangulação e/ou traços que comprometessem a qualidade do produto cartográfico. Ainda, o mapeamento possui uma alta fidelidade à proposta de Mendes (1993), visto que seria esperado um resultado similar ao obtido caso fosse elaborado manualmente.

Como análise do documento cartográfico obtido, de forma geral, a carta de Energia do Relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão demonstra o aumento da potencialidade aos processos morfogenéticos conforme há o direcionamento à Baixa Bacia, com a ocorrência comum de classes forte e muito forte. Desta forma, a Alta Bacia é caracterizada por classes de média a fraca energia do relevo, sobretudo em virtude do predomínio de declividades inferiores a 6% e reduzidas densidade de drenagem e grau de entalhamento dos vales. A Média Bacia possui classes intermediárias de energia do relevo, além da ocorrência da classe forte para porções próximas às rupturas topográficas, que se ampliam em direção à Baixa Bacia. Neste setor observam-se declividades e dissecações horizontais e verticais mais acentuadas, características evidenciadas em campo.

Trabalhos pretéritos desenvolvidos por Silva e Silveira (2019) e Silva et al. (2020), diferenciaram a suscetibilidade aos processos morfogenéticos entre os setores da bacia com base no contexto geomorfológico, litológico e pedológico. Em suma, as classes mais reduzidas de energia do relevo estão associadas aos topos planos e vertentes convexas suavizadas, sustentadas por coberturas cenozoicas e caracterizadas por espessos perfis de Latossolos. Em contrapartida, as classes mais fortes de energia estão correlacionadas às vertentes declivosas com rupturas topográficas e elevada densidade de drenagem, posicionadas em bordas de chapada, com escalonamento de escarpas em virtude do comportamento litológico, representado pelos basaltos e arenitos.

5. Considerações Finais

A partir dos procedimentos propostos para a obtenção da Energia do Relevo, foi possível elaborar o produto cartográfico de forma simples e prática, visto que as ferramentas utilizadas não demandam conhecimento específico do elaborador, permitindo uma fácil aplicabilidade. A correção do TIN de declividade e os ajustes para a dissecação horizontal e dissecação vertical, sobretudo quanto à eliminação dos traços de triangulação, permitiram um resultado mais preciso e com um melhor acabamento. Por fim, a carta de Energia do Relevo para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão representa bem a evolução do modelado frente à erosão remontante em bordas de chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, a qual é expressa no comportamento morfométrico da bacia com a distribuição diferenciada das classes para seus setores.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa do processo PIBIC/CNPq/UFU nº 02/2018.

Referências

CUNHA, C.M.L; MENDES, I.A.; SANCHEZ, M.C. **Técnicas de elaboração, possibilidades e restrições de cartas morfométricas na gestão ambiental.** Geografia, Rio Claro, 2003, v. 28, n. 3, p. 415-429.

FERREIRA, M.V.; TINÓS, T.M.; PINTON, L.G.; CUNHA, C.M.L. **A dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: proposta de técnica digital automática**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, 2014, v. 15, p. 585-600.

FERREIRA, M.V.; TINOS, T.M. PINTON, L.G.; CUNHA, C.M.L. **A cartografia da dissecação vertical para avaliação do relevo: proposta de técnica automática.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro. v.67, n.6, p.1231-1245. 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica da folha SE.23-Y-C-I-2, pertencente à articulação MI-2489-2, com escala 1:50.000.** 2007. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 de fev. de 2019.

LEITE, E.F.; ROSA, R. **Mapeamento geomorfológico: A carta de energia do relevo da bacia hidrográfica do Rio Formiga (TO).** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 2, p. 269-284, 2012.

MENDES, I.A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do Córrego Lafon** – Araçatuba – SP. 1993. 171 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

SILVA, B. F.; SILVEIRA, A. **Cartografia Morofométrica Aplicada à Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Brejão: Contribuição ao Estudo dos Processos Morfodinâmicos.** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA), v. 9, p. 36-46, 2019.

SILVA, B. F.; SILVEIRA, A.; BARBOSA, M. I. M. **Cartografia Geomorfológica Aplicada à Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Brejão,** Município de Nova Ponte (MG): Indicativos da Evolução do Relevo e Contribuições ao Planejamento. Revista Brasileira de Cartografia, v. 72, n. 3, p. 474-489, 2020.

SMITH, G.H. **The relative relief of Ohio.** The Geographical Review, v. 25, p. 272-284, 1935.

SPIRIDONOV, A.I. **Princípios de la metodologia de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico.** 1981. 657 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Havana: Universidad de la Havana, Faculdad de Geografia. 1981.

ZACHARIAS, A.A.; FREITAS, M.I.C.; SANCHEZ, M.C. **Uso da cartografia digital na elaboração de cartas morfométricas do relevo: uma proposta metodológica.** Geografia, v. 30, n. 1, p. 37-57, 2005.

ZANATTA, F.A.S.; LUPINACCI, C.M.; BOIN, M.N.; FERREIRA, M.V. **Carta de energia do relevo: critérios e procedimento.** In: XI SINAGEO, 2015, Maringá (PR). Anais... Maringá: UEM, 2015.

RELEVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO LAJEADO, PORÇÃO CENTRAL DO ESTADO DO TOCANTINS: UMA CARACTERIZAÇÃO COM APOIO DE GEOPROCESSAMENTO

Lucas da Silva Ribeiro
Universidade Federal de Santa Maria
Avenida Roraima, Nº 1000, Camobi, Santa Maria, CEP: 97105-340
E-mail: lucassilvaribeiro@gmail.com
Luís Eduardo de Souza Robaina
Universidade Federal de Santa Maria
Avenida Roraima, Nº 1000, Camobi, Santa Maria, CEP: 97105-340
E-mail: lesrobaina@yahoo.com.b
Sandro Sidnei Vargas de Cristo
Universidade Federal do Tocantins
Rua três, Jardim do Ypes II, Porto Nacional – TO, CEP: 77500-000
E-mail: sidneicristo@mail.uft.edu.br

Resumo

Os estudos geomorfológicos são base de análises ambientais, pois todos os resultados de processos, endógenos e exógenos, são apresentados nas formas do relevo. Assim o trabalho tem como objetivo analisar características do relevo na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, porção central do estado do Tocantins. Para esta análise utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), via geoprocessamento, para a geração de produtos secundários como a hipsometria, declividade e perfis topográficos. No mapa hipsométrico foram definidas seis classes com intervalos iguais a 80m, no mapa de declividade três classes e nos perfis topográficos três traçados, dois no sentido transversal e um no longitudinal. Como resultados, percebeu-se que a área de pesquisa, apresenta uma amplitude altimétrica de 525m, relevos de topos planos, vales fortemente encaixados e morros e morrotes isolados. Destaca-se também a importância da utilização do MDE pela precisão e acurácia nas informações adquiridas sobre o relevo.

Palavras-chave: Relevo; Bacia Hidrográfica; Geoprocessamento.

1. Introdução

A Geomorfologia tem contribuido para a ciencia geográfica principalmente para auxiliar na interpretação dos processos naturais que atuam em conjunto com as atividades humanas e condicionam as diferentes formas do relevo.

Penteado (1983) destaca que a Geomorfologia procura entender a forma da terra e os processos que estão atuando na sua superfície, observando a complexidade dos processos e fenômenos envolvidos. Cassetti (1994) aponta que a Geomorfologia é uma ciência que tem por objetivo analisar as formas do relevo, buscando compreender as relações processuais pretéritas e atuais. Assim, percebe-se a importância do estudo geomorfologico, pois permite a compreensão dos processos que ocorreram no passado e tambem apresentam uma relação com as diferentes formas do relevo no presente.

Trentin e Robaina (2008) destacam que a modificação do relevo se dar através de um sistema natural com vários elementos que desenvolvem os processos, no qual atuam na esculturação do relevo, modificando-o constantemente, na forma de processo de retroalimentação, com entrada e saída de energia, característico de um sistema aberto.

Os estudos geomorfológicos ganham destaque pela capacidade de representar as diferentes formas de relevo e ainda apontar algumas áreas de fragilidades ambientais. Desde modo Vinha e Nunes (2010) apresenta a Geomorfologia como um dos ramos da geografia que vem desenvolvendo um papel importante dentro do planejamento territorial. Menezes et al (2013) ressalta que o estudo geomorfológico é um importante instrumento para analisar e determinar ações mitigadoras ou preventivas, que buscam evitar impactos ao meio ambiente.

Guerra (2018) aponta que à Geomorfologia considera os processos formadores, que são os materiais envolvidos como o solo e rocha, tornando se um conhecimento fundamental para ser aplicada ao planejamento ambiental. Conforme Souza (2018) a Geomorfologia apresenta influências geológicas, pedológicas, hidroclimáticas, ecológicas e de outras ciências naturais. Sendo uma ciência que está apta a resolver problemas conflituosos da sociedade com a natureza, através da avaliação prática das formas de relevo, de suas aplicações indiretas, de subsídios ao planejamento rural e urbano, da delimitação de geossistemas e/ou ecossistemas, de contribuições ao ordenamento territorial e da elaboração de planos de manejo de Unidades de Conservação de Proteção Integral ou de Uso Sustentável. Desse modo percebe se a importância dos estudos Geomorfológicos principalmente para auxiliar na gestão e planejamento ambiental.

Neste sentido, destaca-se também a importância de estudos que envolvem bacias hidrográficas, pois as mesmas são sistemas naturais onde os processos atuam de forma integrada.

Cunha e Guerra e (1996, p 354) apontam que a bacia hidrográfica assume um papel fundamental na evolução do relevo pois, o curso de água constitui importantes moldeladores da paisagem. Cristo (2002) destaca que a utilização de bacia hidrográfica como limite de área de estudo, possibilita investigar eventos naturais que ocorrem no interior da mesma, através da entrada e saída de energia. Scooti et al (2015) apresenta que os estudos em bacias hidrográficas se associam a noção de sistema, onde ocorrem os eventos naturais e as atividades humanas que acabam interferindo na dinâmica desse sistema.

Deste modo, os estudos em bacias hidrográficas possibilitam uma investigação das principais características do relevo, onde, os mesmos podem ser analisados por diversas variáveis, como por exemplo: hipsometria, declividade, amplitudes. Estas variáveis são passiveis de análise através da tabulação e quantificação do Modelo Digital de Elevação – MDE.

Atualmente o MDE, tem sido um produto muito utilizado por diversos estudos ambientais, principalmente pela sua capacidade de gerar produtos cartográficos que auxiliam na intepretação e análise sobre características do relevo. Para Clemente (2016) o MDE é capaz de representar digitalmente um conjunto de dados e a partir disto, extrair informações, seja através de consultas diretas ou através de análises e manipulações.

Segundo Petsch et al (2020) a geração do MDE com alta resolução espacial e acurácia vertical, tem proporcionado uma classificação automática com condições para desenvolver mapeamentos do relevo com rapidez e precisão. Scheren e Robaina (2019) destacam a importância do uso das ferramentas de Sistema Informação Geográfica – SIG e MDE, pois apoiam o pesquisador na investigação do relevo e na sua espacialização em determinada área de estudo. Leal et al (2019) mostram a importância da utilização de técnicas de Geoprocessamento e SIG pois elas proporcionam uma apreensão mais próxima do real possibilitando um ordenamento mais coerente, integrando em um único banco de dados com informações numéricas e espaciais, oportunizando a elaboração de estratégias no que concerne à organização físico-territorial.

O presente trabalho tem como objetivo analisar as características do relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, com base em produtos cartográficos gerados a partir do MDE, como o comprimento e amplitude das encostas.

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado localiza-se na porção central do estado do Tocantins (Figura 1), e tem uma área de 616,29 km² que abrange parcialmente quatro municípios, 15% de Aparecida do Rio Negro, 39% de Lajeado, 8% de Tocantínia e 38% de Palmas (capital do estado).

Ainda nesta bacia hidrográfica tem a presença parcial de duas Unidades de Conservação da Natureza (UCs) uma de proteção integral, o Parque Estadual do Lajeado (PEL) e a outra, de uso sustentável, a Área de Proteção Ambiental (APA) Serra do Lajeado.

O PEL foi criado pelo governo estadual, através da Lei n° 1.244, em maio de 2001 com o objetivo de proteger as amostras dos ecossistemas da Serra do Lajeado, assegurando a preservação de sua flora, fauna e demais recursos naturais, características geológicas, geomorfológicas, e cênicas proporcionando oportunidade controlada para visitação, educação e pesquisa cientifica. Também tem a finalidade de proteger os mananciais que abastecem a cidade de Palmas e coibir a expansão urbana nas encostas (NATURATINS, 2003).

Segundo Leite (2017) a motivação para a criação do parque ocorreu, teoricamente, sobre dois aspectos; primeiro devido à natureza jurídica da APA Serra do Lajeado; segundo devido à necessidade de compensação ambiental para os impactos decorrentes do processo de implantação da Usina Hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães.

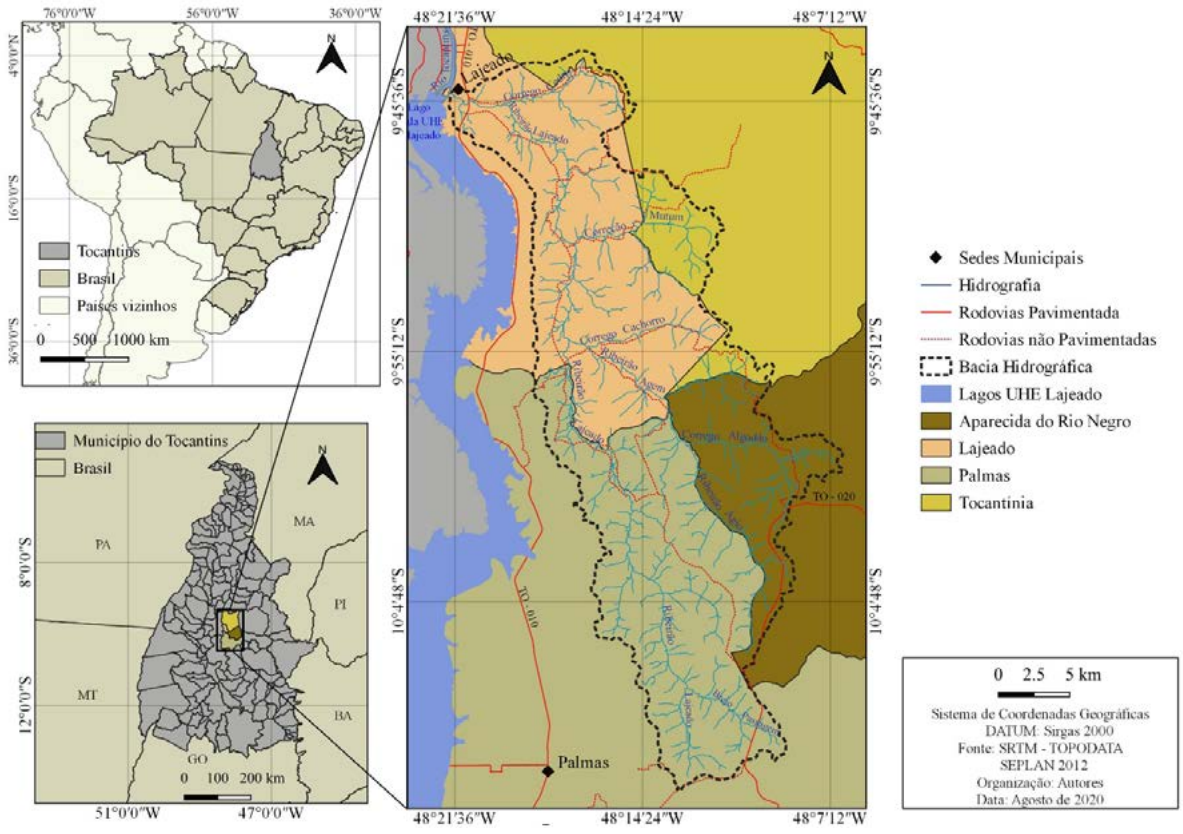


FIGURA 2: Mapa de Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado.
Fonte: Autores 2020

Com relação a APA Serra do Lajeado, foi criada através da Lei N° 906, de 20 de maio de 1997, onde o governo do Estado do Tocantins ratificou a transformação da Área de Representação Ecológica da Serra do Lajeado para a APA Serra do Lajeado (NATURATINS, 2003). Segundo Pereira *et al* (2017) a criação a APA Serra do Lajeado, foi para proteger e preservar os elementos biótico e abiótico do Cerrado, bem como as principais nascentes dos rios que abastecem as cidades contempladas por ela, destacando a cidade Palmas.

De modo geral, a bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado é o maior sistema hidrográfico dentro da APA Serra do Lajeado e do PEL, demonstrando a importância da bacia hidrográfica para as UCs, bem como das UCs para a bacia hidrográfica.

Em termos geológicos a bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado está inserida na bacia sedimentar do Parnaíba com a presença de rochas do tipo Arenito. Segundo Guerra e Guerra (2008) o arenito é uma rocha sedimentar formada a partir de grãos de areia depositados em camadas horizontais, onde a orientação das camadas pode sofrer modificações através de movimentos tectônicos, que demonstram a sua ação através de falhas e dobras presentes nas rochas. Penteado (1983) destaca que os arenitos apresentam uma nitidez das formas com contrastes entre planaltos tabulares ou subtabulares, apresentando vales fortemente encaixados de paredes íngremes e com uma densidade de drenagem fraca, rios longos e retilíneos, acompanhando o padrão de diáclases e fissuras com formas curiosas de detalhes como peões, agulhas, pontões, cogumelos características de um relevo ruiniforme.

De maneira geral, a presente área de estudo contempla dois de tipos de sequências areníticas, caracterizado pelas Formações Pimenteiras e Cabeças.

O nome Formação Pimenteiras foi introduzido na literatura geológica por Small (1913) para designar um pacote de folhelhos vermelhos que ocorrem na cidade de Pimenteiras, Piauí. Esta Formação se caracteriza por folhelhos vermelhos e cinza escuros, micáceos, e leitos de oolitos piritosos. Intercalações de arenitos e siltitos brancos a cinza claro que ocorrem, em especial, na direção do topo da sequência. Representam uma deposição em plataforma rasa dominada por tempestitos (VAZ *et al,* 2007).

A Formação Cabeças foi denominada por Plummer (1946) com base nos arenitos encontrados nas proximidades do povoado com nome Cabeças, hoje cidade de Dom Expedito Lopes/Piauí. Constitui-se de arenitos fino a médio, com abundância de minerais pesados. Na borda sul da bacia torna-se grosseiro, conglomerático, com seixos de quartzo, quartzitos, fragmentos de feldspatos e palhetas de micas. A idade foi determinada por estudos de pólens para o Neo-Devoniano (CAPUTO *et al*, 2005).

Geomorfologicamente, conforme SOUSA *et al* 2012 o estado do Tocantins está compartimentado em 26 (Vinte seis) Unidades Geomorfológicas, onde a bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado abrange duas destas Unidades, sendo o Planalto Dissecado do Tocantins e a Depressão Média do Tocantins. O Planalto Dissecado do Tocantins representa planaltos residuais, escarpas, serras e morros dissecados. A Depressão do Médio do Tocantins é um corredor deprimido do vale do Rio Tocantins com variações altimétricas de 200 a 300 metros, apresentando um relevo de dissecação suave (BRASIL, 1981).

Metodologia

Para esta pesquisa foram realizadas consultas bibliográficas relacionadas a temática em questão, bem como também a buscar de arquivos vetoriais e *raster* em sites gratuitos, para auxiliar na composição dos mapas cartográficos.

Os produtos cartográficos foram gerados a partir dos softwares *Arcgis,* versão 10. 5 e *QGIS*, versão 3.14.15, que possibilitaram o tratamento e a organização dos dados para as análises.

A princípio os mapas de declividade, hipsometria e os perfis topográficos foram gerados a partir do modelo digital de elevação do Terreno – MDE (*Shuttle Radar Topographic Mission* - SRTM) com 30 metros de resolução espacial, plataforma Topodata.

O MDE também serviu como base para definição do limite da área de estudo, através do comando, delimitação automática de bacias hidrográficas. Sobrinho et al (2010) destacam que os resultados adquiridos através deste método confirmam valores de áreas compatíveis aos obtidos com base em cartas topográficas. Então, a automatização da delimitação de bacias hidrográficas, por meio de dados do SRTM, em ambiente de SIG, apresenta vantagem em relação ao tempo de processamento, além de estabelecer a padronização do traçado.

Para gerar o mapa de declividade definiu-se os intervalos: menor ou igual a 5%; de 5 a 15%; e maior ou igual a 15%, com base em Ponçano *et al* (1981).

No mapa hipsométrico foram definidas seis classes com intervalos de 80m, sendo estas a menor que 330m, de 330 a 410m, de 410 a 490m; de 490 a 570m, de 570 a 650m e maior que 650m. Na definição desses intervalos buscou-se a confecção de um produto cartográfico (mapa hipsométrico) com maior adequação a representação do relevo da área de estudo.

Já os perfis topográficos foram realizados seguindo-se uma padronização de escalas, obedecendo intervalos de 50m. Os mesmos foram traçados no sentido transversal (dois) e longitudinal (um).

Resultado e Discussão

Os resultados e discussão deste trabalho apresentam análises da hipsometria, declividade e perfis topográfico da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado que fornecem significativas informações sobre o relevo.

4.1 Análise hipsométrica

As características hipsométricas da bacia hidrográfica em questão, bem como a espacialização das mesmas, podem ser observadas na tabela 1 e figura 2. Nestas, podem ser observadas as principais classes de hipsometria que caracterizam de maneira geral á altimetria da área.

TABELA 1

Hipsometria da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado

Classes (m)	Área (km²)	Área (%)
< 330	44,31	7,18
330 – 410	51,66	8,38
410 – 490	65,39	10,61
490 – 570	176,33	28,63
570 – 650	196,31	31,85
> 650	82,29	13,35
Total	**616,29**	**100**

Fonte: Autores, 2020.

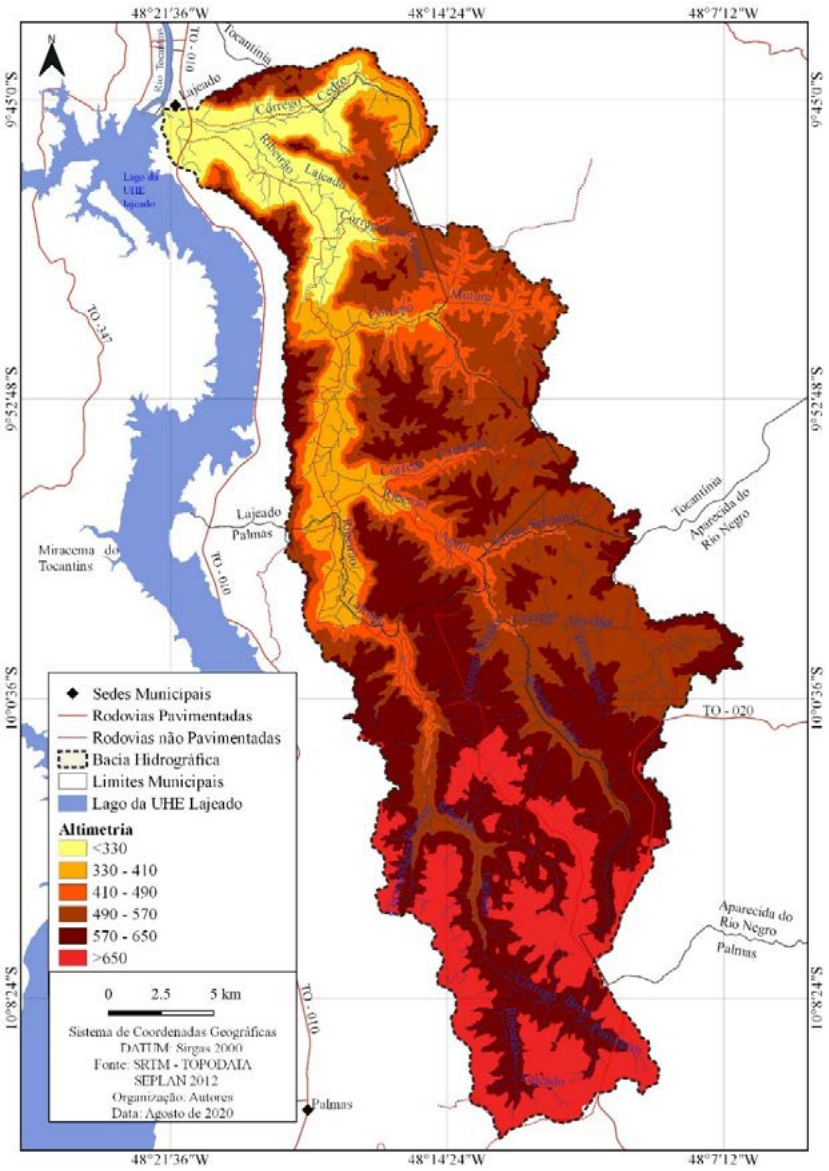


FIGURA 2: Mapa Hipsométrico da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado.
Fonte: Autores 2020

Assim, pode-se observar que a classe < 330m ocupa cerca de 7,18% da área de estudo e encontra-se principalmente no baixo curso da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado.

