

Geofísica e Espeleologia aplicadas à análise geomorfológica – Um estudo de caso do entorno da Lagoa da Confusão – TO

Morais, F. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS) ; Pereira, G.C. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS)

RESUMO

Este estudo faz a correlação de dados espeleológicos com dados geofísicos, visando o entendimento da evolução geomorfológica do entorno da Lagoa da Confusão, TO. A partir de sondagens elétricas verticais, foram calculadas a resistividade transversal e condutância longitudinal, que estão diretamente relacionadas ao movimento da água subterrânea. Os resultados indicaram um controle geológico dos fluxos subterrâneos e uma constância na direção desses fluxos desde a formação da gruta Casa de Pedra.

PALAVRAS CHAVES

Geomorfologia Cárstica; Geofísica Aplicada; Fluxos Subterrâneos

ABSTRACT

This study is a correlation of speleological data with geophysical data for understanding the geomorphologic evolution of the Lagoa da Confusão surrounding, Tocantins state. From vertical electrical soundings, we calculated the Transverse Resistivity and Longitudinal Conductance, which are directly related to the movement of groundwater. The results indicated a geological control groundwater flow and a constancy in the direction of these flows since the formation of the Casa de Pedra cave.

KEYWORDS

Karst Geomorphology; Applied Geophysics; Groundwater Flow

INTRODUÇÃO

A geomorfologia cárstica é o ramo da geografia que trata do estudo das formas de relevo originadas por processos de dissolução. Entretanto, o carste não se limita apenas às formas internas e externas produzidas por dissolução. Klimchouk e Ford (2000) ressaltam que para o entendimento do carste é necessário que se leve em consideração a interação entre as formas situadas no domínio carbonático e aquelas adjacentes pertencentes a outras litologias. Para Gillieson (1996), o sistema de drenagem no carste pode ser dividido em zonas de percolação, zona vadosa e zona freática. Williams (1983) resalta que a zona vadosa tem grande importância para a dinâmica dos fluxos hídricos no sistema cárstico, uma vez que esta zona regula a quantidade de água proveniente da superfície do terreno que será adicionada aos aquíferos. Portanto, o entendimento da hidrologia de ambientes cársticos se dá a partir do somatório de informações relacionadas aos fluxos superficiais e subterrâneos. Os scallops são feições resultantes do trabalho de dissolução da rocha pelo fluxo direcional. Essas feições têm sido utilizadas como indicadoras de paleofluxo em cavernas (GOODCHILD; FORD, 1971 e LAURITZEN; LUNDBERG, 2000). De Waele et al. (2009) ressaltam que modernas técnicas têm fornecido novos discernimentos acerca dos processos hidrológicos envolvidos na evolução do carste. Neste sentido, o método da eletrorresistividade tem sido bastante usado no estudo de fluxos subterrâneos deste tipo de ambiente (STEVANOVIC; DRAGISIC, 1998; MCGRATH et al., 2002; MILANOVIC, 2004 e CHALIKAKIS et al., 2011). O objetivo deste trabalho é correlacionar dados de condutância longitudinal e resistividade transversal com observações de feições espeleológicas para a definição dos fluxos subsuperficiais no entorno da Lagoa da Confusão, Tocantins, visando contribuir para o entendimento da evolução geomorfológica da área de estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

Com uso do software SPRING 5.1.8, foram elaborados mapas de hipsometria e declividade, visando a