A classe de 330 a 410m abrange cerca de 8,38% da área de estudo, sendo encontrada principalmente no médio e baixo curso da bacia hidrográfica em questão.

A classe de 410 a 490m ocupa cerca de 10,61% da área de pesquisa e encontra-se principalmente no médio curso da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado.

A classe de 490 a 570m abrange cerca de 28,63% da área de estudo, sendo encontrada principalmente no médio curso da bacia hidrográfica em questão.

A classe de 570 a 650m ocupa cerca de 31,85% da área de pesquisa podendo ser encontrada principalmente no médio curso da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado.

Já a classe > 650m, que representa as maiores altitudes da área de estudo, abrange cerca de 13,35% da mesma, pode ser observada predominantemente no alto curso da bacia hidrográfica em questão.

4.2 Análise da Declividade

As características da declividade na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado estão espacializadas na figura 3, onde observa-se que as declividades <5% são encontradas principalmente no alto e baixo curso da bacia hidrográfica ocupando 33,23% da área.

As declividades entre 5% e 15% encontram-se bem distribuídas, desde o baixo até o alto curso da bacia hidrográfica em questão, ocupando 37,51% da área.

Já as declividades >15% estão concentradas principalmente no médio e baixo curso da bacia hidrográfica, ocupando 29,26% da área.

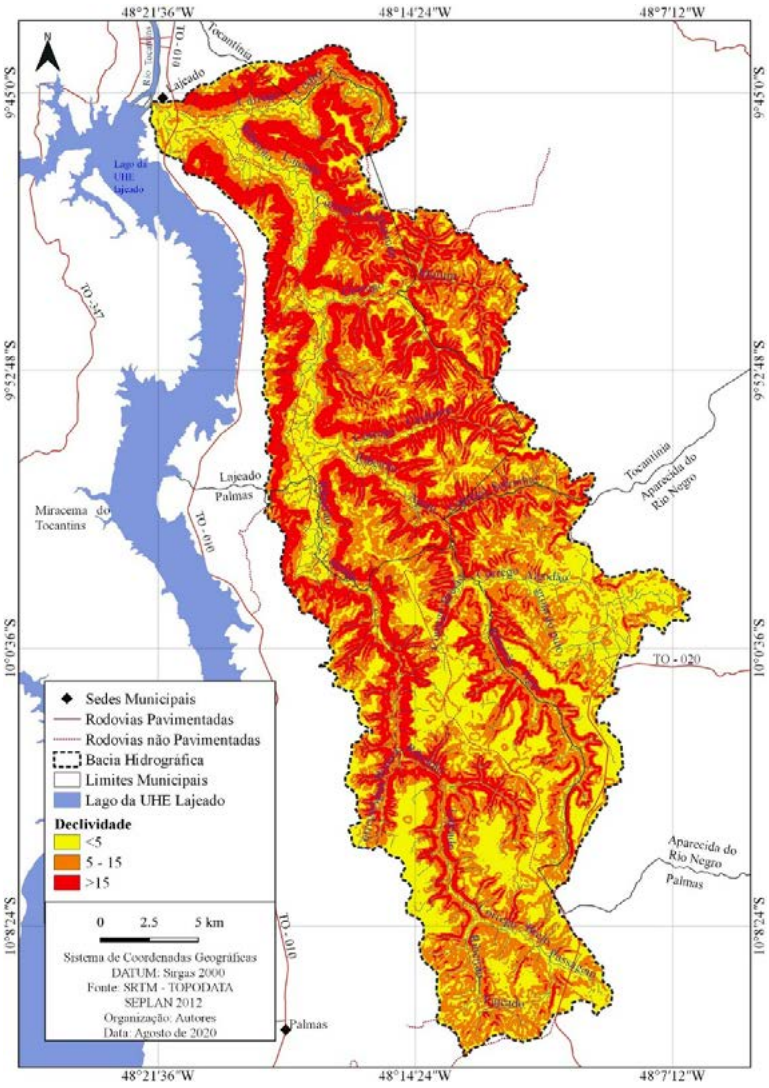


FIGURA 3: Mapa de Declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado.
Fonte: Autores 2020

4.3 Amplitude e Comprimento das encostas

Essas características do relevo, amplitude e comprimento das encostas, podem ser observadas na figura 4 que mostram três perfis topográficos traçados no sentido transversal e longitudinal.

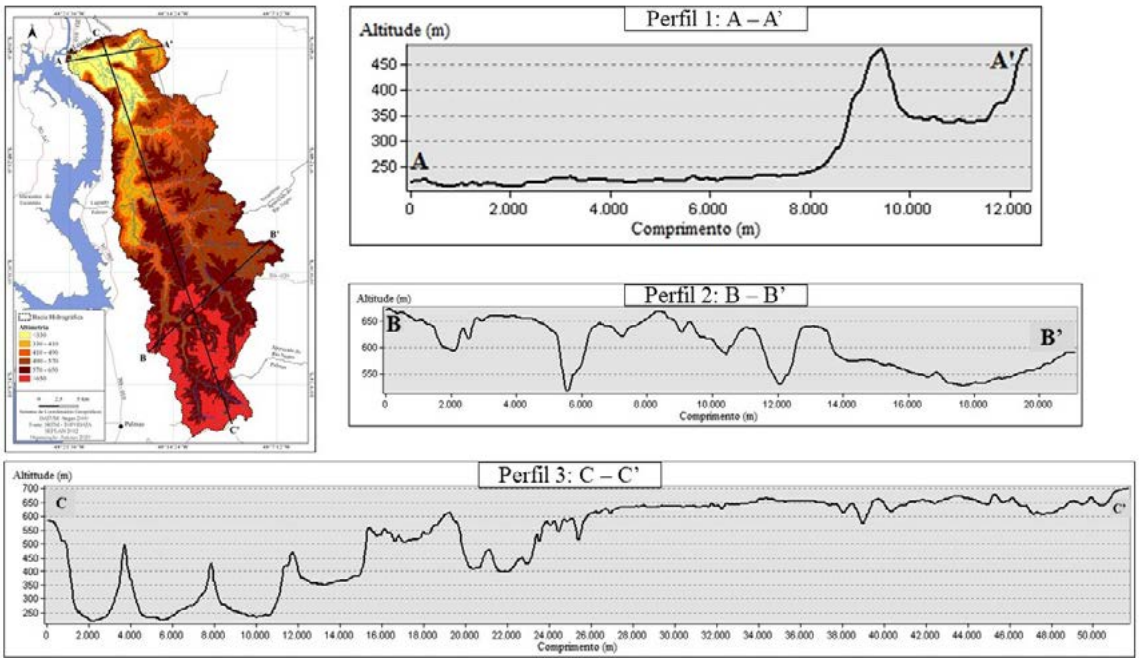


FIGURA 4: Perfis Topográficos da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado.
Fonte: Autores 2020

O perfil 1 mostra uma área próximo a foz da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, onde observa-se o predomínio de áreas planas. Destaca-se também uma considerável amplitude altimétrica no sentido Oeste – Leste, de aproximadamente 310 metros, saindo da foz do Ribeirão com altitude de 190m chegando aos divisores de água com altitude de 500m. As encostas são encontradas junto aos divisores Leste e possuem menor comprimento e maior inclinação.

O perfil 2 mostra uma área no alto curso da bacia hidrográfica em questão, onde observa-se o predomínio de um relevo tabuliforme de topos planos e encostas retilíneas, com vales encaixados. Apresenta amplitude altimétrica de 200m, variando de 500m na porção Leste a 500m na porção Oeste. Porção esta, onde verifica-se encostas de maiores comprimento e menor inclinação.

Já o perfil 3 vai da borda da bacia hidrográfica em questão localizada no alto curso até a outra borda do baixo curso, apresentado uma amplitude altimétrica de 500m, onde no baixo curso tem áreas de 200m de altitude chegando a 700m no seu alto curso. De maneira geral, no alto e médio curso encontram-se relevos tabuliformes com topos planos e encostas retilíneas com poucos vales encaixados, com menores comprimentos e maiores inclinações. De médio ao baixo curso, predominam relevos residuais de topos aguçados, morros e morrotes, onde as encostas apresentam maiores comprimentos e menores inclinações.

Conclusões

Os aspectos do relevo na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado se caracterizam por uma significativa amplitude altimétrica de 525m, variando de 190m no baixo curso da bacia até 715m no seu alto curso. Pelas baixas declividades que se distribuem por toda bacia hidrográfica, onde as classes < 5% e entre 5 e 15%, abrangem 70,74% da área de pesquisa, que podem ser verificadas tanto em área de planície como nos topos planos de relevos tabuliformes.

De maneira geral, no alto e médio curso da bacia hidrográfica, predominam os relevos tabuliformes com topos planos e encostas retilíneas, com poucos vales encaixados. E no médio ao baixo curso, predominam relevos residuais de topos aguçados, morros e morrotes em meio a áreas de planícies.

Ainda foi possível verificar a importância do uso de geotecnologias, como o MDE, que possibilitou gerar produtos cartográficos importantes para caracterização do relevo na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado como os mapas de hipsometria e declividade, além de perfis topográficos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radambrasil**. Folha SC.22 Tocantins, Série Levantamento dos Recursos Naturais. Rio de Janeiro, p. 520, 1981.

CAPUTO, M. V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V. M. M. **Fundação paleontológica proenix**. [online] 2005. Disponível:https://www.researchgate.net/profile/MaRioCaputo2/publication/317551866_Bacia_do_Parnaiba/links/593ee99ea6fdcc1b109c5949/Bacia-doparnaiba.pdf

CASSETI, V. 1994. **Elementos de geomorfologia**. Goiânia: editora da UFG, p.137.

CLEMENTE, M. K. **Uso de dados SRTM para análise do relevo do Parque Nacional de Aparados da Serra/SC-RS.** 2016. 22 f. (Especialização em Análise Ambiental) Programa de pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Paraná. Curitiba, 2016.

CRISTO, S. S. V. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor Leste da Bacia hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis - SC**. 2002. 211 f. (Dissertação de Mestrado) Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.

CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: **Geomorfologia e Meio Ambiente**. GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 372p.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia e planejamento ambiental – conceitos e aplicações. **Revista de Geografia** (Recife) V. 35, N°. 4 (especial XII SINAGEO) 2018.

GUERRA, A. T., GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico - geomorfológico**. Rio de Janeiro: 6° edição Bertrand Brasil, 2008. 652p.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/. Acesso em 10 de agosto de 2020.

LEAL, J. M.; AQUINO, C. M. S.; SILVA, F. J. L. T. Uso do mapa de Declividade e do Modelo Digital de Elevação na análise do relevo do município de São Miguel do Tapuio – Piauí. **REGNE**, Vol. 5, Nº 2, 2019.

LEITE, S. E. F. **Transformações espaciais e conflitos de uso no entorno do Parque Estadual do Lajeado, Palmas – Tocantins**. 2017. 107 f. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação de Geografia, Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional. 2017.

MENEZES, D. J., TRENTIN, R., ROBAINA, L. E. S., SCCOTI, A. A. V. Compartimentação geomorfológica do município de São Pedro do Sul/RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, 40: 268-279, maio, 2013.

NATURATINS – Instituto Natureza do estado do Tocantins. Encarte: 4 APA da Serra do Lajeado. In: **Plano de Manejo do Parque Estadual do Lajeado**, 2003.

PENTEADO, M. Fundamentos de Geomorfologia. 3 Edição, 2 tiragem - Rio de Janeiro: IBGE,1983

PEREIRA, M. D. R., COSTA, J. F., CRISTO, S. S. V. Geoprocessamento aplicado ao estudo de risco de incêndio florestal na Área de Proteção Ambiental Serra do Lajeado – Tocantins. **Revista Interface** [online] n. 14, 2017.

PETSCH, C., ROBAINA, L. E. S., TRENTIN, R., ROSA, K. K., FIGUEIREDO, A. R., SIMÕES, J. C. O uso de métodos de mapeamento automático de relevo para análise de formas glaciais. **Revista Brasileira de Geomorfologia** [online] 21, 2020.

PLUMMER, F. D. Geossinclíneo do Parnaíba. In: **Conselho Nacional de Petróleo**, Rio de Janeiro. Relatório de 1946.

PONÇANO, W. L., CARNEIRO, C. D. R., BISTRICHI, C. A., ALMEIDA, F. F. M.; PRANDINI, F. L. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. P. 94, 1981.

SCCOTI, A. A. V.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Definição das unidades de relevo da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 54, Jun. 2015.

SCHEREN, R. S., ROBAINA, L. E. S. Classificação geomorfométrica da bacia hidrográfica do Rio Ijuí, RS. **Geografia Ensino e Pesquisa** [online] n 23, 2019.

SMALL, H. L. **Geologia e supprimento d'agua subterranea no Piauhy e parte do Ceará**. Rio de Janeiro: Inspectoria de obras contra as Seccas. P.146, 1913.

SOUSA, P.A.B.; BORGES, R.S.T.; DIAS, R.R. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da Gestão Territorial**. Palmas: SEPLAN, P. 80, 2012.

SOUZA, M. J. N. GEOMORFOLOGIA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Revista de Geografia** (Recife) V. 35, N°. 4 (especial XII SINAGEO) 2018.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Determinação de unidades morfolitológicas da bacia do Rio Itu - Oeste do Rio Grande do Sul. **Geosul**, Florianópolis, v. 23, n. 46, p. 163-183, jul./dez. 2008.

VAZ, P. T., RESENDE, N. G. A. M., WANDERLEY FILHO, J. R., TRAVASSOS, W. A. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.253-263, 2007.

VINHA, T. M., NUNES, J. O. R. O uso do mapeamento geomorfológico para fins de zoneamento ambiental urbano na cidade de Álvares Machado. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia e I encontro Íbero Americano de Geomorfologia, III Encontro Latino-Americano de Geomorfologia e I Encontro Ibero Americano do Quaternario., 2010, Recife. **Anais do VIII SINAGEO**, 2010.

UMA ANÁLISE SOBRE OS ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DA CARTA TOPOGRÁFICA DE PETRÓPOLIS NA ESCALA 1:50.000

Raphaela Almeida de Souza
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Av. Athos da Silveira Ramos, 274
Prédio do CCMN, Bloco I, Sala 25
Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, 21941-916
E-mail: raphaela.almeida@ufrj.br
Stephany Emiliane Lopes da Silva
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Av. Athos da Silveira Ramos, 274
Prédio do CCMN, Bloco I, Sala 25
Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, 21941-916
E-mail: ste@ufrj.br
Fernando Oliveira Gomes
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente, 255, Ala Frings, sala 413 –
Gávea, Rio de Janeiro – RJ, 22451-900
E-mail: fernandogomesgeo@gmail.com
Marcelo Motta de Freitas
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente, 255, Ala Frings, sala 413 –
Gávea, Rio de Janeiro – RJ, 22451-900
E-mail: marcelomotta@puc-rio.br

Resumo

O relevo fluminense é compreendido por sua notória diversificação geomorfológica. Essa variedade de aspectos, ligado à sua formação, se deve a um conjunto de eventos tanto tectônicos como climáticos. Na carta topográfica de Petrópolis essas feições geomorfológicas são discutidas pela relação do Horst da Serra do Mar e do *gráben* da Guanabara, onde foram identificados seus compartimentos geomorfológicos: colinas, morros elevados e serras, além das feições relativas às drenagens: orientação e distribuição dos knickpoints e feições erosivas e deposicionais: concavidades e depósitos aluvionares. Os resultados apresentam a marcante atividade erosiva da escarpa serrana da Serra dos órgãos concentrando *knickpoints* e concavidades, associadas à área de espraiamento de sedimentos na baixada fluminense. As drenagens seguem orientações predominantes para NE seguindo a foliação principal das rochas e NW seguindo fraturas e falhas, associadas aos eventos tectônicos formadores da região.

Palavras-chave: Compartimentação Geomorfológica; *Knickpoints*; Concavidades.

1. Introdução

A diversificação da paisagem geomorfológica do estado do Rio de Janeiro deve ser compreendida através de eventos que desenharam sua morfologia atual, a partir da interação de aspectos tectônicos e climáticos. A influência da tectônica na compartimentação do relevo do estado é refletida por registros de notáveis escarpamentos, geralmente com uma considerável elevação, alternados com depressões e bacias tafrogênicas. Tais episódios tectônicos marcantes podem ser compreendidos em três momentos, o primeiro resultando na formação de um orógeno colisional, evento conhecido como orogênese Brasiliana durante o amalgamento do Supercontinente Gondwana entre o fim do Precambriano e início do Paleozoico. Esse evento tectônico atingiu rochas pré-existentes devido ao metamorfismo de alto grau da crosta terrestre, gerando rochas metamórficas orto e paraderivadas, além de expressiva granitogênese, oriunda da fusão parcial da crosta, marcando a paisagem desde então (ALMEIDA *et al.*, 1981; HEILBRON *et al.*, 1995). Esse cinturão orogenético é denominado Faixa Móvel Ribeira (HEILBRON *et al.*, 2000) e está inserido na Província Estrutural da Mantiqueira (ALMEIDA *et al.,* 1981).

A compressão NW-SE da orogênese culminou em um alinhamento estrutural NE-SW da foliação de suas rochas, sendo planos de fraquezas para ações intempéricas e erosivas, definindo muito frequentemente um padrão de drenagem na mesma direção.

O segundo evento está relacionado à abertura do Oceano Atlântico, associada à ruptura do então Supercontinente, iniciado no Jurássico e durando até o Cretáceo, gerando rochas ígneas intrusivas compostas pelo magma básico que chegou à crosta na foram de derrames de basalto e em grande parte preencheu as falhas, com os diabásios. E por fim, houve a reativação tectônica de estruturas antigas do Planalto do Sudeste Brasileiro com pulsos descontínuos na passagem do período do Cretáceo até o Eoceno, o que resultou na implantação do sistema de rifteamento com soerguimento e abatimento de blocos crustais (ASMUS e FERRARI, 1978) nomeada como Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (RICCOMINI, 1989; RICCOMINI *et al.*, 2004). Nesse período ocorreram *hot-spots* com intrusões de complexos alcalinos na crosta terrestre, marcando a paisagem com maciços pontuais no estado do Rio de Janeiro com *trend* WNW-ESE (ALMEIDA, 1986). Numa análise voltada para a estruturação da rede de drenagem dessa área, o padrão NE-SW, resultante da oronogênese brasiliana foi acrescido de direções estruturais de falhas (N-S) e fraturas (NW-SE/NE-SW) da abertura do atlântico e do RCSB, implicando em uma significativa mudança no relevo do estado do Rio de Janeiro e remodelando seus sistemas de drenagem (HARTWIG e RICCOMINI, 2010; SILVA e SANTOS, 2010).

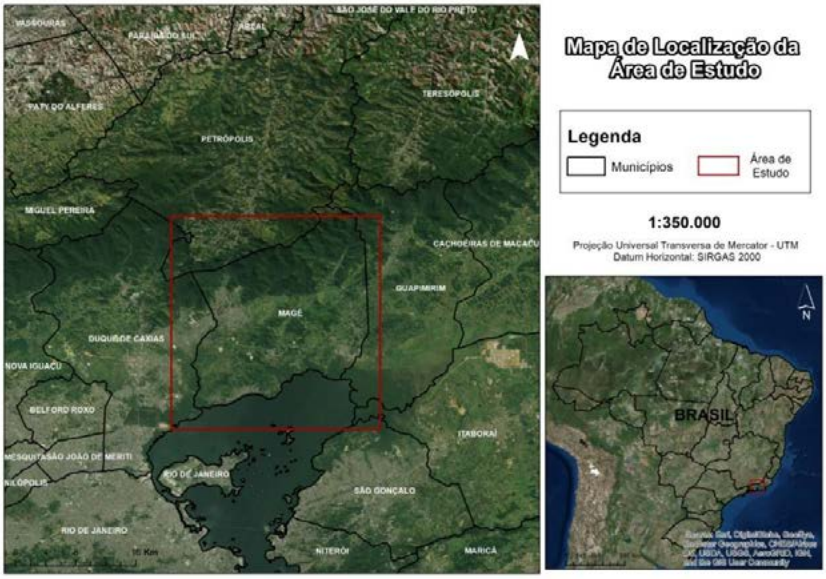
Na porção central da Serra do Mar no Estado do Rio de Janeiro, a história geológica compõe um embasamento cristalino, com migmatitos, gnaisses e granitos e um relevo associado ao conjunto do *horst* da Serra do Mar e do *gráben* da Baía de Guanabara (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998), preenchido por coberturas sedimentares quaternárias e remanescentes eocênicos da Formação Macacu (MEIS e AMADOR, 1977).

Embora os eventos tectônicos tenham sido os principais processos geradores do relevo, é importante ressaltar que foram fundamentais para a esculturação do relevo, a erosão sob distintas condições climáticas (ALVARES *et al.*, 2013; PAES e SILVA, 2017). Portanto, o objetivo do presente trabalho é analisar as feições do relevo e identificar suas unidades geomorfológicas em um trecho dessa frente escarpada da Serra do Mar (nome local Serra dos Órgãos) até a Baía de Guanabara, focalizando em feições da drenagem relativas à orientação dos cursos fluviais e ocorrência de níveis de base locais, além de feições de encostas concentradoras do trabalho erosivo e depósitos sedimentares.

2. Área de Estudo

A área de estudo proposta se localiza no estado do Rio de Janeiro e foi analisada a partir da carta topográfica de Petrópolis do IBGE com escala 1:50.000 (Figura 1). Esta, abrange a Baía de Guanabara e a Baixada Fluminense à sul, com municípios de Duque de Caxias, Magé e Guapimirim, e da Serra dos Órgãos à norte, com parte do município de Petrópolis.

FIGURA 1: Mapa de Localização da Área de estudo (Carta Topográfica de Petrópolis).
Fonte: Elaborado pelos próprios autores.



3. Procedimentos Metodológicos

Os aspectos geomorfológicos presentes neste artigo foram identificados a partir da análise da carta topográfica de Petrópolis do IBGE, escala 1:50.000 (Folha SF-23-Z-B-IV-2). São eles: unidades geomorfológicas, orientação da drenagem, concavidades e *knickpoints*, auxiliando na análise da amplitude do relevo e sua configuração geomorfológica relacionada com os condicionantes estruturais que influenciam no padrão de drenagem. O mapeamento das unidades geomorfológicas foi baseado na classificação de Dantas (2015), além da identificação de planícies de inundação, níveis de base locais (*knickpoints)* e concavidades.

Para a realização do mapeamento das unidades geomorfológicas foi realizada a leitura da amplitude das curvas de nível, definindo, a partir do posicionamento dos diferentes níveis topográficos, os padrões de relevo. Diante disso, foi possível mapear o relevo da carta SF-23-Z-B-IV-2 em cinco classes: planícies de inundação, colinas (10 a 50m), morros baixos (50 a 200m), morros altos (200 a 400m) e relevo serrano (acima de 400m).

A identificação dos alvéolos em cartas topográficas é feita na zona central de alargamento das curvas de nível, limitado entre as primeiras curvas e seguindo a drenagem principal. Enquanto que os níveis de base locais (*knickpoints*) são feições observadas nos locais onde há concentração de curvas de nível que caracterizam um desnível topográfico abrupto e, também, quando as mesmas se aproximam formando um estrangulamento seguido de desnível para jusante.

As concavidades foram identificadas a partir das curvas de nível recuadas em forma de anfiteatros uma vez que, essas feições são determinadas por uma topografia suavemente inclinada em direção ao fundo dos vales.

A orientação da rede de drenagem foi mapeada em forma de lineamentos do ponto de montante a jusante do curso fluvial e desconsiderando os meandros. Posteriormente foi feita a extração das orientações em ambiente SIG, a partir da obtenção dos valores de grau referente ao ângulo de orientação das feições em relação ao norte através da ferramenta *AzimuthFinder* do software *ArcGIS*®. Para se analisar as orientações preferenciais das drenagens da bacia, os resultados mencionados acima foram representados em diagramas de rosetas geradas pelo *software OpenStereo*, considerando a frequência dos lineamentos. As drenagens canalizadas na carta topográfica não foram consideradas no mapeamento.

4. Resultados e Discussões

4.1 Análise das unidades geomorfológicas

A partir da figura 2, podemos perceber que a carta Petrópolis apresenta uma amplitude de relevo bem significativa de 0 metros a 1800 metros. Isso é explicado por conta da escarpa sul da Serra dos Órgãos, representada na porção norte da folha, ser responsável pelos topos mais altos, enquanto que a Baía de Guanabara ocupa sua porção sul, estando totalmente ajustada ao nível do mar (0 metros).

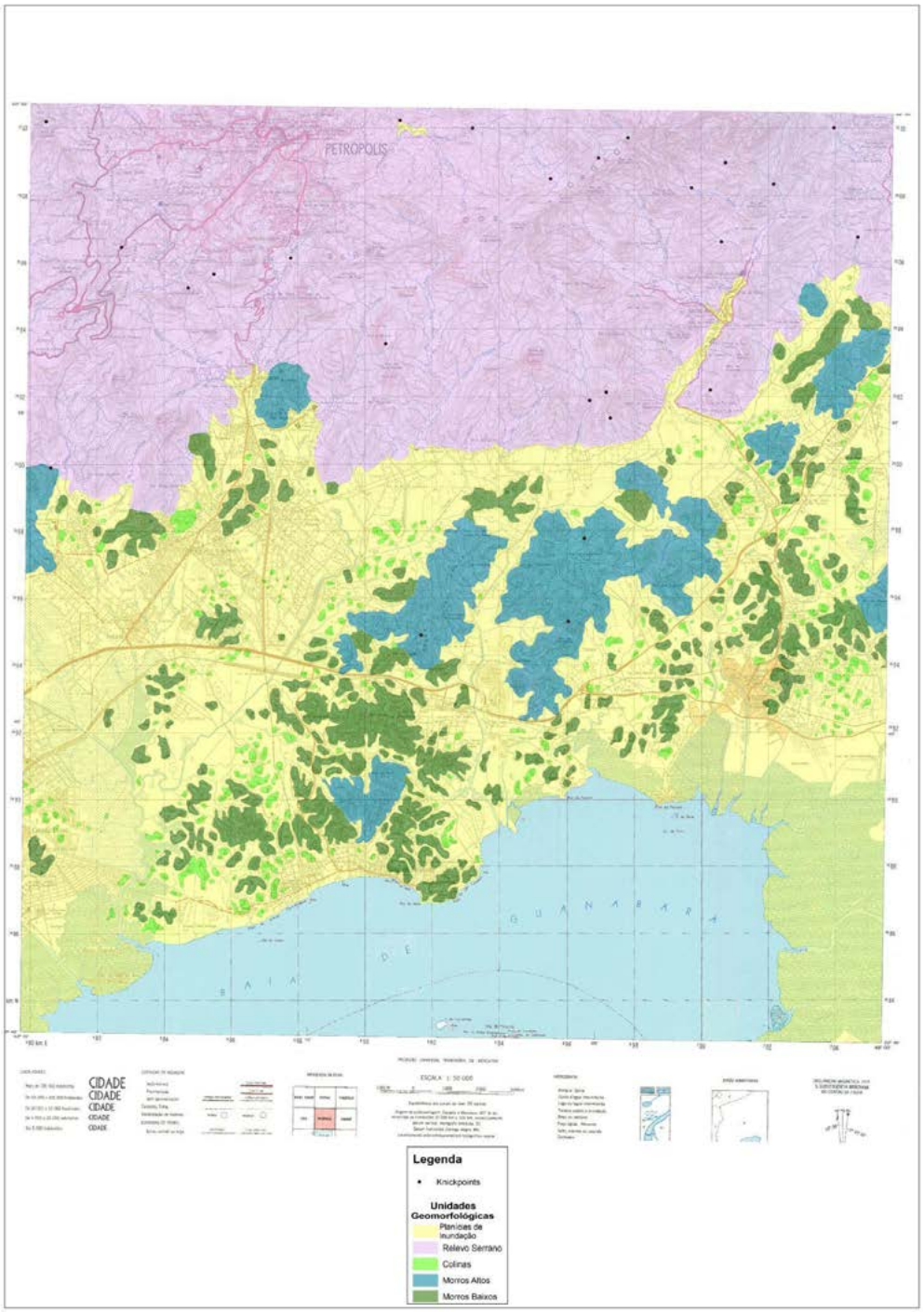


FIGURA 2: Mapeamento das unidades geomorfológicas.
Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

A Serra dos Órgãos apresenta uma escarpa sul contra a baixada fluminense e uma parte de seu reverso, na porção alta da bacia do rio Piabanha, onde a cidade de Petrópolis está situada. Esta serra é uma compartimentação regional da Serra do Mar, fazendo então, parte do grande bloco continental soerguido do Rift Continental do Sudeste Brasileiro, denominado também como *horst* da Serra do Mar (ALMEIDA e CARNEIRO, 1998; ASMUS e FERRARI, 1978) e marcado por escarpas de blocos falhados. Além disso, sua litologia resistente formada por ortognaisses do Complexo Rio Negro e núcleos graníticos do Batólito Serra dos

Órgãos favorece que suas elevações sejam as maiores da região, como a do Pico dos Dois Irmãos (1682m), Pico do Inferno (1756m) e chegando até 1800 metros acerca da nascente do rio Itamarati. Por conta dessa alta elevação, sua unidade de relevo foi classificada como relevo serrano e abrange grande parte da porção norte da carta topográfica.

O Gráben da Guanabara é a depressão tectônica formada pelo bloco abatido por falhas normais no RCSB (RICCOMINI, 1989; RICCOMINI *et al.*, 2004). Nele estão localizadas a Baixada Fluminense e a Baía da Guanabara, responsáveis pelas porções mais rebaixadas do relevo na carta, chegando no nível de base geral do Oceano Atlântico a 0 metros. Essas porções mais aplainadas do relevo foram classificadas como as planícies de inundação uma vez que, esse tipo de feição é identificado no baixo curso das drenagens onde o relevo apresenta pequeno gradiente topográfico e, portanto, condições deposicionais. No entanto, por se tratar de um ambiente abatido, há ainda uma expressiva presença de colinas e de morros baixos com cotas altimétricas que atingem 200 metros de altitude. Algumas dessas colinas de altitude mais baixa e relevo tabular são atribuídas a posições pretéritas de nível do mar, associadas ao fundo deposicional das bacias tafrogênicas locais (AMADOR, 2012). Percebe-se, também, que apenas algumas porções do relevo alcançam a cota altimétrica de 200 a 400 metros, constituídas por alguns topos de morros elevados residuais, entremeados em direção às escarpas da Serra.

4.2 Análise dos *knickpoints*

Os *knickpoints* são níveis de base locais rochosos, definidos como degraus topográficos ao longo do perfil longitudinal de um rio (EIRADO SILVA *et al.*, 1993). Para que eles sejam formados, é preciso que a lito-estrutura do substrato geológico ofereça resistência local e condicione a formação de um degrau no curso fluvial. A partir do momento em que uma determinada região não apresente mais *knickpoints* nos perfis longitudinais de seus rios, significa que sua rede de drenagem já se ajustou ao nível de base regional ou geral e a dissecação do relevo pelas drenagens não encontrem mais essas "barreiras litológicas". Analisando a carta (Figura 2), formam identificados pouquíssimos *knickpoints* na porção do *grabén* da Guanabara, pois a dissecação do seu relevo já se encontra em grande parte ajustada ao nível de base geral do mar, restando alguns níveis de base locais identificados nas drenagens dos morros mais elevados. Em contrapartida, o relevo serrano concentra maior parte dos *knickpoints* da carta e com as maiores amplitudes altimétricas. Isso evidencia a grande atividade erosiva das drenagens neste trecho serrano, configurando-se uma unidade geomorfológica com grandes possibilidades de desenvolver capturas fluviais e outros processos evolutivos de sua rede de drenagem em direção às porções mais elevadas da Serra que drenam para a bacia vizinha do Rio Piabanha em nível de base mais elevado. Isso porque consideramos que em um processo evolutivo de tempo mais longo, as resistências litoestruturais dos níveis de base locais vêm regredindo em decorrência do recuo erosivo do escarpamento dessa serra em busca da estabilização ao nível de base do mar em detrimento à dinâmica evolutiva da vertente norte no reverso da serra onde o as cabeceiras de drenagem recuam ajustadas respondendo ao nível de base do rio Piabanha em altitude maior. Ressalta-se ainda a necessidade de avançar em trabalhos voltados à caracterização dos *knickpoints* e capturas fluviais nas áreas de cabeceiras para um melhor entendimento acerca da evolução geomorfológica da Serra dos Órgãos.

4.3 Análise da orientação de drenagem

A rede de drenagem da carta é condicionada predominantemente pelo controle estrutural de NW-SE, apresentando, em sua maioria, cursos fluviais de orientações N60W (Figura 3). Esses cursos correspondem em grande parte às cabeceiras de drenagens e tributários dos rios principais, que nascem e se desenvolvem no relevo serrano, distribuídos na porção norte da área de estudo. O controle NW-SE é resultado das estruturas rúpteis

das fraturas de formação atrelada ao tectonismo Cenozóico (RICOMINNI *et al.*, 2004). Outro importante alinhamento encontrado na área de estudo que é condicionante para o desenvolvimento das drenagens é a NE-SW. Analisando a roseta de orientação, destaca-se a relevância de drenagens de orientação N40-50E. Essa direção está relacionada ao alinhamento dos minerais das rochas pré-cambrianas, formadas na orogênese brasiliana (HEILBRON *et al.*, 1995). Essa estrutura formará parte dos cursos principais, como os rios da Taquara, Caioba Mirim, Piabetá, do Ouro, Suruí, Roncador e os córregos Itacolomi e do Sertão, além dos vales mais expressivos da carta. Alguns afluentes também são condicionados pela orientação NE e isso marcará também os principais planos de fraqueza da dissecação do relevo serrano frente ao pulso erosivo do nível de base geral do Oceano Atlântico. Com um moderado predomínio das orientações de drenagens, a direção E-W condiciona a mudança de algumas porções dos rios principais e direciona poucos afluentes da carta. O controle estrutural N-S das falhas normais e fraturas do processo de rifteamento (RICOMINNI, 1989) condicionaram com menos expressividade a direção de algumas drenagens de cabeceiras e afluentes na área de estudo.

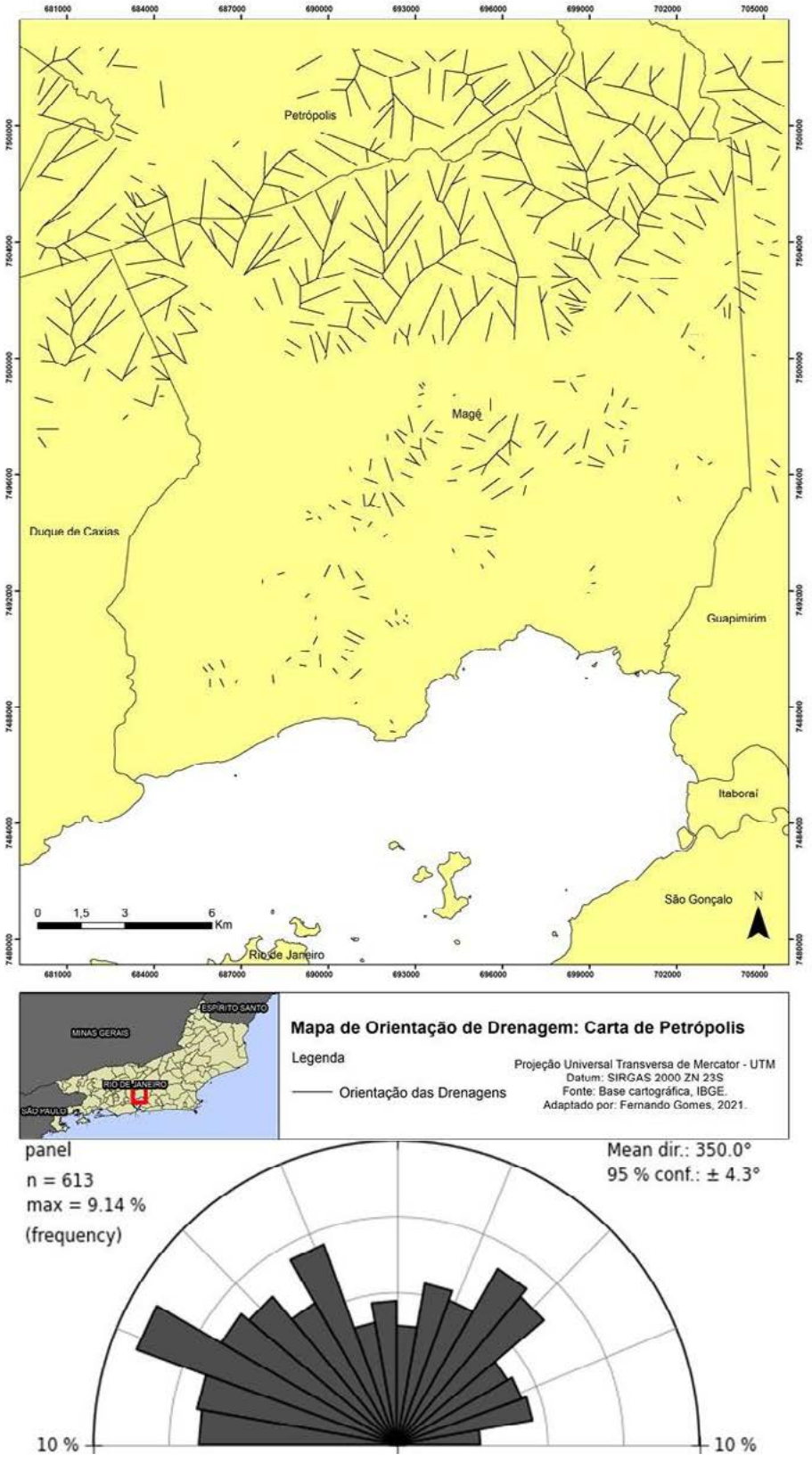


Figura 3: Mapa e roseta de orientação de drenagem da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

4.4 Análise das concavidades

Na Figura 4, pôde-se verificar as concavidades do relevo as quais estão associadas às cabeceiras de drenagem, mais visivelmente, na parte serrana da carta. Essas feições possuem morfologia e evolução de encostas de cabeceira de drenagem em forma de anfiteatros e, podem conter uma ou mais concavidades menores que convergem e alimentam a concavidade principal (COELHO NETTO, 2003). Nesse sentido, o mapeamento das formas côncavas das cabeceiras de drenagens colaboram na identificação de feições erosivas que, provavelmente, podem ainda estarem ativas. As concavidades mapeadas, são mais alongadas devido à morfologia do relevo serrano e, possivelmente, retrabalham os sedimentos menos selecionados e em maior quantidade. Já as feições identificadas no relevo de morros e colinas são concavidades menores que, geralmente, convergem sedimentos coluviais em quantidades residuais.

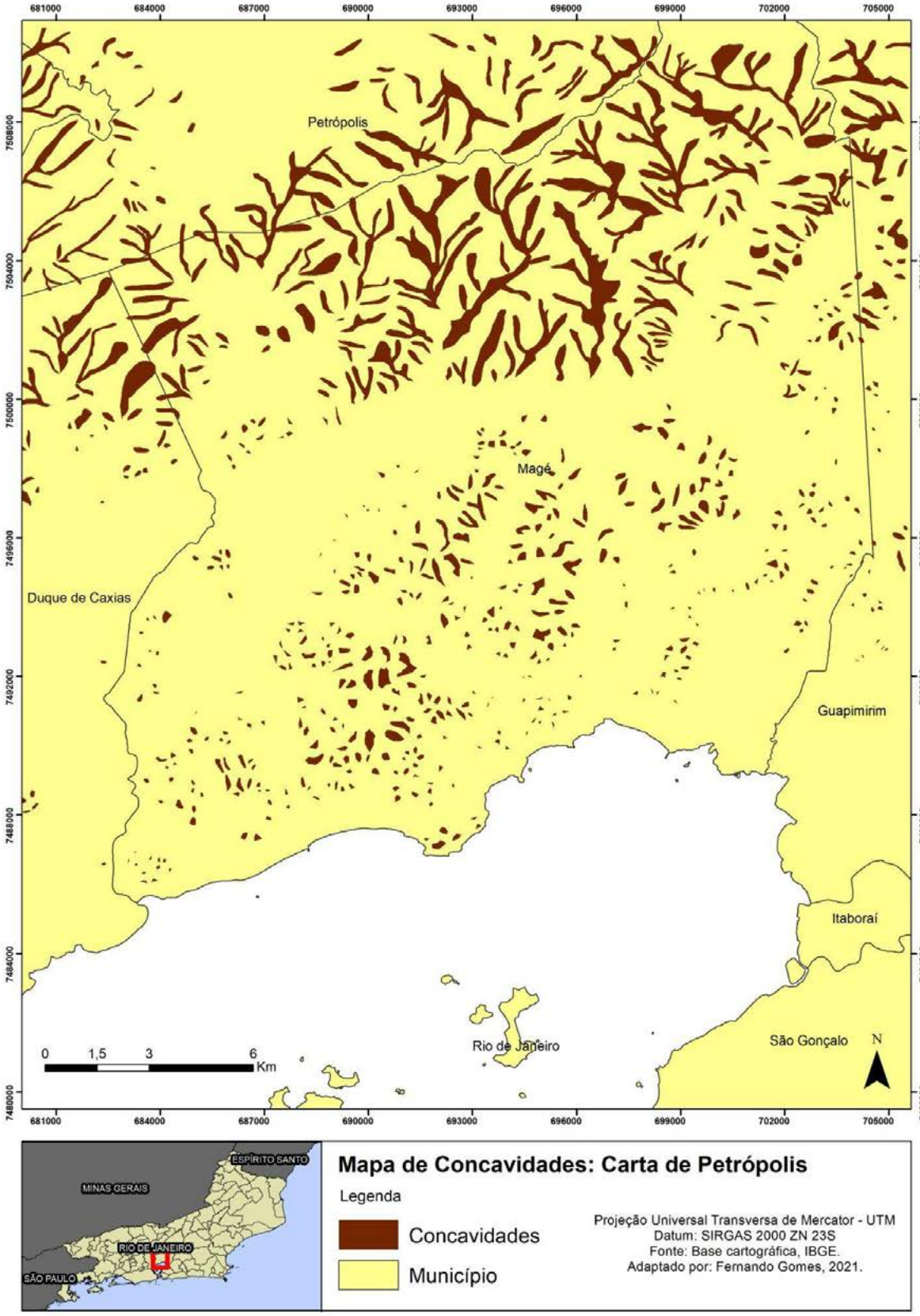


Figura 4: Mapa de concavidades da área de estudo.
Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

5. Considerações Finais

A caracterização feita dos aspectos geomorfológicos da carta topográfica de Petrópolis mostra que o relevo serrano da porção norte se encontra numa dinâmica evolutiva em fase de estabilidade por apresentar grandes amplitudes altimétricas e com presença de muitos *knickpoints* em relação à porção sul, encontrando-se muito condicionado à estruturas oriundas de eventos tectônicos pretéritos, como a orogênese brasiliana no précambriano e a abertura do oceano Atlântico no Cenozoico. Por situar-se em um bloco tectonicamente abatido, essa porção sul apresenta um relevo mais denundado e ajustado ao nível de base geral do mar, não demonstrando um potencial erosivo tão agressivo quanto o primeiro. Essa configuração espacial presente na área de estudo é resultado da evolução do relevo e seus processos geomorfológicos sobre um substrato rochoso diversificado, oriundo de diversos eventos tectônicos em plena fase de denundação pelos processos exogenéticos, tendo o nível de base geral do mar ordenando o avanço das cabeceiras de drenagem em direção aos divisores com as bacias de drenagem no reverso da Serra.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPQ, pela concessão de bolsas de pesquisa, ao Grupo de Pesquisa MorfoTEKTOS PUC-Rio e ao Programa de Pós-graduação em Geografia da UFRJ.

Referências

ALMEIDA, F. F. M. *et al.* **Brazilian structural provinces: An introduction**. Earth-Science Reviews, v. 17, n. 1–2, p. 1–29, 1981.

ALMEIDA, F. F. **Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-Paleozóico no Brasil**. Revista Brasileira de Geociências, v. 16, n.4, p. 423-428, 1986.

ALMEIDA, F. F. M. D.; CARNEIRO, C. D. R. **Origem e evolução da Serra do Mar**. Revista Brasileira de Geociências, v. 28, n. 2, p. 135–150, 1998.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G**. Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2014. Disponível em: <www.lerf.eco.br/img/ publicacoes/ Alvares_etal_2014.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2020.

AMADOR, E. S. **Bacia de Guanabara: características geoambientais, formação e ecossistemas**. Rio de Janeiro: Interciência. p. 47. 2012.

ASMUS, H. E.; FERRARI, A. L. **Hipótese sobre a causa do tectonismo Cenozóico na região sudeste do Brasil. Hipótese sobre a causa do Tectonismo Cenozóico na Região Sudeste do Brasil**. In: Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste Brasileira. Série Projeto REMAC, 4: 75–88, 1978.

COELHO NETTO, A. L. **Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 4, N°2. p. 69-100. 2003.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA. Secretaria de Agricultura Familiar – SAF. Departamento de Assistência Técnica e Extensão Rural – DATER. **Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural.** Brasília: MDA/SAF/ DATER, 2004.

DANTAS, M. E. Biblioteca de Padrões de Relevo. In: **Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação.**CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2015.

EIRADO SILVA, L. G.; DANTAS, M. E. & COELHO NETTO,A.L. **Condicionantes lito-estruturais na formação de níveis de base locais ("knickpoints") e implicações geomorfológicas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul**. In: III Simpósio de Geologia do Sudeste - Rio de Janeiro/RJ - Atas, p. 96-102. 1993.

HARTWIG, M. E.; RICCOMINI, C. **Análise morfotectônica da região da Serra dos Órgãos, sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 11, n. 1, p. 11-20, 2010.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M.; VALLADARES & C.S.; MACHADO, N. **A orogênese brasiliana no segmento central da faixa Ribeira, Brasil**. Revista Brasileira de Geociências, 25(4): 249-266. 1995.

HEILBRON, M. *et al.* **From collision to extension: The roots of the South eastern continental margin of Brazil**. In: MOHRIAK, W.; TAIWANI, M. (Eds.). GeophysicalMonograph Series. Washington, D. C.: American Geophysical Union, v. 115, p. 1–32, 2000.

PAES, T. V.; SILVA, T. M. A. **Indicadores geomorfológicos de controles litológicos e/ou Estruturais - bacia do rio Guapi-Açu, Cachoeiras de Macacu (RJ)**. Revista de Geografia – PPGEO - UFJF. v.7, n.2, p.107-123. 2017.

MEIS, M. R. M; AMADOR, E. S. **Contribuição ao estudo do neocenozoico da baixada da Guanabara: Formação Macacu**. Revista Brasileira de Geociências**,** v.7, n.2, p. 150-174, 1977.

RICCOMINI C. O **Rift Continental do Sudeste do Brasil.** 1989. 256 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 1989.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L**. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil**. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R; BRITO NEVES, B. B. (Org.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, p. 383-405. 2004.VALERIANO, C. M. Geologia e Recursos Minerais da folha Baía de Guanabara SF.23-Z-B-IV, estado do Rio de Janeiro, escala 1:100.000. Cláudio de Morisson Valeriano [*et al.*]; organizador Luiz Carlos da Silva – Belo Horizonte: CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2012.

SILVA, T. M.; SANTOS, B. P. **Sistemas de Drenagem e Evolução da Paisagem**. Revista Geogr. Acadêmica.v. 4, n. 1, p. 5-19. 2010.

UMA VISÃO DO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO NO BRASIL A PARTIR DA REVISTA BRASILEIRA DE GEOMORFOLOGIA

Raphaela Almeida de Souza
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Av. Athos da Silveira Ramos, 274
Prédio do CCMN, Bloco I, Sala 25
Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, 21941-916
E-mail: raphaela.almeida@ufrj.br
Ana Carolinna Ferreira Godoy
Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ
Rua São Francisco Xavier, 524
Pavilhão João Lyra Filho, 4º andar, Bloco B, Sala 4017
Rio de Janeiro - RJ - CEP 20550-900
E-mail: ana.carolgodoy@hotmail.com
Andre Souza Pelech
Diretoria de Geociências, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Av. República do Chile, 500
Centro, Rio de Janeiro - RJ, 20031-170
E-mail: andre.pelech@ibge.gov.br
Rosangela Garrido Machado Botelho
Diretoria de Geociências, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Av. República do Chile, 500
Centro, Rio de Janeiro - RJ, 20031-170
E-mail: rosangela.botelho@ibge.gov.br

Resumo

O trabalho apresenta um panorama da produção de mapeamentos geomorfológicos no Brasil a partir da Revista Brasileira de Geomorfologia a fim de subsidiar discussões metodológicas acerca da criação do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo. Foi feito um levantamento em 52 edições da RBG para a caracterização dos artigos que apresentassem mapas geomorfológicos. As informações levantadas referem-se à macrorregião na qual está inserida a instituição do autor principal, fonte do mapa, metodologia utilizada e subárea da geomorfologia contemplada. Foi feita uma análise sobre a utilização das metodologias de mapeamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e do Projeto RADAMBRASIL. Os resultados mostram que houve um crescimento da utilização de mapas geomorfológicos ao longo dos anos, com destaque para a região Sudeste. A maioria dos mapas foram identificados como de elaboração própria, adaptados de metodologias pouco notórias e relacionados à subárea Geomorfologia Continental.

Palavras-chave: Mapeamento Geomorfológico, metodologia de mapeamento, Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo.

1. Introdução

A forma do relevo é o resultado da interação das forças geodinâmicas endógenas e exógenas que agem na esculturação da superfície terrestre de modo complexo ao longo do tempo. A ciência geomorfológica estuda a dinâmica dos processos erosivos e deposicionais atuantes na superfície, relacionando-os com a interação dos fenômenos climáticos e geológicos na paisagem. Em grande parte dos trabalhos dessa área do conhecimento, os modelados terrestres são representados graficamente através de mapas geomorfológicos para auxiliar no entendimento das formas e processos das paisagens e seus compartimentos de relevo. Com isso, o mapeamento geomorfológico é uma técnica presente nos trabalhos científicos que pretendem representar a superfície terrestre. Alguns exemplos de metodologias de mapeamento geomorfológico bastante utilizadas nas últimas décadas e produzidas por instituições governamentais são a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009; 2019) e a do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006). Pelech et al. (2019), ao debaterem diferentes metodologias de mapeamento geomorfológico do território brasileiro, demonstram que estas possuem forte influência da estrutura taxonômica do Projeto RADAMBRASIL, posteriormente incorporado ao IBGE.

Com o desenvolvimento das técnicas de geoprocessamento, notadamente a partir do século XXI, os mapeamentos geomorfológicos no Brasil passam a ser elaborados com maior facilidade no meio científico e acadêmico, porém sem uma padronização, o que dificulta a comparação entre mapas realizados por autores distintos, ainda que na mesma escala. Entretanto, a demanda da sociedade científica por uma padronização da representação do relevo no Brasil é crescente e esse processo vem sendo realizado a partir da proposta de construção do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (BOTELHO; PELECH, 2019, IBGE, 2020).

De acordo com Botelho e Pelech (2019), a multiplicidade de metodologias de elaboração de mapas geomorfológicos existentes hoje no país e a diversidade de número e tipos de variáveis consideradas nos mapas e de suas legendas são imensas. Essa pulverização de métodos, parâmetros e legendas impede, por exemplo, a comparação entre diferentes áreas e a junção de mapas de áreas contíguas. Legendas padronizadas em distintas escalas cartográficas e categorias de mapeamento (fluvial, costeira, estrutural...) em âmbito nacional ainda é um desafio e carece de uma oficialização para viabilizar e incentivar sua adoção pela sociedade científica.

Atualmente, existem duas grandes classificações de relevo multiescalares, ambas evoluídas e adaptadas a partir da metodologia do Projeto RADAMBRASIL, e que têm sido aplicadas em diversas partes do território nacional: a do IBGE (2009) e a de Ross (1985; 1992). Botelho e Pelech (2019) apontam que a primeira, apesar de sua reconhecida e difundida estrutura taxonômica, possui alguns aspectos complexos que podem dificultar a compreensão por públicos não especializados, principalmente no que se refere à legenda codificada, não sendo adequadamente utilizada pela sociedade científica. A segunda, por sua vez, modifica alguns aspectos em relação ao entendimento dos níveis hierárquicos e seus significados, sendo de mais fácil leitura. Porém sua utilização pelo especialista é ainda mais reduzida que a do IBGE. Acredita-se que a não adoção de uma metodologia específica se deva ao fato desta não ser construída a partir de fóruns de discussão e organizações da sociedade científica e nem sob a chancela de um órgão competente, governamental ou não (BOTELHO; PELECH, 2019).

O IBGE reconhecendo e assumindo seu papel de órgão responsável pelos mapeamentos sistemáticos dos recursos naturais do país propôs a criação de um Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo, defendendo a importância e urgência do sistema e reconhecendo a necessidade da participação da sociedade científica especializada nesse processo. Diante disso, o IBGE sediou o 1º. Workshop

do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (SBCR), reunindo geomorfólogos e especialistas da área, a fim de debater e definir as diretrizes para construção desse Sistema (IBGE, 2020).

A presente pesquisa pretende contribuir com as discussões e validação da construção do SBCR, na medida em que se propõe a apresentar um panorama da produção de mapeamentos geomorfológicos no Brasil, com base nas edições da Revista Brasileira de Geomorfologia (RBG), e fundamentar a aparente falta de um método padrão na elaboração dos mapeamentos geomorfológicos no país.

2. Metodologia

A Revista Brasileira de Geomorfologia (RBG), editada pela União Brasileira de Geomorfologia (UGB) é uma publicação trimestral que tem como foco pesquisas, análises e aplicações de conhecimentos relativos ao relevo. A escolha deste periódico para a realização deste trabalho deve-se ao fato de ser este o único periódico nacional especializado nesta área do conhecimento. Além disso, o periódico apresenta conceito A pela Qualicapes e completou 20 anos de publicação em 2020. Os artigos analisados foram desde os publicados no primeiro número do volume n.1 (janeiro/dezembro) até os publicados no número 3 (junho/setembro) do volume 20, abrangendo um recorte temporal de 2000 a 2019 e contemplando 52 edições da revista. As notas técnicas foram consideradas.

Foram considerados todos os mapas e mapeamentos que apresentassem informações de espacialização dos fenômenos geomorfológicos possíveis de fazer inferências e associações à gênese das formas de relevo e as relações com a estrutura e os processos evolutivos.

Como guia para o levantamento, foram elaboradas perguntas norteadoras, que possibilitaram a extração das informações dos artigos voltados para mapeamento geomorfológico, tanto aqueles que apresentam uma proposta de mapeamento inédita, como aqueles artigos que utilizam algum mapeamento pré-existente na literatura. A presença do produto do mapeamento (mapa) no artigo na forma de figura foi facultativa. As perguntas norteadoras do levantamento foram:

- Qual a evolução da produção de artigos contemplando mapa ou mapeamento geomorfológico ao longo dos anos?
- Qual a distribuição espacial dessa produção no território brasileiro?
- Qual a fonte dos mapas ou mapeamentos geomorfológicos apresentados no artigo?
- Os mapas apresentados são adaptações de outros mapeamentos geomorfológicos?
- Em qual subárea da geomorfologia o mapeamento se enquadra?
- Os artigos citam produções de mapeamento geomorfológico do IBGE (ou RADAMBRASIL)?
- A partir dessas perguntas, buscou-se:
- analisar a evolução temporal e espacial da produção de mapas e mapeamentos geomorfológicos;
- identificar as fontes de mapeamento mais utilizadas;

- identificar as metodologias mais comumente adaptadas;

- verificar quais subáreas da geomorfologia apresentam maior produção de mapeamento geomorfológico; e

- avaliar a utilização dos mapeamentos do IBGE ou RADAMBRASIL pela comunidade científica;

Para análise temporal da produção de artigos de 2000 a 2019, optou-se por dividir esse período em três conjuntos relativamente equilibrados em número de anos e de artigos totais publicados. Assim, os oito primeiros anos compõem o primeiro intervalo temporal, visto que os primeiros volumes da revista apresentam menor quantidade de números publicados em relação aos volumes mais recentes. Os intervalos temporais de 2008-2013 e 2014-2019 são compostos por seis volumes cada.

Para analisar a distribuição espacial da produção de artigos dentro do período definido nesse trabalho, foram consideradas como unidades de análise as cinco macrorregiões do Brasil: Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul. A referência espacial da produção do artigo foi definida por meio da localização da instituição do autor principal.

As fontes dos mapas geomorfológicos foram identificadas através da referência de autoria, mencionada como citação na figura ou ao longo do texto. Com isso, duas categorias foram definidas: mapas que apresentam fonte na forma de citação diferente da autoria do artigo; e mapas de elaboração própria, quando o autor do artigo é também o autor do mapa e da sua metodologia. As produções sem informação de fonte foram consideradas também como de elaboração própria.

A pergunta “os mapas apresentados são adaptações de outros mapeamentos geomorfológicos?” busca orientar o levantamento das principais fontes de mapeamentos geomorfológicos que constituem base metodológica dos mapas existentes na Revista. Para tal levantamento, consideraram-se apenas os artigos que apresentaram mapas ou mapeamentos geomorfológicos realizados a partir de modificações/adaptações de metodologias de mapeamentos geomorfológicos pré-existentes e que tenham informado sobre tal adaptação na fonte do mapa ou no texto. A partir disso, contabilizou-se o número de artigos em que as fontes dos mapas/mapeamentos eram informadas como: “adaptado de” ou “modificado de”. Essas fontes das metodologias quando citadas em até dois artigos compuseram a categoria “outros”, devido a sua pouca utilização como base metodológica para elaboração de mapas comparada a outras fontes de maior recorrência.

As subáreas da geomorfologia adotadas correspondem aos grupos de trabalhos apresentados no site da União da Geomorfologia Brasileira (2021). Porém, quando o artigo definia uma subárea em suas palavras-chaves ou ao longo do resumo e/ou no título, esta foi considerada como categoria de subárea na pesquisa.

A pergunta “Os artigos citam produções de mapeamento geomorfológico do IBGE (ou RADAMBRASIL)?” busca avaliar a participação da informação geomorfológica do IBGE e do Projeto RADAMBRASIL na produção nacional de mapas de relevo, tendo em vista seu papel como órgão oficial responsável pelo mapeamento sistemático do território brasileiro.

Posteriormente, foram gerados tabelas e gráficos no software Microsoft Excel, a fim de possibilitar algumas estatísticas básicas e evidenciar os resultados alcançados no levantamento.

3. Resultados e Discussões

3.1 Análise temporal

A Revista Brasileira de Geomorfologia publicou ao todo 542 artigos em 20 anos, sendo que 34% apresentaram algum mapeamento geomorfológico, totalizando 182 artigos. Destes, numa análise temporal, entre 2000 e 2007 foram produzidos 25 artigos; entre 2008 e 2013 foram produzidos 55 artigos; e entre 2014 e 2019 foram 102 artigos. O crescimento do número absoluto de artigos envolvendo mapas e mapeamentos geomorfológicos ao longo dos anos também tem relação com o próprio aumento da quantidade de artigos em cada número da Revista e também pelo aumento da quantidade de volumes das edições, principalmente a partir de 2012, passando de publicações com periodicidade semestral para trimestral. Um exemplo comparativo sobre o aumento da quantidade de artigos por número de edição é no ano de 2001, com seis artigos, enquanto as edições de 2019 apresentaram uma média de 13 artigos.

3.2 Distribuição espacial

Considerando as análises espaciais, verificou-se que o Sudeste é responsável por 54% das produções presentes na RBG, totalizando 98 artigos contendo algum mapeamento geomorfológico, seguida pela região Sul, com 20% (37 artigos), Nordeste, com 13% (23 artigos), Centro-Oeste, com 9% (17 artigos) e Norte, com 4% (7 artigos).

3.3 Análise das fontes dos mapas

No que se refere à fonte dos mapas, 114 ou 63% dos artigos apresentam mapas de elaboração própria (metodologia própria), e diferentes entre si, contrapondo 68 ou 37% que apresentam outras fontes (mapas baseados em metodologias pré-existentes). Esses resultados revelam alta diversidade de referências na elaboração dos mapas presentes nos artigos, devido aos diferentes métodos de representação do relevo. O maior desenvolvimento de ferramentas e técnicas de geoprocessamento, notadamente a partir do início do século XXI, também pode reforçar a elevada quantidade de mapas geomorfológicos frutos de elaboração própria.

3.4 Análise das principais fontes que foram adaptadas para elaboração dos mapeamentos geomorfológicos

A análise revelou que 76 artigos do total de 182 artigos apresentam adaptação de alguma metodologia pré-existente de mapeamento geomorfológico. Desses 76 artigos, 37% apresentam mapeamento adaptado de metodologias com pouca utilização, classificados na categoria “outros”. Por outro lado, as fontes/metodologias mais utilizadas nas adaptações para elaboração de mapeamentos geomorfológicos são as do IBGE e RADAMBRASIL, somando 29%. A metodologia de Ross (1985; 1992), adaptada do Projeto RADAMBRASIL, aparece na adaptação dos mapeamentos de 25% dos artigos. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) é fonte em 5% dos artigos com metodologia de mapeamento adaptada e, por último, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), que desenvolveu o mapa geomorfológico do estado de São Paulo em escala 1:1.000.000 (IPT, 1981), foi citado como fonte adaptada por três (4%) dos artigos (Figura 1).

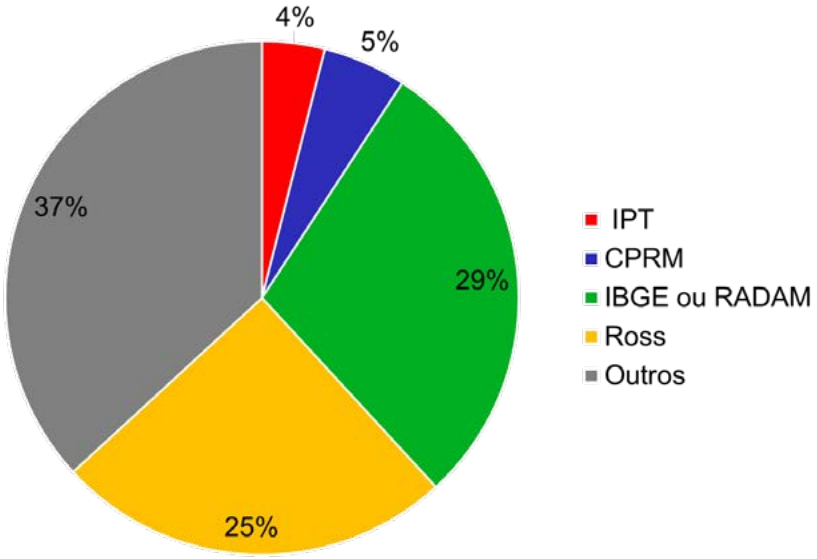


Figura 1: Participação relativa (em%) das fontes das metodologias adaptadas dos mapas/mapeamentos geomorfológicos nos artigos da RBG entre 2000 e 2019.
Fonte: Elaborado pelos autores.

3.5 Subáreas da geomorfologia

Analisando as subáreas da geomorfologia nas quais se enquadram os mapas ou mapeamentos geomorfológicos presentes nos artigos, foram identificadas 10 subáreas. Dentre elas, destaca-se a Geomorfologia Continental, que abarca mais da metade das produções, ou seja, 97 artigos. Vale ressaltar que os artigos que não apresentavam mapa geomorfológico de uma temática específica foram associados à geomorfologia de forma geral e inseridos na categoria Geomorfologia Continental. A subárea Geomorfologia Fluvial e Lacustre aparece como a segunda com maior produção, com 38 artigos. O número de artigos com mapeamento geomorfológico e seu enquadramento por Subárea da Geomorfologia pode ser verificado no gráfico da Figura 2.

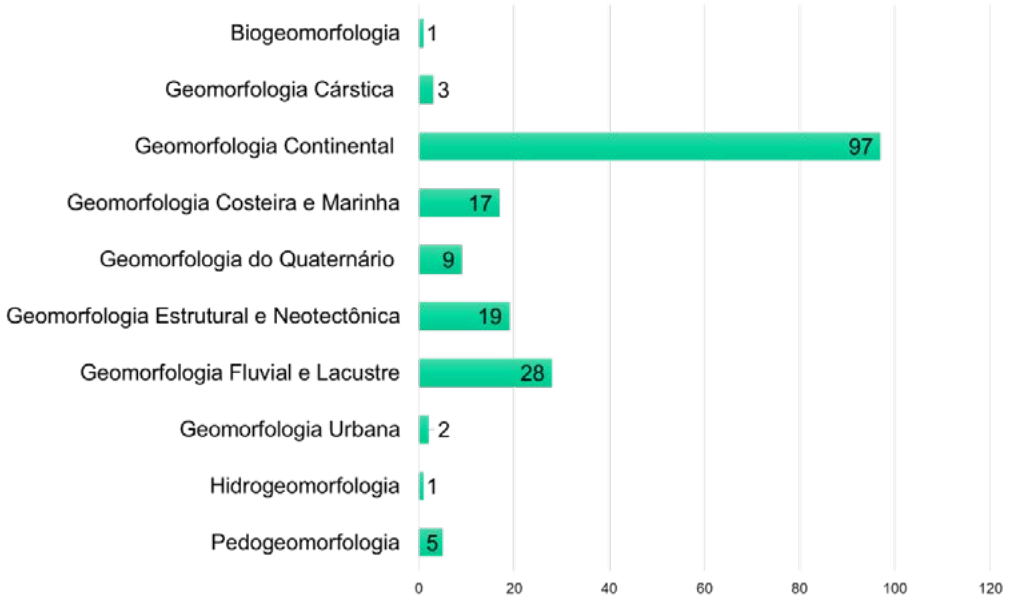


Figura 2: Número de artigos da RBG que apresentam mapeamento geomorfológico por Subárea da Geomorfologia entre 2000 e 2019.
Fonte: Elaborado pelos autores.

3.6 Participação dos mapeamentos geomorfológicos do IBGE/RADAMBRASIL

No levantamento feito para avaliar a utilização dos mapeamentos e métodos geomorfológicos do IBGE ou RADAMBRASIL, verificou-se que 92 artigos citaram alguma de suas produções. Em recorte temporal, percebe-se que houve um crescimento no número absoluto de artigos que utilizaram as publicações sobre mapeamento geomorfológico do IBGE. Mas, em termos relativos, esse número se mantém equilibrado ao longo dos 20 anos, correspondendo em torno de 50% das produções levantadas nessa pesquisa (Figura 3). Entre 2000 e 2007, 12 artigos utilizaram os mapeamentos do IBGE ou RADAMBRASIL; entre 2008 e 2013 foram 27 artigos; e entre 2014 e 2019 foram 53 artigos. Este último período corresponde a pouco mais da metade do total de artigos levantados nessa pesquisa. Com isso, percebe-se a relevância do trabalho de levantamento geomorfológico sistemático do território nacional feito pelo IBGE, em função da sua utilização pela comunidade científica e acadêmica.

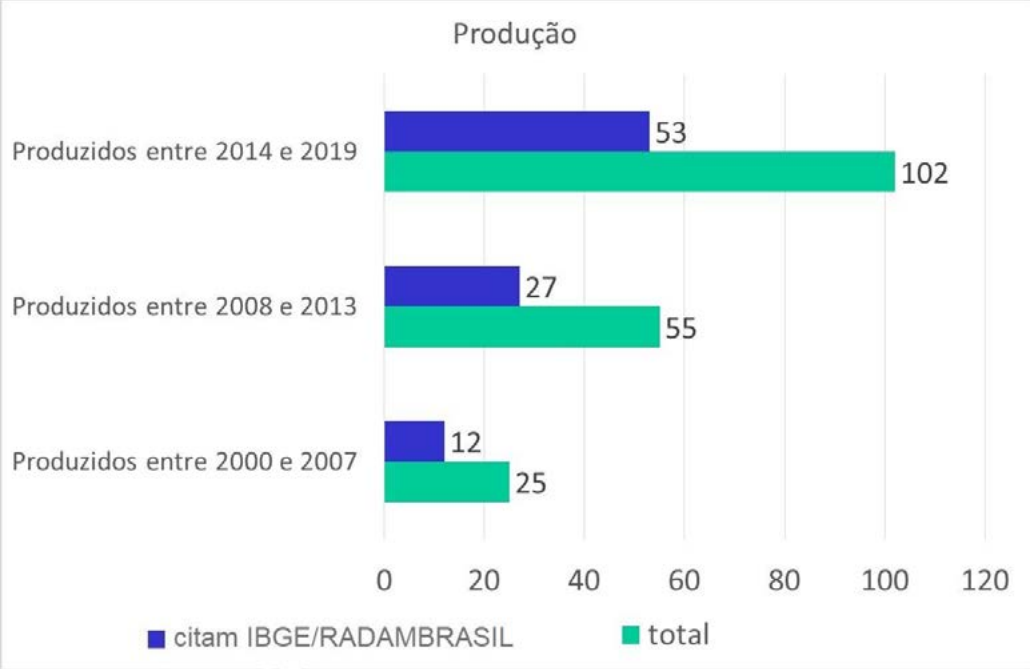


FIGURA 3: Número de artigos da RBG que citam a produção geomorfológica do IBGE/RADAMBRASIL e número total de artigos com mapeamento geomorfológico entre 2000 e 2019.
Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Considerações Finais

A referência a mapas geomorfológicos do território nacional está presente em cerca de um terço dos artigos da RBG, publicados de 2000 a 2019, mostrando a relevância desse produto/técnica e também o crescimento gradativo de sua utilização nos trabalhos científicos, notadamente aqueles desenvolvidos na subárea da Geomorfologia Continental.

É evidente a diversidade metodológica na elaboração de mapas no país, já que as fontes de mapas mais comuns são as de elaboração própria (cada artigo, portanto, uma fonte diferente) e dentre as fontes adaptadas as mais expressivas são da categoria "outros", que englobam várias fontes distintas.

Essa multiplicidade de metodologias de elaboração de mapas geomorfológicos existentes no país gera uma falta de diálogo entre os mapeamentos, com frequente incompatibilidade. Nesse sentido, um sistema nacional de classificação de relevo auxiliaria na melhoria da comunicação sobre as informações de relevo do país, dada pela padronização. O IBGE, sendo o órgão responsável pelo levantamento geomorfológico sistemático do território nacional, se apresenta como organizador e articulador institucional natural do processo de criação do Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo, atuando de forma conjunta e participativa com outros órgãos parceiros e a sociedade científica. De acordo IBGE (2020), o SBCR "deve refletir a organização, de forma categórica, hierárquica e multiescalar, de uma taxonomia que expresse a diversidade de formas de relevo existentes no país, constituindo referência para futuros mapeamentos geomorfológicos no país e permitindo que os mesmos possam ser comparáveis e continuados no tempo e no espaço".

Essa pesquisa buscou traçar o panorama do uso, produção e fontes dos mapeamentos geomorfológicos no país e, assim, contribuir para a construção das bases e dos direcionamentos do SBCR, que tem como um dos grandes desafios a sua adoção de fato pela sociedade científica especializada.

5. Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pelo suporte institucional na elaboração deste artigo.

6. Referências Bibliográficas

BOTELHO, R. G. M.; PELECH, A. S. Do Mapeamento Geomorfológico do IBGE a um Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de janeiro, v. 64 n. 1, p. 183-201, 2019.

CPRM. **Carta de Geodiversidade da Folha Rio de Janeiro. Escala 1:1.000.000.** CPRM, 2006. Disponível em: http://geosgb.cprm.gov.br/. Acesso em: 17 nov. 2017. (Carta de Geodiversidade do Brasil ao Milionésimo).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Banco de Dados e Informações Ambientais**. Disponível em: https://bdiaweb.ibge.gov.br. Acesso em: mai. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Manual Técnico de Geomorfologia**. Segunda edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. IPT. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2, 1981. 130 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Relatório Técnico 1º WORKSHOP sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 77p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101731.pdf. Acesso em: 17 jun. 2021.

PELECH, A.S.; NUNES, B.T.A.; GATTO, L.C.S.; BOTELHO, R.G.M. Considerações sobre o mapeamento geomorfológico do território brasileiro: algumas abordagens na representação regional. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.20, n.3, p. 681-690, 2019.

ROSS, J. L. S. Relevo Brasileiro: Uma Nova Proposta de Classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 4., p. 25-39, 1985.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 6, p.17-29, 1992.

UNIÃO DE GEOMORFOLOGIA BRASILEIRA (UGB). **Site da União de Geomorfologia Brasileira**, 2021. Grupos de Trabalho. Disponível em: http://lsie.unb.br/ugb/grupos. Acesso em: 27 de julho de 2021.

UTILIZAÇÃO DE IMAGEM DE SENSOR REMOTO PARA REPRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE VARIÁVEIS DO RELEVO NO MUNICÍPIO DE PEREIRO, CEARÁ, BRASIL

Diêgo Souza Albuquerque
Universidade Federal da Paraíba
Cidade Universitária - João Pessoa – PB, CEP: 58051-900
E-mail: diealbuquerque07@gmail.com
Larissa Silva Queiroz
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
E-mail: lariqueiroz98@gmail.com

Resumo

O relevo se destaca na paisagem em virtude de suas diferentes fisionomias, sendo um elemento fisiográfico de notória relevância para as sociedades, uma vez que serve à diversas finalidades. Nesse sentido, há uma busca por sua representação, de modo que permita o conhecimento de suas características. Para isso, a Cartografia e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) apresentam-se como mecanismos necessários para abordar temas geomorfológicos. Nesse âmbito, esta pesquisa objetivou a utilização de dados do sensor *Alos Palsar* para representação e interpretação de variáveis do relevo no município de Pereiro, estado do Ceará. Nesse percurso, foram gerados, utilizando o SIG: mapa hipsométrico, mapa de declividade, mapa das curvas de nível, perfis topográficos do terreno e modelo tridimensional do relevo da área de estudo. Estes atributos foram discutidos, no decorrer do artigo, em correlação com os demais elementos da paisagem. Os resultados evidenciaram que, Pereiro possui relevo bem movimentado, altitudes que ultrapassam os 800 metros e diferentes classes de declividades, em decorrência da variação topográfica. Conclui-se, então, que os dados do *Alos Palsar* resultaram em produtos qualitativos, possibilitando a representação do real (relevo) e sua discussão e compreensão, servindo ao conhecimento sobre o município.

Palavras-chave: Paisagem; Geomorfologia; SIG; Geotecnologia; Planejamento.

1. Introdução

A busca pela compreensão dos elementos naturais ou aspectos fisiográficos tem sistematizado e desenvolvido diferentes ciências da Terra, como a Geologia, Geomorfologia, Climatologia, Hidrologia, Pedologia e outras. Os conhecimentos construídos têm a cabal relevância de evidenciar as características e dinâmicas pretéritas e atuais da natureza, além de possibilitar a sua aplicabilidade prática, pelas sociedades, para o planejamento da ocupação de áreas.

Desse modo, essas ciências, a exemplo da Geomorfologia, que se debruça no estudo do relevo, oferecem aprendizagens suficientemente precisas para que o homem possa conhecer e agir sobre a natureza, assim como na procura de soluções para problemas gerados no ambiente, mediante a relação entre sociedade e a natureza (SOUZA, 2018).

Esse trabalho elege o relevo como elemento basilar para discussão, de forma específica, algumas de suas variáveis. Para Ross (2012), o relevo se refere ao conjunto heterogêneo das formas concretas que compõem a superfície da Terra, marcado por diferenciações fisionômicas locais e regionais. Para o autor, as formas de relevo são unidades que, embora pareçam estáticas e iguais, apresentam dinamicidades que se manifestam ao longo do tempo, em função de combinações e inter-relações múltiplas com os demais componentes do substrato geográfico.

Noutras palavras, Ross (2012) disserta que, ao buscar entender o relevo, se faz necessário verificar as influências naturais que condicionam sua gênese e dinâmica, pois é a partir de então que será possível aferir sobre o seu aparecimento, sua funcionalidade e evolução.

Para além de considerar a arranjo do relevo com os demais componentes naturais, em alguns casos, se faz necessário avaliar como a ação humana age sobre o relevo transformando-o, abordagem essa dada pela antropogeomorfologia. Isto sinaliza que o relevo é palco da ação humana (ROSS, 2012), e o ser humano, como construtor do seu espaço geográfico, advoga necessitar do uso dos recursos naturais, o que pode modificar dinâmicas e formas do relevo.

Esse cenário coloca em cena a necessidade de conhecer bem o relevo – características e dinâmicas – para melhor agir sobre ele. Assim, surge a concepção do relevo enquanto parâmetro importante para o planejamento ambiental.

Nesse sentido, para Girão e Corrêa (2004, p. 39), o relevo se constitui como elemento basilar para expansão das atividades humanas, mesmo que em determinados momentos funcione como um "fator de natureza antagônica, ora favorável à ocupação, ora apresentando feições e processos que desencorajam o mecanismo de ocupação". Nesse percurso, a ação antropogênica promoveu alterações no ambiente, sendo negligenciadas dinâmicas naturais responsáveis pelo equilíbrio dos sistemas físicos (GIRÃO; CORRÊA, 2004).

Desse modo, os autores atestam que o conhecimento das feições topográficas e dos processos morfogenéticos atuantes, possuem função relevante e estratégica para a orientação do uso do solo e para questões referentes ao ordenamento espacial de atividades comerciais, industriais e residenciais.

Corroborando com tal raciocínio, Santos (2004) observa que, nos estudos integrados da paisagem e de planejamento ambiental, os dados da geomorfologia, associados aos outros elementos, são imprescindíveis, ao passo que permitem interpretar a relação entre as formas das superfícies do terreno e as potencialidades e limitações para seu uso, auxiliando nas ações de gerenciamento do planejamento.

Semelhante a isso, Souza (2018) manifesta que os dados geomorfológicos servem à avaliação de seu aproveitamento prático, contribui para conservação e proteção dos recursos naturais, permite a locação da infraestrutura viária e industrial, auxilia no planejamento urbano, na localização de áreas para construção de barramentos fluviais, e na valorização de espaços turísticos.

Pincelado esse contexto, é fundamental mencionar sobre a representação do relevo, de modo que permita ao pesquisador, por exemplo, dimensionar sobre o que está investigando. Para tanto, há o emprego de diversas ferramentas, a exemplo das geotecnologias, que possibilitam as representações das superfícies.

As geotecnologias, segundo Rosa (2013, p. 6), podem ser definidas como um "conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica", podendo ser destacado a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global e o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

As geotecnologias permitem, aliado a outras formas de estudo, o levantamento e conhecimento dos elementos do meio físico de uma dada área e identificação de dinâmicas ambientais, por exemplo. Corroborando a isso, Flauzino *et al*. (2010), apresentam que essas tecnologias têm potencial para contribuir com o planejamento ambiental e construção de planos integrado de conservação dos recursos naturais.

No cenário do estudo sobre o relevo é importante mencionar que a utilização dos SIG's permite que se faça sua representação de diversas maneiras, como pontos cotados, curvas de nível, perfis topográficos, modelo digital de elevação, declividade, direção e curvatura do terreno, dentre outras. Isso porque o SIG comporta a integração de dados georreferenciados de diversas fontes. Deste modo, o pesquisador pode construir a representação que desejar para seu objeto de estudo.

Em vista do assinalado, o presente trabalho teve como objetivo geral utilizar dados da imagem do sensor *Alos Palsar* para representação e interpretação de variáveis do relevo no município de Pereiro, estado do Ceará, Brasil. Assim, fazendo uso do Modelo Digital de Elevação (MDE) da imagem, foram gerados, utilizando o SIG, os seguintes produtos: mapa hipsométrico, mapa de declividade, mapa de curvas de nível, perfis do terreno e modelo tridimensional do relevo da área de estudo.

Vale ressalvar que, embora o trabalho esteja pautado na análise de variáveis de um constituinte da paisagem – o relevo –, a discussão foi realizada de maneira a reconhecer a paisagem como um todo, construindo relações com seus demais componentes, de modo que permitiu compreensões do conteúdo tratado em caráter mais abrangente e totalizante da área investigada.

2. Materiais e Técnicas

2.1 Localização da área de estudo

O município de Pereiro (Figura 01) encontra-se inserido no semiárido brasileiro, situando-se na porção Sudeste do estado do Ceará, Nordeste do Brasil, entre as coordenadas latitude (S) 6º 02' 43" e longitude (W) 38º 27' 41", estando distante 255 km da capital do estado, Fortaleza (CEARÁ, 2017). Abrange uma área territorial de 433,5 km2, limítrofe aos municípios de Icó, Jaguaribe, Jaguaretama, Iracema e Ereré, no mesmo estado, e Doutor Severiano e São Miguel, estado do Rio Grande do Norte.

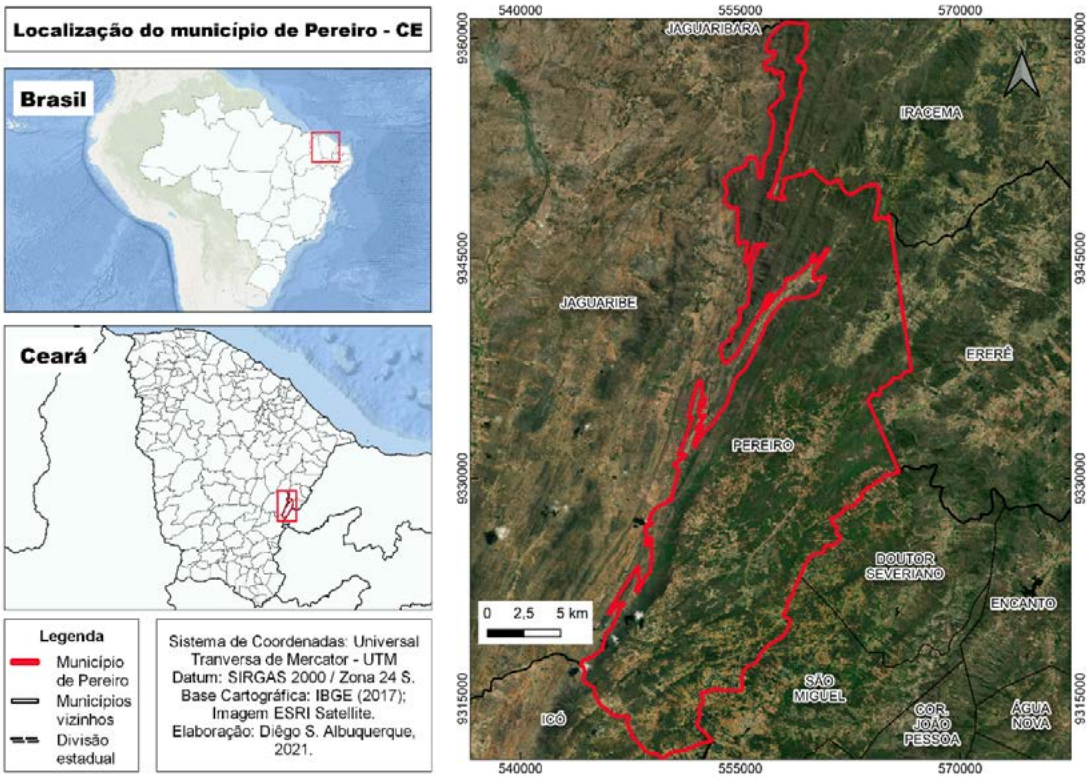


FIGURA 1: Mapa de localização do município de Pereiro, estado do Ceará, Brasil.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

2.2 Procedimentos metodológicos

O trabalho iniciou debruçando-se em leituras sobre o relevo e a importância de seu conhecimento na tomada de decisões no planejamento ambiental. Posteriormente, foi necessário aprofundar as leituras para fundamentar e auxiliar na discussão dos resultados, referente às variáveis do relevo por esse trabalho consideradas, buscando pesquisas científicas que abordaram a área em estudo.

Os produtos cartográficos presentes no trabalho foram produzidos utilizando o *Software* livre de geoprocessamento *QGIS* versão 3.16.8 '*Hannover"*, podendo ser feito seu *download* em: https://qgis.org/en/site/forusers/download.html#. Netse SIG, fazendo uso do Modelo Digital de Elevação (MDE), foram gerados os produtos: mapa hipsométrico, mapa de declividade, mapa de curvas de nível, perfis topográficos do terreno e modelo tridimensional do relevo.

O MDE foi obtido mediante imagem do sensor *Palsar* do satélite *Alos* (*Advanced Land Observing Satellite*). O *Alos* foi lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (*Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA*), entrando na fase operacional e fornecimento de dados no ano 2006, e operou até 2011; o sensor *Palsar* (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) tinha a capacidade de obter imagens de alta resolução diurnas e noturnas, sem a interferência de nebulosidade (EMBRAPA, 2021). Os dados do *Alos Palsar* são disponibilizados gratuitamente, projetados no sistema UTM WGS84, com resoluções de 30 m e 12,5 m. Na Tabela 1 acompanhe as informações da imagem utilizada.

Tabela 1 – Dados da imagem utilizada para obtenção de variáveis do relevo.

Satélite/ Sensor	QTD	Referência	Resolução espacial	Data	Fonte
Alos Palsar	01	AP_09568_FBS_ F7060_RT1	12,5 m (RTC)	Abril de 2011	https://search.asf.alaska.edu/#/

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de ASF DAAC (2021).

Após obtenção da imagem, ela foi recortada para os limites no município de Pereiro e iniciou-se a extração dos atributos do relevo. Foi elaborado o mapa hipsométrico, representando a variação de altitude do relevo da área. Com a imagem selecionada, seguiu-se os comandos: acessar propriedades > simbologia > tipo de renderização > banda simples falsa-cor > gradientes de cores > rampa de cores *topography*.

Em seguida, foram gerados três perfis topográficos. Para os perfis, empregou-se o *plug-in Profile Tool,* que ao traçar a linha, automaticamente, gerou os perfis. Para isso, foram realizados os seguintes comandos: barra de tarefas > *Profile Tool* > selecionou-se do MDE com os valores altimétricos > *Add layer* > traçou-se a linha desejada > *save as,* para salvar a imagem do perfil na pasta desejada, em formato *png.*

As curvas de nível foram geradas em intervalo de 10 e 50 metros para o mapa de curvas e de hipsometria, respectivamente, de modo que permite, visualmente, compreender variações de altitude. Para isso, com a imagem selecionada seguiu-se os comandos: aba *raster* > extrair > contorno > selecionar camada de entrada > atribuir intervalo de contorno > executar.

O mapa de declividade foi gerado em porcentagem (*percent*). Inicialmente, foi realizado o cálculo da declividade da imagem, utilizando os comandos: aba *raster* > análise > declividade > executar, criando um novo *raster*. Feito isso, a etapa seguinte se referiu a reclassificação do *raster,* mediante o algoritmo *r.reclass*, seguindo os comandos: aba processar > caixa de ferramenta > *r.reclass* > indicação das regras de reclassificação > executar. Finalizada essa etapa, evoluiu-se para a geração do mapa de declividade, seguindo simbologia adequada. Foram estabelecidas cinco classes, sendo: 0% - 3% considerado relevo plano, 3% - 6% relevo suave ondulado, 6% - 20% relevo ondulado, 20% - 45% relevo forte ondulado, 45% - 75% relevo montanhoso e > 75% relevo escarpado, seguindo classificação da EMBRAPA (2018).

O modelo tridimensional foi gerado utilizando a imagem do *Alos Palsar*, com auxílio do *plug-in Qgis2trheejs*, com exagero vertical 4, devido à escala da área de estudo. Adotou-se, assim, os seguintes comandos: aba *web* > *Qgis2trheejs* > *Qgis2trheejs Exporter* > *scene settings* > *vertical exaggeration* > 4.0. A partir de então, procurou-se o ângulo que apresentasse a área de estudo de maneira mais representativa, evidenciando todas as suas formas de relevo.

3. Resultados e discussões

Para estudos do relevo, a aquisição de Modelos Digitais de Elevação (MDE) são de grande relevância, pois o uso dos dados neles contidos possibilitam a criação de diversas informações sobre uma área, contribuindo para sua interpretação e geração de conhecimento sobre ela. A Figura 2 ilustra as classes altimétricas do município de Pereiro, a partir do mapa de hipsometria, que possibilita

a representação da altitude do relevo em relação ao nível do mar. O município apresenta modelados com diferentes altitudes que variam de 169 a 776 metros.

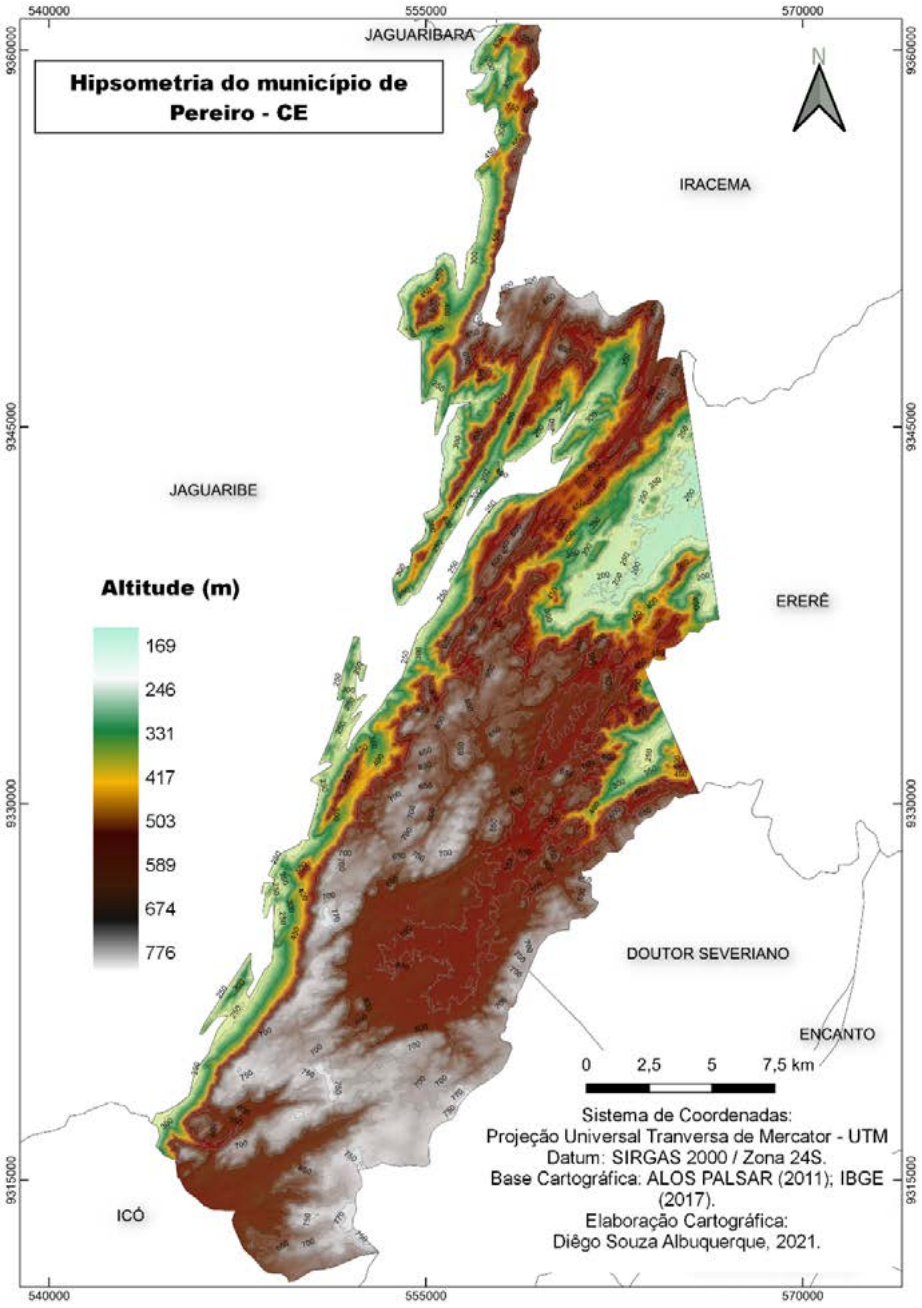


FIGURA 2: Classes hipsométricas do município de Pereiro, Ceará.
Fonte: Elaborado pelos autores, conforme dados *Alos Palsar* (2011).

Tal variação de altitude está relacionada às formas de relevo predominantes na área, Maciço Cristalino e Superfície Sertaneja, conforme classificação de Costa *et al*. (2020). As maiores altitudes estão presentes no Maciço do Pereiro (MP), que se refere à formação cristalina elevada com característica montanhosa e feições de dissecação acentuada, ocasionada pelos processos intempéricos/erosivos (COSTA *et al*., 2020). O Maciço presente na área apresenta altimetria mínima de, aproximadamente, 300 metros.

A Superfície Sertaneja, em Pereiro, possui altimetria superior próxima aos 300 metros, em que suas cotas mais elevadas estão próximas ao sopé do Maciço do Pereiro. Este relevo é resultado do processo de aplainamento mais evidente (COSTA *et al*., 2020), conduzida por morfogênese mecânica, cretáceo-terciária, associada a climas secos (SALES, 2018). Desse modo, o processo de pediplanação, caracterizada pela erosão de uma superfície maior e sua progressiva regressão, elaborou a Superfície Sertaneja.

No mapa (Figura 2) essa formação se apresenta predominantemente na porção NE e em toda posição Oeste do município, sendo representada iniciando pela cor azul claro (menor altitude) e se aproximando à cor laranja. A partir dessa tonalidade, já se evidencia o Maciço do Pereiro. A Figura 3 apresenta parte da Superfície Sertaneja na porção NE do município de Pereiro.

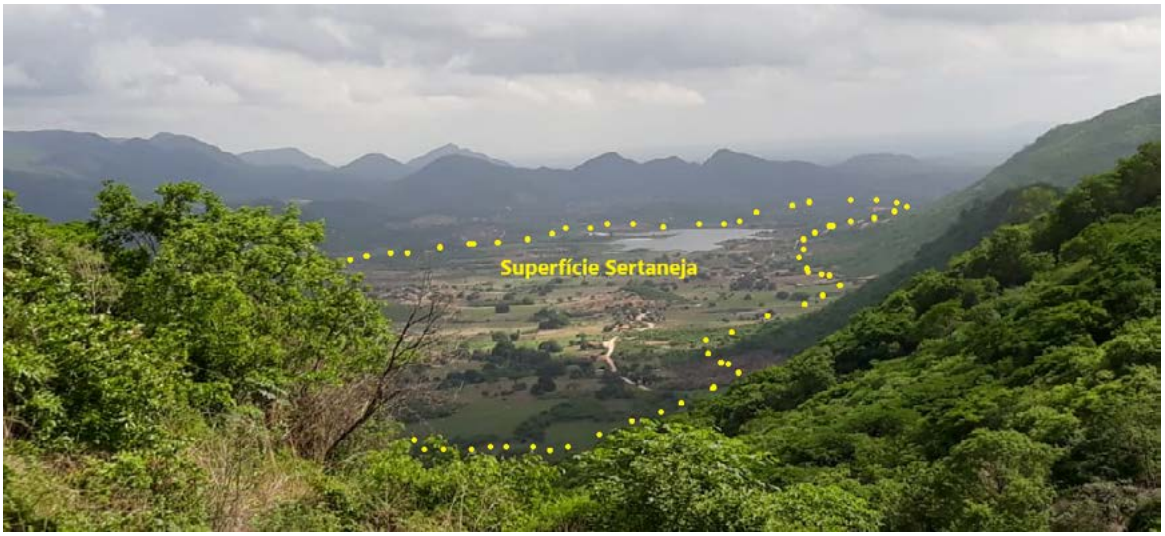


FIGURA 3: Superfícies Sertaneja no município de Pereiro, Ceará, bordeada por feições do Maciço do Pereiro.
Fonte: Arquivo dos autores, 2020.

Na área acima indicada residem populações rurais do município, onde desenvolvem suas atividades socioeconômicas: agricultura e pecuária, predominantemente. Ao fundo, é possível notar o açude dos Grossos, responsável pelo abastecimento hídrico na área. A Figura 4 evidencia a variação altimétrica do relevo de maneira mais clara, a partir dos perfis topográficos.

O perfil A – B, traçado em sentido latitudinal, evidencia a variação topográfica, iniciando pela Superfícies Sertaneja, percorrendo cerca de 6 km até chegar na encosta íngreme do MP. Nesta segunda forma de relevo, é possível visualizar a área plana sobre ele, na altura do quilômetro 20. Esse perfil apresentou altitude mínima de 130 metros e máxima de 853 metros.

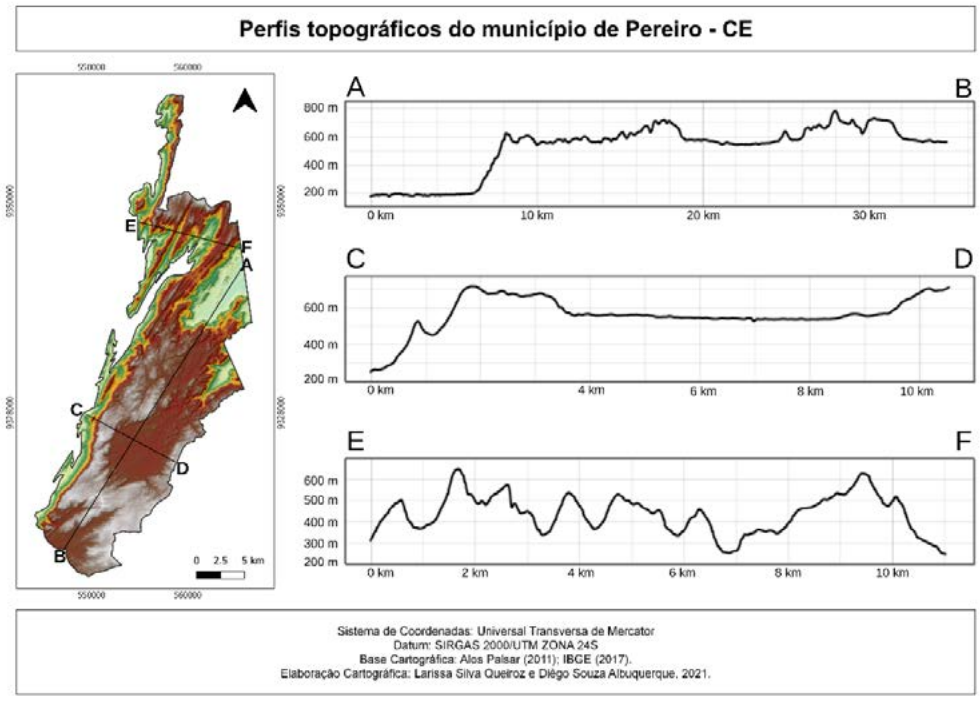


FIGURA 3: Perfis topográficos do município de Pereiro, Ceará.
Fonte: Elaborado pelos autores, conforme dados *Alos Palsar* (2011).

O perfil C – D, no sentido longitudinal, apresenta cota mínima de 222 m, no extremo Oeste, e altitude máxima de 768 m, no extremo Leste. Sua extensão, maiormente, está sobre o MP e apresenta a superfície plana exibida no perfil anterior, mas agora com maior detalhamento.

O perfil E – F, traçado na porção Sul do município, evidencia maior movimentação do relevo, demostrando que ele foi submetido a processos erosivos severos, dando forma a terrenos acidentados, escarpas muito inclinadas, vales em formas de U e V, cristas retrabalhadas pela erosão diferencial e interflúvios elevados direcionado a drenagem.

A maior extensão territorial de Pereiro está sobre o MP, onde significativa parte da população municipal vive. Albuquerque (2020), apresenta que os topos, vertentes e vales do MP ganham usos diferenciados a depender de suas potencialidades naturais e restrições, como a declividade, de modo que as áreas que apresenta irregularidade do terreno acentuada, seus usos são mínimos. Logo, a declividade do terreno é um parâmetro essencial para as atividades de uso e ocupação.

Nessa perspectiva, o Código Florestal Brasileiro, Lei 12.651/2012, em seu Art. 3º, determina a declividade como uns dos parâmetros para definir Área de Proteção Permanente – APP, em que encostas ou partes destas, com declividade superior a 45º, necessitam ser preservadas.

A declividade é a inclinação da superfície do relevo em relação ao plano horizontal (FLORENZANO, 2008). Para Silveira *et al*. (2006), as inclinações do relevo é um fator que contribui na instabilidade das encostas, aumentando o potencial erosivo quanto maior for o ângulo da declividade. Desse modo, exerce influência nos processos de morfogênese/pedogênese, por exemplo, devendo a declividade dos terrenos ser analisadas.

Lepsch (2010), apresenta que a declividade tem influência na dinâmica do solo, perda ou concentração, tendo em vista que nas áreas mais planas a água de desloca em velocidade baixa, possui menos energia e consegue se infiltrar mais rapidamente; ao inverso, nos terrenos mais inclinados, o escoamento fluvial é mais forte e tem menor possibilidade de infiltrar, potencializando a perda de solo dessas áreas, principalmente quando não há cobertura vegetal.

Nesse mote, o município de Pereiro é marcado por variada declividade (Figura 4), apresentando desde topografias planas à mais abruptas.

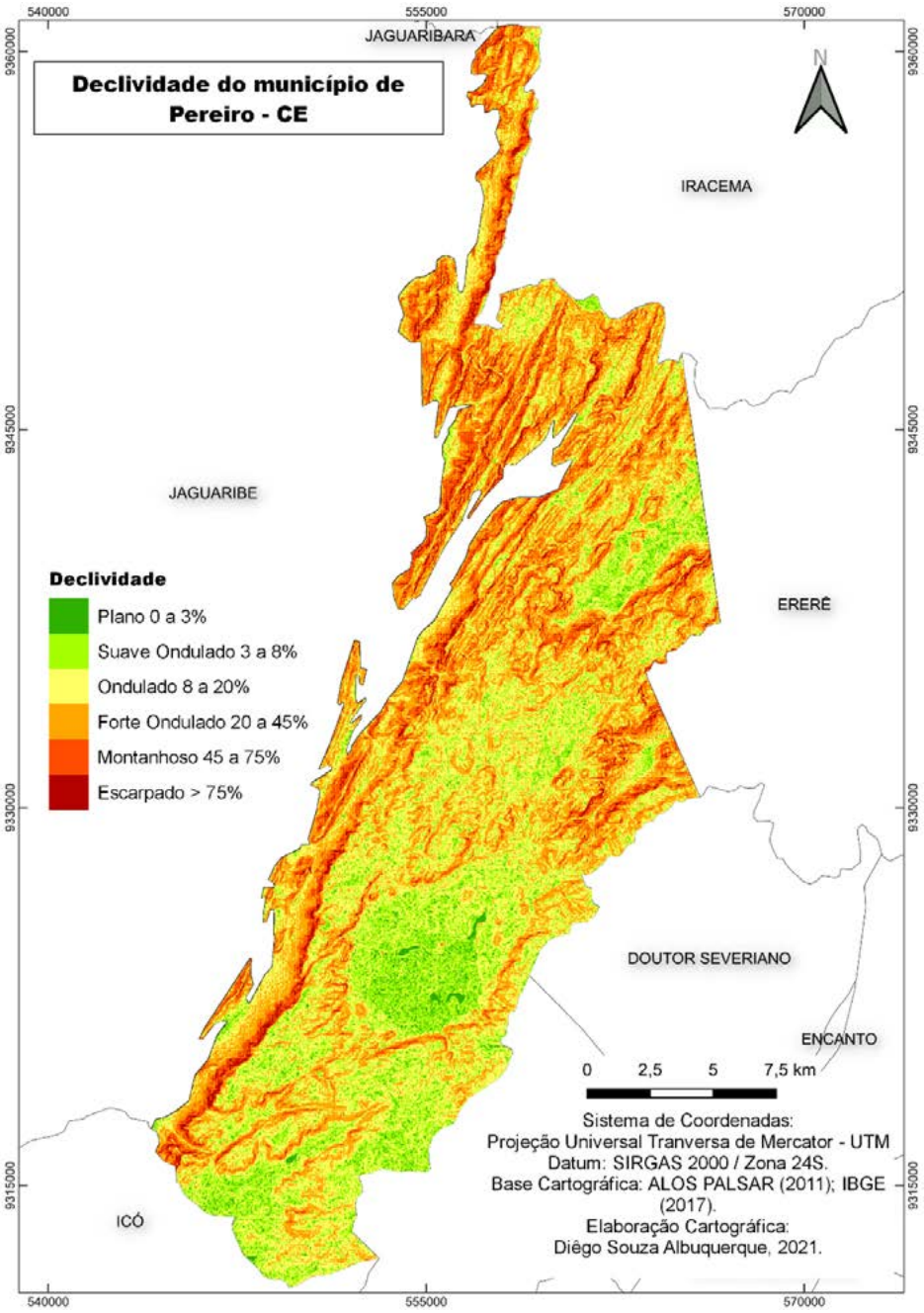


FIGURA 4: Classes de declividade do município de Pereiro, Ceará.
Fonte: Elaborado pelos autores, conforme dados *Alos Palsar* (2011).

A Tabela 2 apresenta as classes de declividades do município e seus respectivos cálculos de área e porcentagem. A classe de declividade com maior abrangência em Pereiro corresponde ao relevo forte ondulado, seguido, nessa ordem, pelas classes ondulado, suave ondulado, montanhoso, plano e escarpado.

Tabela 2 – Declividade e respectivas áreas e porcentagens do município Pereiro, Ceará.

Declividade	Classe atribuída	Área Km2	%
0% – 3%	Relevo plano	14.430469	3.36
3% – 8%	Relevo suave ondulado	67.780937	15.76
8% – 20%	Relevo ondulado	140.575000	32.70
20% – 45%	Relevo forte ondulado	143.349687	33.34
45% – 75%	Relevo montanhoso	52.379687	12.18
> 75%	Relevo escarpado	11.441094	2.66
Total		429.956875	100

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

As formas de relevo, apresentadas anteriormente, influenciam na variação de classes de declividade. Nota-se que que a classe 0 - 3%, na qual as superfícies topográficas são planas, compreende 3,36% do município. Essa topografia se apresenta nas pequenas planícies fluviais, na Superfície Sertaneja e nos topos do MP. Para esse último, cabe uma observação. Segundo Martins e Sales (2019), não é comum a existência de superfícies planas consideráveis sobre maciços cristalinos, o que evidencia uma particularidade do MP, se fazendo necessário ainda estudos que possam comprovar hipóteses sobre essa característica.

A classe correspondente a variação de 3% - 8%, suave ondulado, possui relevo pouco movimentado, com ocorrência de áreas colinosas rasas em que seus declives são suaves. Está presente em 15,76% da área em estudo.

Nas áreas que equivalem à classe que varia entre 8 - 20%, ondulado, a topografia ainda apresenta ondulação moderada, ligeiramente inclinada. Compreende cerca de 140,5 km2, que corresponde a 32,70% do município de Pereiro.

A classe de declividade com maior ocorrência está entre 20 - 45%, apresentando relevo forte ondulado, com superfícies topográficas dissecadas e formas bastante declivosas, estando inteiramente relacionada ao MP. Se distribui em torno de 143,3 km2, 33,34% da área.

O relevo montanhoso, com declividade entre 45 - 75%, apresenta terreno com inclinação acentuadas, com predomínio de formas acidentadas recorrente nas encostas do MP. São formas bastante dissecadas que podem apresentar solos e cobertura vegetal ou festões do afloramento direto das rochas graníticas, em maioria. Tal classe está presente em 12,18% do município.

No município de Pereiro, também, é possível perceber declividades abruptas em que as superfícies são muito íngremes, formando vertentes escarpadas. Essa classe corresponde à declividade acima de 75%, presente em aproximadamente 11,2 km2 do município, em maior concentração na escarpa serrana.

A formação de escarpa presente no município refere-se à escarpa de falha estrutural da Zona de Cisalhamento do Jaguaribe, que sustenta o Maciço Estrutural Pereiro (MAIA; BEZERRA, 2014) em sua porção Oeste, se estendendo por cerca de 80 km, com disposição extremamente dissecada em formas trapezoidais e triangulares (SALES, 2002;2016 *apud* MARTINS; SALES, 2019).

A Figura 5 apresenta diversas formas de relevo do município de Pereiro, em que pode ser apontado as classes de declividade.



FIGURA 5: Relevo do município de Pereiro, Ceará.
Fonte: Imagens A, B, C - arquivo dos autores, 2020; imagem C - disponível em @visitetalhado (2020).

A imagem A evidencia, em primeiro plano, parte da planície do riacho Jatobá, em Pereiro, que apresenta declividade entre 0 - 3%, se destacando como área propícia ao desenvolvimento de atividades de plantio agrícola e pastagem animal. Em segundo plano, a declividade pode variar de forte ondulado à montanhoso, dado o modelado das feições do MP.

A imagem B demonstra diferentes modelados do relevo, portanto, variação na declividade. Ao centro pode ser visualizado parte da sede municipal, em que a declividade pode variar de 0 a 8%, plano a suave ondulado. Na imagem C, as vertentes serranas se destacam em relevo ondulado a forte ondulado. Na imagem D é visível o afloramento rochoso cristalino na escarpa de falha do MP, em direção ao município de Jaguaribe, formando uma superfície muito íngreme. O local apresentado é um cenário turístico do município de Pereiro, conhecido como Mirante do Talhado.

Outra variável do relevo bastante utilizada e necessária à sua compreensão, são as curvas de nível, sendo representada por linhas traçadas na horizontal sobre um terreno e ligam as áreas que possuem a mesma altitude. Nos mapas, essas linhas auxiliam na compreensão dos desníveis topográficos, de modo que, onde se observar curvas muito próximas, há existência de uma superfície com declives mais acentuado; ao contrário, quando as curvas se apresentam mais distantes, aquele terreno apresenta desníveis mais suaves. Tais linhas também contribuem para se inferir sobre a declividade do terreno.

A utilização das curvas de nível, para além de ser uma variável que demonstra altitude, auxilia diferentes profissionais a agirem sobre os terrenos, a exemplo da construção civil, bem como pode contribuir para um melhor aproveitamento de um terreno pela agricultura. Na Figura 6 está representada as curvas de nível, em intervalos de 10 metros da área em estudo.

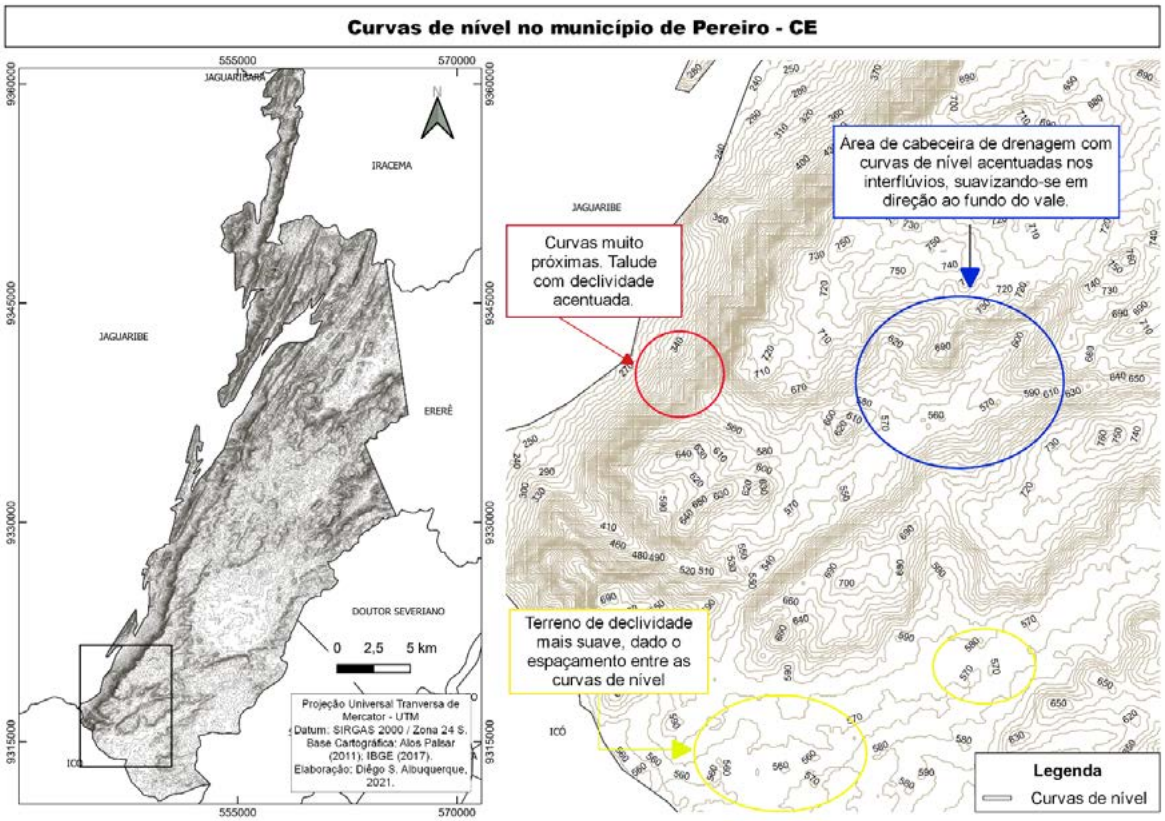


FIGURA 6: Curvas de nível do município de Pereiro, Ceará.
Fonte: Elaborado pelos autores, conforme dados *Alos Palsar* (2011).

A disposição das curvas auxilia na interpretação do terreno, inferindo algumas de suas características. Por fim, a Figura 7 apresenta o Modelo Tridimensional do relevo do município. A partir dele pode ser visto, de maneira mais didática, o modelado geomorfológico, de modo que as características topográficas permitem relacionar as discussões realizadas até aqui.

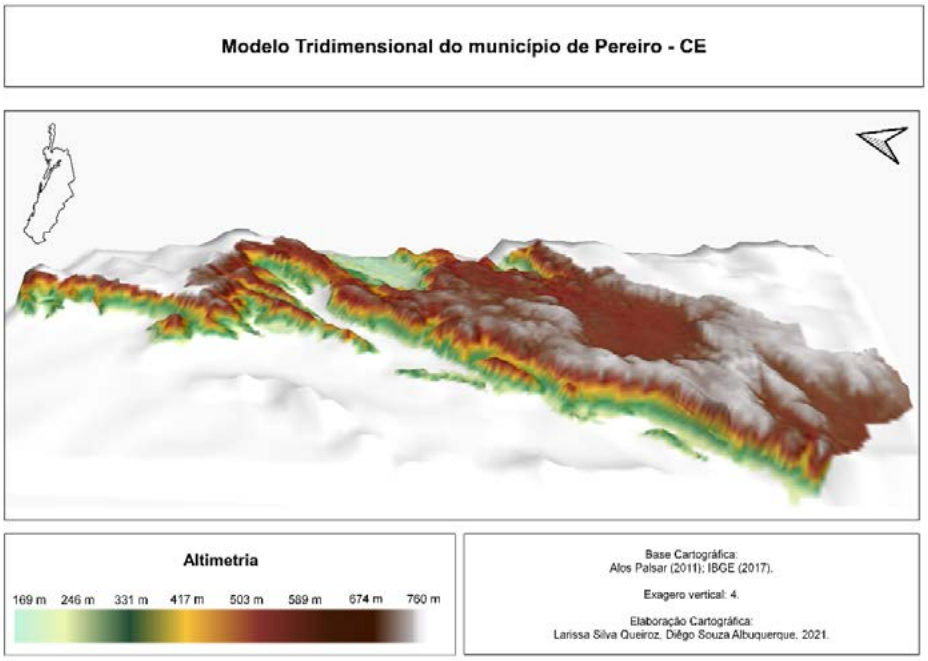


FIGURA 7: Modelo Tridimensional do relevo do município de Pereiro, Ceará.
Fonte: Elaborado pelos autores, conforme dados *Alos Palsar* (2011).

4. Considerações finais

A análise e interpretação do relevo tem significativa relevância ao desenvolvimento das atividades da sociedade. O conhecimento do relevo, junto aos demais elementos fisiográficos, dão subsídios para que seja possível o planejamento de uso e ocupação de um local. Serve, também, ao planejamento ambiental, ao permitir que seja possível planejar as ações humanas no território, visando a melhoria da qualidade de vida da população e a conservação de recursos naturais.

Esse trabalho discutiu sobre algumas variáveis do relevo, fomentando que elas são imprescindíveis ao conhecimento do real do recorte empírico escolhido para a pesquisa, a partir da sua representação. Essa representação, através de mapas e modelos, teve suporte do Sistema de Informação Geográfica, o que permitiu obter resultados satisfatórios. Importante salientar que os dados do satélite *Alos Palsar* se mostraram bastante favoráveis ao trabalho e possui estimada relevância por sua boa resolução espacial, além de ser facilmente manipulável no SIG.

O trabalho realizado buscou discutir o relevo enquanto elemento constituinte da paisagem, e como tal, deve ser interpretado de maneira integrada aos demais elementos, componentes naturais e usos sociais. Salienta-se que o conteúdo elaborado não esgota aqui as maneiras de interpretação, contudo, serve ao conhecimento do município e pode ser usado para fins diversos.

Referências

ASF DAAC. Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center. **ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_low_res.** JAXA / METI 2011. Acessado por meio de ASF DAAC, 2021.

ALBUQUERQUE, D. S. **Uso e ocupação das áreas de nascentes do alto curso da sub-bacia hidrográfica do Rio Figueiredo, Ceará, Brasil**: elementos ao Ordenamento Territorial de áreas semiáridas. 166p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Pau dos Ferros, 2020.

BRASIL. **Lei n. 12.651, dispõe sobre o Código Florestal Brasileiro.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2012].

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal – Pereiro**. Fortaleza, 2017.

COSTA, L. R. F.; MAIA, R. P.; BARRETO, L. L.; SALES, V. C. C. Geomorfologia do Nordeste setentrional brasileiro: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 1, Jan./Mar, p. 185-208, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **ALOS - Advanced Land Observing Satellite**. Campinas, SP: Embrapa, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FLAUZINO, F. S. *et al.* Geotecnologias Aplicadas à Gestão dos Recursos Naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 75-91, abr. 2010.

FLORENZANO, T. G. Introdução à geomorfologia. *In*: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia:** conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de textos, 2008, p. 11-30.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia**, Recife/PE, v. 21, n. 2, p. 36-58, jul./dez. 2004.

LESPCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Condicionamento Estrutural do Relevo no Nordeste Setentrional Brasileiro. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 127-141, jan./abr. 2014.

MARTINS, J. G.; SALES, V. C. Paisagem geomorfológica e geografia ambiental do Maciço do Pereiro, estado do Ceará, nordeste do Brasil. **Revista Equador**, Teresina, v. 8, n. 1, p. 1-25, 2019.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Laboratório de Geoprocessamento, 2013.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia:** ambiente e planejamento. 9 ed. São Paulo: Contexto.

SALES, V. C. C. Megageomorfologia do Nordeste Setentrional Brasileiro. **Revista de Geografia**, Recife, v. 35, n. 4 (especial XII SINAGEO), p. 1-13, 2018.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental** – Teoria e Prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; FIORI, A. P.; ZAI, C. Mapeamento de declividade de vertentes: aplicação na APA de Guaratuba/Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006. Goiânia. ***Anais***... Goiânia: 2006, 1-10.

SOUZA M. J. N. Geomorfologia e planejamento ambiental. **Revista de Geografia**, Recife/PE, v. 35, n. 4 (especial XII SINAGEO), p. 380-393, 2018.

UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) PARA A IDENTIFICAÇÃO DE SUMIDOUROS NA BACIA DO RIO CORRENTE, REGIÃO NORDESTE DE GOIÁS.

Leonardo Chaves Mendes
Universidade de Brasília - UnB
Laboratório de Geografia Física - LAGEF, ICC Norte Bloco 23.
Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte
CEP 70910-900 Brasília-DF.
E-mail: lchaves21@gmail.com
Adivane Morais Nogueira
Universidade de Brasília - UnB
Laboratório de Geografia Física - LAGEF, ICC Norte Bloco 23.
Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte
CEP 70910-900 Brasília-DF.
E-mail: adinogueira2010@hotmail.com
Dandara Caldeira
Universidade de Brasília - UnB
Laboratório de Geografia Física - LAGEF, ICC Norte Bloco 23.
Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte
CEP 70910-900 Brasília-DF.
E-mail: dandara.caldeira2014@gmail.com

Rogério Elias Soares Uagoda
Universidade de Brasília - UnB
Laboratório de Geografia Física - LAGEF, ICC Norte Bloco 23.
Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte
CEP 70910-900 Brasília-DF.
E-mail: rogeriouagoda@unb.br

Resumo

A vasta ocorrência de rochas carbonáticas do grupo Bambuí (neoproterozoico), no Centro-Oeste brasileiro, permitem a captura de grandes rios superficiais para o frágil ambiente subterrâneo. Neste sentido, este estudo tem como propósito identificar possíveis áreas de ocorrência de sumidouros na Bacia do Rio Correntes, localizada na porção nordeste do estado de Goiás. Essas feições são típicas de ambientes cársticos, sendo responsáveis pela captura da hidrografia superficial para o subterrâneo. Com a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG), empregando os softwares QGIS e SAGA GIS, foram realizadas tentativas para a localização de tais áreas a partir de identificação visual (considerando critérios como hidrografia, altitude, curvas de nível e vegetação). Foram identificados, a partir da aplicação de filtros, 170 polígonos de possíveis áreas de ocorrência de sumidouros faltando a realização de trabalhos de campo para checagem das informações.

Palavras-chave: Sumidouros; Interpretação de Imagens; SIG; Carste

1. Introdução

A partir das rochas provenientes do Grupo Bambuí, por seu caráter carbonático, desenvolve-se um terreno denominado cárstico – termo oriundo da expressão eslovena *Karst*, e que possui por significado "solo pedregoso desnudo". Essas regiões são caracterizadas pela baixa quantidade de drenagens superficiais, já que há dissolução do carbonato presente nas rochas, levando os rios a desenvolverem no endocarste, área mais interna desses terrenos (GOIÁS (Estado), 2006).

As paisagens cársticas são compostas por terrenos cujas formas e sistemas de drenagens são diferenciados pela alta solubilidade da rocha e porosidade secundária, desenvolvida por meio de alargamento de fraturas e descontinuidades típicas em rochas carbonáticas, como calcários, dolomitos e mármores (FORD; WILLIAMS, 2007). São caracterizadas por promover o desenvolvimento de formas de relevo como as depressões fechadas (dolinas), captura de drenagens superficiais para sistemas subterrâneos além da ocorrência de cavernas (FORD; WILLIAMS, 2007). Apesar do processo de dissolução da rocha pela água não ser o predominante é o mecanismo inicial, permitindo que os demais ocorram, como a erosão mecânica e colapsos (FORD, 2004; PALMER, 2007).

As dolinas são as formas de relevo mais comuns e representativas das paisagens cársticas, e estão relacionadas à maneira como se deu o processo de formação (morfogênese). Segundo Tavassos (2019, p. 78-81), apesar de inúmeras denominações acerca de sumidouros, estes podem ser descritos como "uma abertura por meio da qual o rio superficial é capturado para o subterrâneo". São duas as nomenclaturas destas feições: ponor, quando se apresentam horizontal ou subhorizontalmente e pot-holes, em juntas, fraturas e estruturas verticais. Além disso, as ressurgências são feições de função oposta à dos sumidouros, que permitem o retorno do curso d'água à superfície, conforme descrito por Travassos (2019).

Elementos característicos e correlacionados a presença de sumidouros são os vales cegos e secos pois, o vale cego (*Blind valleys*) trata-se de um vale fluvial que se fecha abruptamente à jusante, devido a ocorrência uma barreira natural que, não represa a água, e sim captura por meio de um sumidouro, drenando o fluxo ao longo do ano (TRAVASSOS, 2019; TRAVASSOS; RODRIGUES; TIMO, 2015). Vales secos (*Dry valleys*) são os vales fluviais sem rios, pelo fato do fluxo ser capturado para o sistema subterrâneo, que eventualmente podem dispor de fluxo intermitente dependendo da sazonalidade (BOČIĆ, 2003; BOČIĆ; BAĆURIN, 2004; BOČIĆ; PAHERNIK; MIHEVC, 2015; TRAVASSOS, 2019).

Estudos mostram que há importância no desenvolvimento de análises desses vales, pois podem ajudar no entendimento de processos evolucionários da paisagem e das mudanças no sistema fluvial (PHILLIPS, 2018), demonstrando a importância da localização de sumidouros e ressurgências para estudos e interpretações paleoambientais.

Deste modo, a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode auxiliar na localização de tais feições. Arquivos vetoriais, como *shapefiles*, imagens de satélite, radar (SRTM), laser (LiDAR) e drone (ortomosaico), além de softwares e geoestatística, são fundamentais para o desenvolvimento das pesquisas e análises acerca das feições cársticas. Diversos estudos tratam da utilização do SIG como ferramenta de subsídio para as pesquisas no carste (BAHTIJAREVIĆ; FAIVRE, 2016; BOČIĆ et al., 2015; JERIN; PHILLIPS, 2017; KOŠUTNIK, 2007; PHILLIPS, 2017, 2018; PHILLIPS et al., 2004; TÎRLɨ et al., 2016).

A presente pesquisa pretende identificar possíveis áreas de ocorrência de sumidouros na Bacia do Rio Corrente. Esta pesquisa está vinculada ao grupo de pesquisa GEOCARSTE/UnB e ao projeto "Susceptibilidade, hidrologia e geomorfologia cárstica aplicadas à conservação do patrimônio espeleológico da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho - APANRV" (Termo de Compromisso de Compensação Espeleológica-TCCE nº 01/2018/ICMBio).

2. Área de Estudo

A Bacia do Rio Correntes está localizada no nordeste goiano, engloba a Área de Preservação Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (APANRV) (Figura 1), e se encontra entre os municípios de Mambaí, Damianópolis, Buritinópolis, Alvorada do Norte, Simolândia, Sítio D'Abadia e Posse. A APA foi criada em 2001, com o objetivo de conservação do patrimônio espeleológico. Surge também com intuito de promover as trocas entre o homem e o ambiente, sem permitir que haja degradação (SILVA JÚNIOR, 2019). A área estudada apresenta diversas feições cársticas e o fluviocarste, e é definida pela ocorrência de vales escarpados profundos, ao longo das drenagens menores, o recuo dos vales também tende à verticalidade, com afloramentos laterais descontínuos, presença de segmentos de vale cego e vale abandonado, múltiplos pontos de sumidouro e ressurgências (MYLÈNE BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003).

As principais feições geomorfológicas da região são evidenciadas por morfoesculturas climáticas, dando origem a formas dissecadas e rebaixadas, interpostas as formas conservadas, que representam remanescentes da topografia mais antiga, sendo drenada pelo Rio Correntes, afluente do Rio Tocantins. A APANRV apresenta forma de relevo que varia de plano a suave com ondulações próximas a Serra Geral, divisa de Goiás com a Bahia, e bastante ondulado nas bacias dos rios Corrente e Vermelho. O clima tropical com características sazonal, apresenta um período chuvoso que ocorre comumente de outubro e vai até março e período seco de abril a setembro (MIRANDA, 2016).

A ocupação antrópica é caracterizada por pequenas propriedades e assentamentos fundiários, cuja atividade econômica predominante é a pecuária. Algumas atividades humanas têm sido potencialmente nocivas aos ambientes cársticos, principalmente em se tratando da fonte de carga sólida em rios, causando prejuízos aos ambientes que ainda carecem de estudos para sua compreensão, comprometendo o patrimônio natural, cultural e científico (MYLÈNE BERBERT-BORN; TRINDADE, 2003).

A vegetação é característica do Cerrado, classificado como uma savana úmida que abrange as savanas abertas, bosques de savanas, pastagens e pastagens arbustivas, florestas secas e florestas ribeirinhas (FURLEY, 1999).

Sua riqueza ambiental está assentada sobre três grupos geológicos – Areado, Urucuia e Bambuí, sendo os dois últimos de maior relevância para o estudo. O Grupo Areado é característico pela existência de arenitos, expostos devido à sucessivas erosões na Formação Capacetes, relacionada ao grupo Bambuí (NUNES, 2020). Possuindo duas Formações (Posse e Serra das Araras), o Grupo Urucuia se relaciona a quartzo-arenito red-bed, arenito-feldspático, arenitos, argilitos e conglomerados, se inserindo no período geológico Cretáceo (OLIVEIRA et al., 2008).

A litologia regional associada ao Grupo Bambuí (Neoproterozóico), representada pela sequência pelítico-carbonatada, permite que a APANRV disponha de uma importante área cárstica com diversas feições típicas de tais ambientes. Em destaque ocorre a Formação Lagoa do Jacaré caracterizada por alternância de calcários oolíticos e pisolíticos, cinza escuro, fétidos, cristalinos, lenticulares com siltitos e margas.

Tendo em vista a existência destas rochas calcárias, a paisagem desenvolve diversas feições típicas do carste que atualmente vem sendo objeto de diversas pesquisas (CALDEIRA et al., 2021; HUSSAIN et al., 2020; NUNES, 2020) dentre eles a pesquisa desenvolvida por Ferreira (2020) que mapeou as possíveis áreas de ocorrência de dolinas (Figura 1-C).

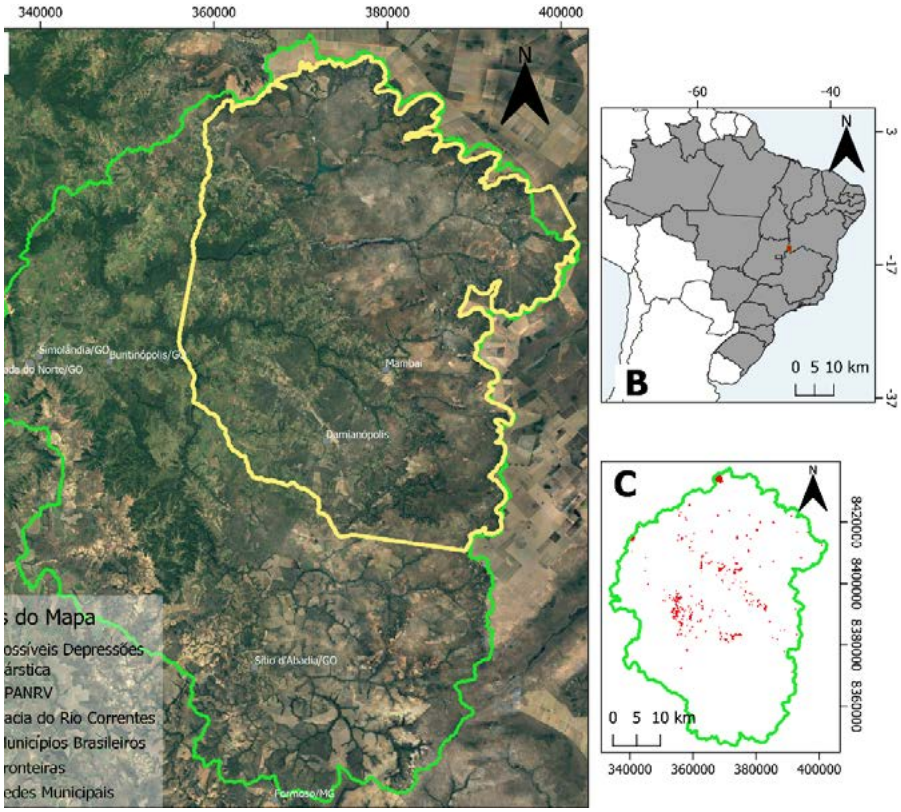


FIGURA 1: A) Localização da APANRV na Bacia Hidrográfica do Rio Correntes e Sedes Municipais que a compõem (exceto Posse); **B)** Mapa de contexto da localização da área de estudo no Brasil; **C)** Possíveis depressões cársticas (FERREIRA, 2020).

3. Materiais e Métodos

Esta pesquisa iniciou-se a partir do levantamento teórico-metodológico sobre a temática em questão, em trabalhos acadêmicos (TCC, Dissertações, Teses) e artigos científicos de revistas indexadas na plataforma de periódicos CAPES. As demais etapas estão dispostas a seguir:

3.1 Levantamento Cartográfico

A base de dados principal utilizada foi oriunda da pesquisa de mestrado de Ferreira (2020), que mapeou as possíveis áreas de depressões cársticas inseridas na Bacia do Rio Correntes. Para aquisição da rede drenagem com maior acurácia, utilizou-se o SAGA GIS (v. 2.3.2), que possui maior gama de ferramentas sem necessidade de instalação de complementos. Para isso, foi elaborado um Modelo Digital de Elevação (MDE) de resolução espacial de até 12,5 metros, com base nos dados do sensor PALSAR, do satélite ALOS. Tais dados foram obtidos pelo sítio eletrônico do Sistema Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey-USGS*), o *EarthExplorer*.

Para geração do *shapefile* de hidrografia, o primeiro passo se deu pela utilização da ferramenta *fill sinks*, para a correção de possíveis erros obtidos na captura da imagem. A partir disso, o recurso *Channel network and drainage basins* pôde ser utilizado, no intuito de extração da hidrografia. É importante ressaltar que as ferramentas foram aplicadas em sua versão padrão, inclusive o *threshold* (limiar), para que o arquivo não fosse gerado com pouca ou demasiada informação (quanto mais próximo de 1, maior a acurácia).

Para o mapeamento, fora utilizado o QGIS (v. 3.16.3 *With Grass*), *software* gratuito de processamento de dados geoespaciais (como *raster* e *shapefiles*), pois permite a utilização do *plug-in* Google Satellite, que auxilia na detecção das descontinuidades do dossel. O MDE fora utilizado para geração de mapas de Altimetria e extração de curvas de nível, no intuito de verificar se haveria feições sobre cotas fechadas (topos) e fora dos vales.

3.2 Identificação das feições:

Na interpretação de imagens de satélite foi necessário estabelecer correlações entre os elementos da imagem e elaborar hipóteses interpretativas. Os critérios usados na identificação e determinação de um objeto envolvem: forma, tamanho, tonalidade, localização do objeto na paisagem, textura e estrutura (PANIZZA; FONSECA, 2011).

Nesse sentido, seguindo o disposto, se fez necessária a análise e correlação das imagens com as formas físicas da paisagem. Para reconstruir a evolução da paisagem, é importante entender os aspectos de análise dos sistemas de drenagem (SILVA; SANTOS, 2010). O processo interpretativo requer correlações entre o que se observa nas imagens e a realidade, sendo os reconhecimentos de campo essenciais no processo de validação dos objetos identificados. A realidade do terreno (trabalho de campo) e as fotografias ou imagens podem ser fundamentais em várias etapas da interpretação visual (PANIZZA; FONSECA, 2011).

Imagens de mais alta qualidade auxiliam e facilitam as análises do relevo. Arquivos LiDAR, por exemplo, geradas a partir de laser (que possui comprimento de onda que ultrapassa o dossel) são de melhor acurácia se tratando da superfície do terreno (KIM; NAM; YOUN, 2015). Entretanto, tais imagens não são tão comuns em território brasileiro, dificultando a realização das análises que necessitam delas.

Filtros foram utilizados no arquivo vetorial de depressões, disponibilizado por Ferreira (2020), no intuito de separar os sumidouros das outras subsidências cársticas. Dessa forma, tomou-se como critérios para checagem em campo e registro como sumidouro/ressurgência: 1) presença de hidrografia sobre a feição; 2) descontinuidade do dossel e; 3) ocorrência em regiões de vales. Imagens temporais presentes no *software Google Earth Pro* (v. 7.3.3.7786) também foram utilizadas no intuito de verificar interrupções na vegetação ciliar de acordo com as variações sazonais. Por fim, fora gerado um gráfico de barras, no intuito de demonstrar a redução dos polígonos do arquivo vetorial inicial após a aplicação dos filtros propostos.

4. Resultados e Discussões

A paisagem cárstica da APANRV dispõe de feições típicas do relevo cárstico resultantes dos processos de dissolução, tanto por águas superficiais como subterrâneas. São encontradas depressões fechadas, dolinas, sistemas de cavernas, desfiladeiros, além de vales secos, desenvolvidos por atividade fluvial superficial, mas que perdem o fluxo para o subsolo por meio da ocorrência de sumidouros, formando depósitos fluviais contidos nos paleovales abandonados com sedimentos que podem ser utilizados em estudos paleoambientais. Assim

sendo, é de grande importância a identificação de tais feições que estão diretamente relacionadas com a dinâmica fluviocárstica e a evolução da paisagem. Neste sentido, inicialmente foi realizada a aplicação do primeiro filtro, utilizando apenas as possíveis depressões cársticas (FERREIRA, 2020) que perpassavam a hidrografia extraída do MDE. Dessa forma, foram excluídas 22 áreas das 232 localizadas no vetor inicial, resultando em 210 itens remanescentes na tabela de atributos do arquivo (Figura 2-A/B).

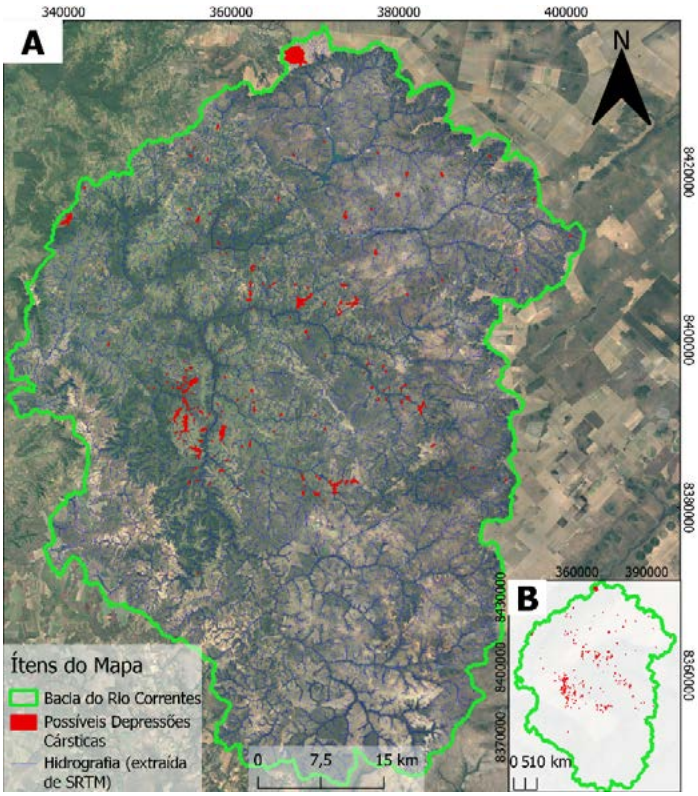


FIGURA 2: A) Possíveis depressões cársticas que interceptam a hidrografia extraída de SRTM; **B)** Demonstração da redução dos polígonos presentes na Figura 1-C.

Apenas a aplicação da hidrografia não seria plausível, já que o software gera demasiadas linhas de fluxo em locais onde, visualmente, não há qualquer indício de fluxo superficial (como ocorre com os paleovales). Desse modo, o modelo possui linhas contínuas, sem interrupções, sendo necessárias outras filtragens no arquivo vetorial de possíveis depressões cársticas, a fim de estabelecer as que melhor representariam regiões com sumidouros.

Em seguida, a interpretação das imagens de satélite possibilitou a identificação das feições, observando as anomalias de drenagem (Figura 3). Acompanhando visualmente o percurso da rede hidrográfica normalmente vegetada, observam-se locais cuja vegetação repentinamente muda de tonalidade, por conta da ausência de água, e posteriormente reaparece no mesmo sentido do vale, oferecendo indícios de captura e ressurgência de drenagem, conforme o caso a seguir (Figura 3-A). A Figura 3-C reafirma a anterior, demonstrando que a umidade relativa presente nos diferentes meses do ano permite a identificação dos paleovales e, consequentemente, de seus sumidouros e ressurgências.

A variação histórica de imagens (*Google Earth Pro*) permitiu a verificação das áreas, alternando-as para observação da presença ou ausência de vegetação ao longo dos cursos d'água nas diferentes estações. Assim, foi possível deter-

minar se a área de prováveis subsidências estava circunscrita em áreas de extrema possibilidade da existência de sumidouros, como demonstrado na Figura 3-A. Com a aplicação deste critério vegetacional, foram identificadas 170 feições que correspondiam ao filtro aplicado (Figura 3-B/D).

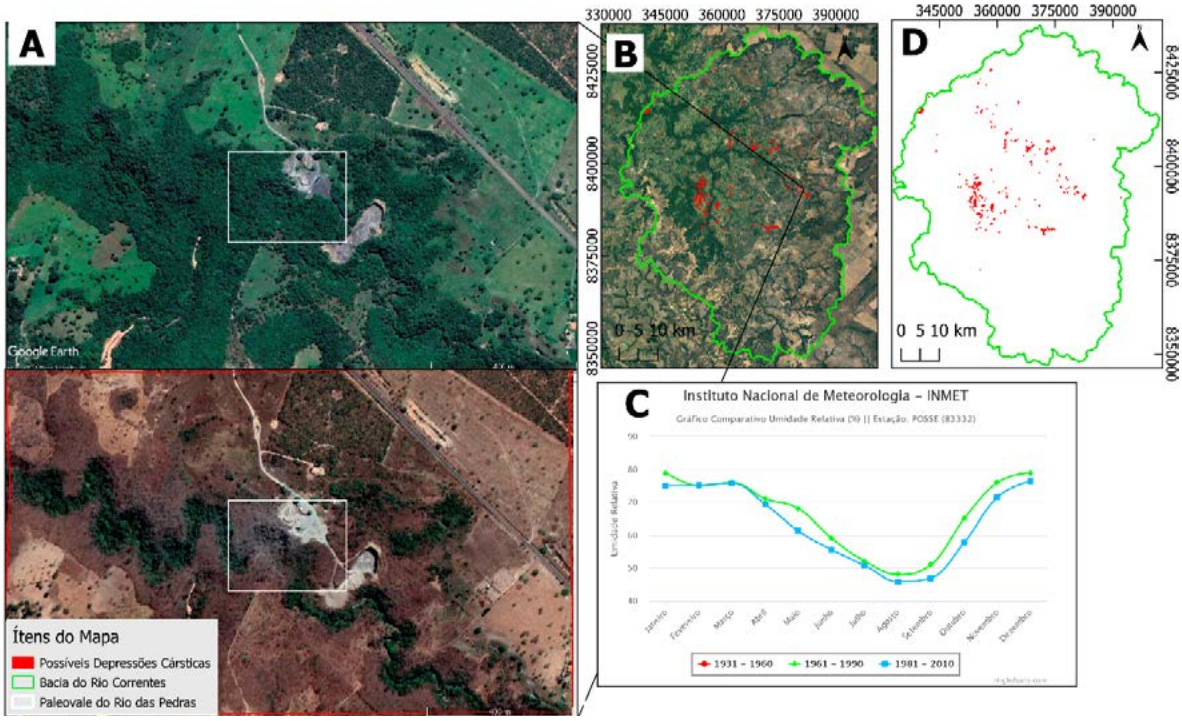


FIGURA 3: A) Demonstração da alteração de tonalidade da vegetação após captura fluvial nos meses de Abril/2020 (maior umidade – imagem superior) e agosto/2019 (menor umidade – imagem inferior); **B)** Possíveis depressões cársticas que, além de interceptarem a hidrografia extraída de SRTM, se relacionam com vegetação ciliar; **C)** Gráfico demonstrativo de umidade de janeiro a dezembro no estado do Goiás (estação Posse); **D)** Demonstração da redução dos polígonos presentes na imagem 2-C.

Por fim, a partir da geração do mapa hipsométrico (Figura 4-A) e das curvas de nível (Figura 4-A/B), foi possível verificar se as feições se encontravam nos vales ou nos topos dos divisores de bacia. Nenhum artefato do arquivo vetorial fora excluído nessa etapa, uma vez que todos se encontravam nos respectivos vales.

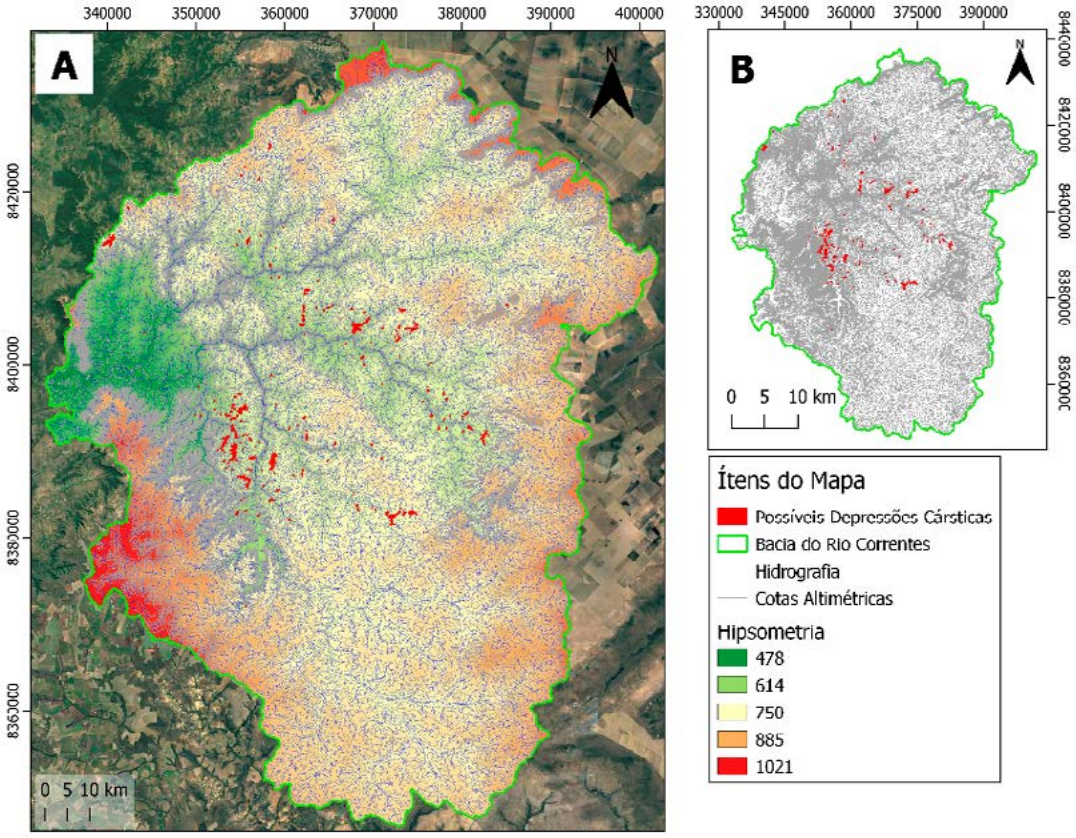


FIGURA 4: A/B) Distribuição das possíveis depressões cársticas na hipsometria da Bacia Hidrográfica do Rio Correntes.

A Figura 5 demonstra a diminuição dos polígonos vetoriais, desde o início até a utilização do filtro final. Dessa maneira, partindo do pressuposto da existência de 232 possíveis áreas de ocorrência de depressões cársticas e aplicando os critérios pré-estabelecidos podemos considerar 170 áreas onde há possibilidade de ocorrência de sumidouros, necessitando de checagem de campo a realizar em momento posterior para validação das informações.

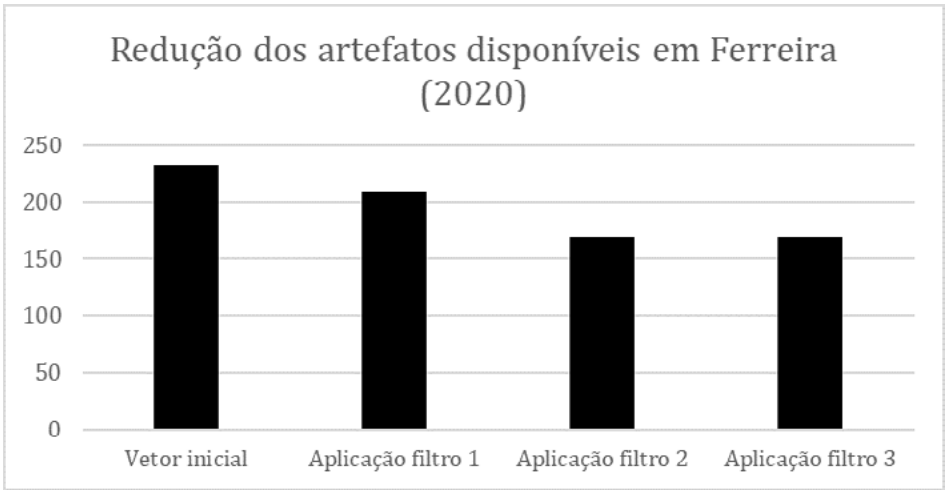


Figura 5: Redução dos artefatos disponíveis em Ferreira (2020) pela utilização dos filtros.

5. Considerações

Devido às especificidades do relevo cárstico, a metodologia aplicada para indicar possíveis locais com ocorrências de sumidouros é essencial para orientar os futuros trabalhos de campo para sua identificação tais como a finalidade de ampliar estudos paleoambientais inscritos na bacia hidrográfica. O uso de dados cartográficos associados a *softwares* possibilita uma observação sistematizada dispondo de várias escalas espaciais e temporais, oferecendo uma alternativa simples e acessível, quando não se dispõe dos recursos necessários para adquirir base de dados com alta qualidade de resolução.

Do arquivo vetorial inicial, fornecido por Ferreira (2020), foram identificados 170 polígonos circunscritos em locais próximos a prováveis paleovales, indicando a possibilidade de presença de sumidouros e ressurgências. Há necessidade de realização de trabalhos em campo para a verificação e confirmação dos dados aqui apresentados. Além disso, estas atividades servirão para a criação de *shape-files* de pontos, que poderão ser utilizados futuramente para a automatização da suscetibilidade de sumidouros e ressurgências na área de estudo, gerando mapeamento mais amplo e completo.

É importante ressaltar que devido a pandemia gerada pelo vírus SARS-CoV-2, o Coronavírus, as atividades de campo para validação das feições obtidas não foram realizadas.

Agradecimentos

À Universidade de Brasília - UnB pelo incentivo por meio do repasse de bolsa de Iniciação Científica. Ao ICMBio, ao Laboratório de Geografia Física da Universidade de Brasília (LAGEF/UnB) e ao Grupo de Estudos do Geossistema do Carste (geoCarste) pelo suporte à realização da pesquisa.

Referências

BAHTIJAREVIĆ, Aida; FAIVRE, Sanja. Quantitative comparative geomorphological analysis of fluvial and karst relief of Florida. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 5, p. 1–20, 2016.

BERBERT-BORN, Mylène; TRINDADE, Jonatan Souza da. Introdução à geomorfologia e espeleologia da região de Mambaí, Goiás. In: MOTTA, J. A. O. (Ed.). "Projeto Cavernas de Mambaí: Caracterização do Ecossistema Cárstico Localizado no Município de Mambaí e Entorno". Goiás: **Ministério do Meio Ambiente** - MMA, 2003. p. 41–76.

BOČIĆ, Neven. Relation between karst and fluviokarst relief on the slunj plateau (Croátia). **Acta Carsologica**, v. 11, p. 137–146, 2003.

BOČIĆ, Neven; BAĆURIN, Željko. Geomorphological Conditions Of The Genesis Of The Ponor Jovac Cave (Croatia). **Acta Carsologica**, v. 6, n. 33/2, p. 107–113, 2004.

BOČIĆ, Neven; PAHERNIK, Mladen; MIHEVC, Andrej. Geomorphological significance of the palaeodrainage network on a karst plateau: The Una-Korana plateau, Dinaric karst, Croatia. **Geomorphology**, v. 247, p. 55–65, 2015.

CALDEIRA, Dandara; UAGODA, Rogério; NOGUEIRA, Adivane Morais; GARNIER, Jeremie; SAWAKUCHI, André Oliveira; HUSSAIN, Yawar. Late Quaternary episodes of clastic sediment deposition in the Tarimba Cave, Central Brazil. **Quaternary International**, v. 580, n. January, p. 22–37, 2021.

FERREIRA, Cristiano Fernandes. **Detecção de Dolinas com apoio de Modelos Digitais de Elevação e Imagens de Alta Resolução:** Estudo de Caso na APA Nascentes do Rio Vermelho-GO. Dissertação-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília-UnB, Brasília, 2020.

FLOREA, Lee. Using state-wide GIS data to identify the coincidence between sinkholes and geologic structure. **Journal of**

Cave and Karst Studies, Alabama, v. 67, no. 2, p. 120–124.

FORD, Derrick. Karst. In: DEARBORN, F. (Ed.). **Encyclopedia of Caves and Karst Science.** New York: Fitzroy Dearborn, 2004. p. 1017–1020.

FORD, Derrick; WILLIAMS, Paul. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. Second ed ed. Chichester: Wiley, 2007.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria de Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Por Edgardo M. Latrubesse, Thiago Morato de Carvalho. Goiânia, 2006.

HUSSAIN, Yawar ; UAGODA, Rogério ; BORGES, Welitom ; NUNES, José; HAMZA, Omar; CONDORI, Cristobal; ASLAM, Khurram; DOU, Jie; CÁRDENAS-SOTO, Martín. The potential use of geophysicalmethods to identify cavities, sinkholes and pathways forwater infiltration. **Water** (Switzerland), v. 12, n. 8, 2020.

JERIN, Tasnuba; PHILLIPS, Jonathan. Local efficiency in fluvial systems: Lessons from Icicle Bend. **Geomorphology**, [*s. l.*], v. 282, p. 119–130, 2017.

KIM, Young Je.; NAM, Boo Hyun; YOUN, Heejung. Sinkhole Detection and Characterization Using LiDAR-Derived DEM with Logistic Regression. **Remote Sens**. 2019, 11, 1592.

KOŠUTNIK, Jure. Questiona Of Dry Valleys In Karst : Case Study Of Mali Dol , Kas (Slovenia) Vprašanje Suhih Dolin Na Krasu , Primer Malega Dola , Kras (Slovenija). **Acta Carsologica**, v. 36, n. 3, p. 425–431, 2007.

MIRANDA, Suzane Aparecida Morais. **Uso e Ocupação do Solo na APA das Nascentes do Rio Vermelho:** Conflito Socioambiental em Mambaí – GO. Monografia- Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

NUNES, José Gustavo da Silva**. Mapeamento de solos através de técnicas diretas e indiretas na APA Nascentes do Rio Vermelho, Mambaí-GO**. Dissertação de mestrado- Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília-UnB, Brasília, 2020.

OLIVEIRA, Leanize Teixeira *et al.* Comportamento Hidrogeológico do Grupo Urucuia: Sub- bacias dos rios Formoso e Arrojado. **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, n. 71, p. 1–15, 2008.

PALMER, Arthur N. **Cave Geology**. Dayton: Cave Books, 2007.

PANIZZA, Andrea de Castro; FONSECA, Fernanda Padoves. Técnicas de Interpretação Visual de Imagens. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 30, p. 30–43, 2011.

PHILLIPS, Jonathan D. *et al.* Divergent evolution in fluviokarst landscapes of central Kentucky. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 29, n. 7, p. 799–819, 2004.

PHILLIPS, Jonathan D. Historical contingency in fluviokarst landscape evolution. **Geomorphology**, [*s. l.*], v. 303, p. 41–52, 2018.

PHILLIPS, Jonathan D. Landform transitions in a fluviokarst landscape. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, [*s. l.*], v. 61, n. 2, p. 109–122, 2017.

SILVA, Telma Mendes da; SANTOS, Bárbara Pereira dos. Sistemas de Drenagem e Evolução da Paisagem. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 4, n. 1, p. 5–19, 2010.

SILVA JÚNIOR, Josias José da. **A Produção dos Espaços e do Território: Turismo e Empreendedorismo na APA nas Nascentes do Rio Vermelho - Goiás**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia, 2019.

TÎRLĂ, Laura; MIREA, Ionuț; VIJULIE, Iuliana. Geomorphological and structural patterns of the scarp-related steep dry valleys in limestone ridges: A case study from South Carpathians, Romania. **Geomorphologie: Relief, Processus, Environnement**, v. 22, n. 4, p. 399–408, 2016.

TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. **Princípios de Carstologia e Geomorfologia C**ársticа. 1 ed. Brasília: ICMBio/IABS, 2019.

VULNERABILIDADE GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE TERESINA

Leonardo Victor Sousa de Brito
Universidade Federal do Piauí
Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, S/N, Bairro Ininga, Teresina - PI, 64049-550
E-mail: victorleonardo896@ufpi.edu.br
Cláudia Maria Sabóia de Aquino
Docente do Curso de Geografia da Universidade Federal do Piauí
Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, s/n, Bairro Ininga, Teresina - PI, 64049-550
E-mail: cmsaboia@ufpi.edu.br
Francílio Amorim dos Santos
Instituto Federal do Piauí / Campus Piripiri
Av. Rio dos Matos, S/N, bairro Germano, Piripiri - PI, CEP: 64.260-00
E-mail: francilio.amorim@ifpi.edu.br
Renê Pedro de Aquino
Universidade Estadual do Piauí
Campus Clóvis Moura, Dirceu Arcoverde, Teresina - PI
E-mail: rene.uespi@hotmail.com

Resumo

O estudo teve por objetivo analisar em caráter exploratório, com base em levantamento bibliográfico, as características geológico-geomorfológicas e hidrográficas, a vulnerabilidade geológica com base na composição litológicas das formações geológicas e geomorfológica com base na declividade dos terrenos, de modo a subsidiar o planejamento urbano do município de Teresina, capital do estado do Piauí. Desse, modo foram identificadas tres formações geológicas no município estudado, quais sejam: Pedra de Fogo (995,988936 km2 / 71,6%); Piauí (335,242086 km2 / 24,1%); Pastos Bons (59,814978 km2 / 4,3%). Ao passo que as classes de declividade foram as seguintes: relevo plano e suave ondulado em 932,0 km2 (67%); relevo ondulado em 343,6 km2 (24,7%); relevo forte ondulado e montanhoso que se distribui por 115,5 km2 (8,3%). A distribuição percentual das formações geológicas e a classes de declividade indicaram que em todas as formações geológicas há predomínio da classe de declividade suave ondulado.

Palavras-chave: Capital do Piauí; Vulnerabilidade; Geotecnologia.

1. Introdução

Inicialmente, destaca-se que a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica; ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência, isto é, a capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica (AQUINO *et al*., 2017).

Nos últimos anos com o aumento da urbanização em diversas regiões do Brasil, observa-se o aumento de áreas vulneráveis a distintos problemas de ordem ambiental, desde enchentes, inundações, secas, erosão, deslizamentos, etc., relacionados à ocupação humana em áreas susceptíveis a riscos naturais, como encostas declivosas e áreas marginais. Desta forma, é de suma importância compreender e relacionar aspectos relativos a características físicas do ambiente como geologia e geomorfologia, de modo integrado como forma de avaliar a vulnerabilidade dos ambientes.

De acordo com Pereira (2019), o estudo das feições geológico-geomorfológicas tem importância fundamental no desenvolvimento das atividades humanas e urbanas, por trazer a potencialização da superfície e dos materiais que podem ser descobertos no subsolo.

O estudo teve por objetivo analisar em caráter exploratório, com base em levantamento bibliográfico as características geológico-geomorfológicas e hidrográficas, a vulnerabilidade geológica com base na composição litológicas das formações geológicas e geomorfológica com base na declividade dos terrenos, de modo a subsidiar o planejamento urbano do município de Teresina, capital do estado do Piauí.

2. Material e métodos

2.1 Localização da área em estudo

O município de Teresina está localizado no médio curso do rio Parnaíba, cuja sede municipal situa-se às coordenadas geográficas: Latitude 05°05′ 21′ Sul e Longitude: 42°48′ 07′ Oeste (Figura 1). De acordo com último censo, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), o referido município possuía uma população de 814.230 habitantes, distribuída em 1.392 km2, cuja densidade demográfica para aquele ano foi de 584,94 hab./km2.

2.2 Procedimentos metodológicos

O trabalho baseou-se em revisão bibliográfica, comparando-se dados diversos sobre geologia e geomorfologia geral do município de Teresina, bem como dados constantes no Plano Diretor da referida cidade e na Prefeitura Municipal de Teresina (TERESINA, 2019). Ao passo que para a analise da vulnerabilidade geológica e geomorfológica fez-se uso da metodologia proposta por Crepani (2001), tendo sido a mesma devidamente adaptada para a realidade do presente estudo.

Para a vulnerabilidade geológica considerou-se a litologia/grau de coesão das rochas e para a vulnerabilidade geomorfológica, empregou-se a declividade. Desse modo, utilizou-se o arquivo vetorial da geodiversidade do estado do Piauí, adquirido junto ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006a). Ressalta-se que a vulnerabilidade geológica parte do princípio do grau de coesão das rochas, ou seja, a intensidade existente na ligação entre os seus minerais ou partículas que constituem as mesmas.

Desse modo, empregou-se a metodologia de Crepani *et al*. (2001), adaptado por Soares (2016), logo têm-se as seguintes classes e valores de vulnerabilidade geológica: Formação Pedra de Fogo (vulnerabilidade baixa – 1,0), Formação Pastos Bons (vulnerabilidade moderada – 2,0) e Formação Piauí (vulnerabilidade alta – 3,0).

O mapa de declividade que demonstra as inclinações de uma dada área em relação a um eixo horizontal e serve como fonte de informações para as formas de relevo, aptidões agrícolas, riscos de erosão, restrições de uso e ocupação urbana, entre outros (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). O parâmetro declividade foi utilizado para caracterizar o relevo da área, cuja determinação das classes baseou-se no Modelo Digital de Elevação (MDE), que tomou como base arquivo matricial da Missão Topográfica Radar *Shuttle* (*SRTM*), junto ao banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2017).

Para o referido critério e delimitação das classes de declividade foram estabelecidas conforme proposto pela Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA, 2009), como estão segue-se: 0 a 3% (relevo plano / vulnerabilidade 1,0), onde se tem as superfícies que possuem a topografia horizontal, com desnivelamentos muito pequenos; 3 a 8% (suave ondulado / vulnerabilidade 1,5), que exibe superfície de topografia pouco movimentada, constituindo elevações de 50 a 100 m; 8 a 20% (ondulado / vulnerabilidade 2,0), quando as superfícies topográficas são pouco movimentadas, apresentando declives moderados; 20 a 45% (forte ondulado / vulnerabilidade 2,5), com superfícies de topografia movimentadas, variando de 50 a 100 m e 100 a 200 m, com declives fortes; 45 a 75% (montanhoso / vulnerabilidade 3,0), cuja topografia é vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, constituídas por desnivelamentos grandes, declives fortes ou muito fortes.

3. Resultados e discussão

O Município de Teresina está encravado na parte central da Bacia Sedimentar Paleozóica do Maranhão-Piauí, sob o domínio das seguintes formações geológicas: Formação Piauí, Formação Pedra de Fogo e Formação Pastons Bons (Figura 2), com idades que remontam do Carbonífero, Permiano e Jurássico.

A Formação Piauí é composta por arenitos, siltitos, folhelhos e calcários, tendo se originado em ambientes continental fluvial e litorâneo, com intercalações marinhas, idade geológica (CPRM, 2006a; 2006b). Por sua vez, a Formação Pedra de Fogo constitui-se de arenitos, folhelhos, calcários e silexitos, cuja ocorrência dá-se em ambientes marinhos rasos e litorâneos, geralmente aflora em linhas gerais em uma estreita faixa irregular, quase contínua de forma semi-circular; essa formação tem idade permiana e apresenta ótimas características para fundação, devido à sua constituição e textura (CPRM, 2006a; 2006b). Por seu turno, a Formação Pastos Bons comprende os arenitos, folhelhos e calcários, cuja origem ocorre em ambientes desértico, fluvial e lacustre, idade geológica (CPRM, 2006a; 2006b).

Ressalta-se que as formações Pedra de Fogo, Piauí e Pastos Bons distribuem-se respectivamente, por 995,988936 km2 (71,6%), 335,242086 km2 (24,1%) e 59,814978 km2 (4,3%) do município de Teresina. Por sua vez, o relevo do município conta com uma das mais baixas altitudes do estado variando de 100-150 m, ao passo que o relvo apresenta predominantemente classes de declividade plana e suave ondulada (Figura 3).

Em relação à declividade média do relevo observa-se que a distribuição absoluta e percentual das classes aponta que em 932,0 km2 (67%) da área há predomínio de relevo plano e suave ondulado, classes que se caracterizam por desnivelamentos muito pequenos e topografia pouco movimentada conforme EMBRAPA (2009). Por sua vez, as classes de relevo forte ondulado e monta-

nhoso distribuem-se por 115,5 km2 (8,3%) da área e constitui área que deve ser destinada particularmente à preservação, por caracterizar-se como área de preservação permanente, conforme indica o Código Florestal (2012). Ressalta-se, ainda, que em 343,6 km2 (24,7%) do município estudado encontra-se relevo com declividade ondulada.

Na Tabela 1 é possível observar a distribuição percentual das Formações geológicas e a classes de declividade ocorrentes em cada uma delas. Pode-se constatar que em todas as formações geológicas há predomínio da classe de declividade suave ondulado, este fato resulta da similaridade litológica das rochas que compõem as referidas formações aliada ao padrão climático da área de estudo (clima tropical quente e úmido), que imprime a similaridade no processo de intemperização das rochas.

De acordo com Reis Filho (2012), a altitude média da cidade de Teresina é de 72 m e a do município como um todo está entre 100 e 150 m, caracterizando-se por apresentar relevo plano, com suaves ondulações. As colinas, com topo achatado e flancos muito inclinados, as chapadas apresentando a superfície plana e os vales entalhados são as feições topográficas mais frequentes na área. Desse modo, observam-se apenas três áreas com declividade acentuada superior a 15%:

a) A primeira, considerada a maior de todas elas, encontra-se na zona sul da área urbana, às margens do rio Poti, e compreende os bairros: Redenção, Lourival Parente e Bela Vista com concentrações esparsas, formando uma área de aproximadamente 500 ha;

b) A segunda área constitui-se de faixas alongadas a leste do bairro Cidade Satélite e bairro Pedra Mole;

c) A terceira localiza-se na zona norte da cidade às margens do rio Poti, no bairro Água Mineral.

4. Considerações finais

Considerando a análise empreendida a partir dos dados geológicos e geomorfológicos do município de Teresina, para estudo da vulnerabilidade do referido município depreende-se que o mesmo apresenta uma baixa vulnerabilidade ambiental, posto haver predomínio das classes de declividade plano a suave ondulado (67%), ocorrendo em um substrato geológico que apresenta ótimas características para fundação, devido à sua constituição e textura, qual seja a Formação Pedra de Fogo (71,6%), aspectos que permitem inferir tratar-se de uma área propicia a ocupação desde que de modo ordenado, obedecendo as leis relativas ao ordenamento territorial do referido município.

Contudo, vale ressaltar que na área urbana de Teresina o processo gradativo de uso e ocupação de áreas de maior declividade que tem descaracterizado o relevo sugere ações enérgicas das autoridades como forma de mitigação de danos, notadamente aos recursos hídricos.

Referências

AQUINO, A.R.; LANGE, C.N.; LIMA, C.M.; AMORIM, E.P.; PALETTA, F.C.; FERREIRA, H.P.; BORDON, I.C.A.; ALMEIDA, J.R.; GOMES, M.A.U.G.; ZAMPIERI, M.C.T.; OLIVEIRA, M.J.A.; CORREIA JUNIOR, P.A.; SOUZA, R.R.; MATTIOLO, S.R.; RODRIGUES, S.G. Vulnerabilidade ambiental. In: **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017. p.15 -28.

BRASIL. Novo Código Florestal. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Lei nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012.

BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Mapas estaduais de geodiversidade:** Piauí. Rio de Janeiro: CPRM. 2006a. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2014.

BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Mapa Geológico do Estado do Piauí.** 2. ed. Teresina, 2006b.

CREPANI. E., MEDEIROS, J. S. de., HERNANDEZ FILHO, P. FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V., BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. Riode Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Cidades**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 ago. 2018.

PEREIRA, Y.M. Importância do estudo geológico-geomorfológico para o planejamento urbano da cidade de Janaúba - MG. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: 2009.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1995.

REIS FILHO, A.A.; MOURA, A.C. Contribuição do geoprocessamento para o estatuto da cidade como ferramenta para o planejamento e gestão urbana. In: Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, 6., 2014, Barcelona-Bogotá. **Anais...** Barcelona-Bogotá: 2014.

SOARES, J.P.R.S. **Vulnerabilidade das unidades de paisagem do município de Milton Brandão - PI**: subsídio para o ordenamento territorial. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2016.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento. **Planos**: Governo, Diretores e Municipais. Disponível em: <https://semplan.teresina.pi.gov.br/planos-diretores-3/>. Acesso em: 23 jul. 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE (Serviço Geológico dos Estados Unidos). **Digital elevation**: SRTM 1 Arc-Second Global. 2017. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 23 nov. 2017.