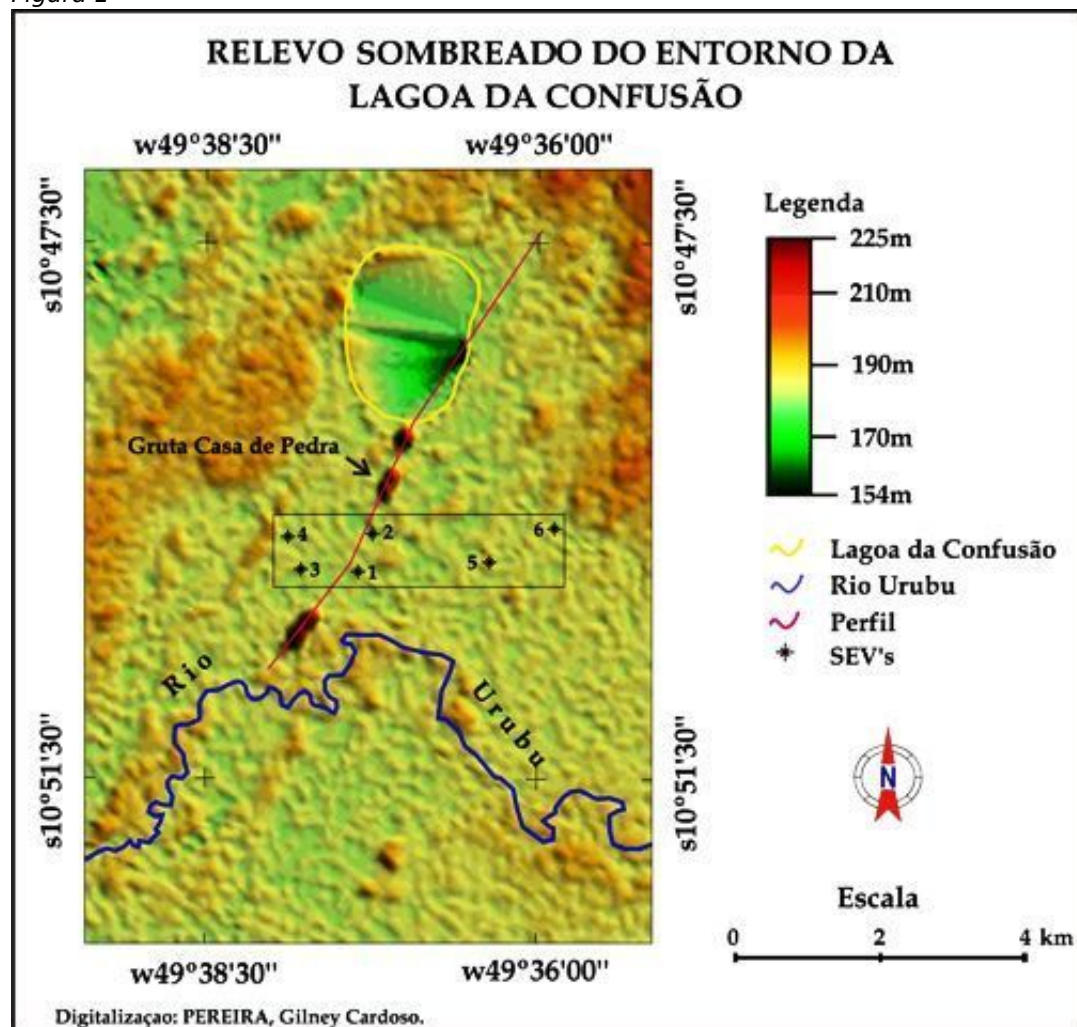
caracterização geomorfológica e a identificação dos fluxos superficiais da área. Com o auxílio do mapa da caverna e de observações in situ, foram determinados os pontos de realização de sondagens elétricas verticais, visando identificar a direção dos fluxos subterrâneos, e correlacioná-las com a direção do paleofluxo, indicada pelos scallops. A técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) consiste em medir a resistência dos materiais frente à passagem da corrente elétrica, e pode variar em função de composição mineral, sendo medida em ohms por metro ($\Omega.m$). Utilizou-se o arranjo Schlumberger pela sua praticidade de realização em campo e confiabilidade dos resultados, como destacado por Braga (2007) e Fachin (2007). A configuração do arranjo Schlumberger é composta por quatro eletrodos, A e B (corrente) e M e N (potencial). Somente os eletrodos de corrente (A e B) são deslocados, sendo esta uma vantagem sobre os demais arranjos. Para este trabalho utilizou-se uma abertura máxima dos eletrodos de corrente de 180m ($AB/2=90m$) e MN constante de 4 metros. Para a interpretação dos fluxos subterrâneos, foram utilizados os parâmetros de Dar Zarrouk, que consistem em medir resistividade transversal e condutância longitudinal das camadas (BRAGA, 2007). A resistividade transversal (T), representada em $\Omega.m^2$, é calculada pela equação: $[Ti]=\pi Ei$. Segundo Braga (2007), a partir dos resultados obtidos para uma camada homogênea e isotrópica com resistividade π e espessura Ei , pode-se calcular a condutância longitudinal (Si) com a aplicação da equação: $[Si]=Ei/\pi$. Para a interpretação das SEV's foi utilizado o programa de computador IPI2win, distribuído gratuitamente pela Universidade de Moscou.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos levantamentos bibliográficos sobre a área de estudo, pode-se afirmar que a mesma está situada na bacia sedimentar do Bananal, com geologia composta por embasamento Neoproterozóico do Supergrupo Baixo Araguaia recoberto por sedimentos quaternários com depósitos aluvionares arenosos e argilosos (GORAYEB, 2011). Os solos da região são Plintossolos (SEPLAN, 2008). A área apresenta clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, e precipitação média anual de 1.750 mm e temperatura média anual de 28 °C. O cerrado é o bioma predominante da área de estudo (SEPLAN, 2008). Nas proximidades da Lagoa da Confusão, foi mapeada a gruta Casa de Pedra, que apresenta dimensões superiores a 1 km. Após o mapeamento, Pontalti (2010) propôs um modelo espeleogenético para a cavidade, atribuindo sua origem a processos paragenéticos. No interior da cavidade, foi possível observar que os condutos principais são condicionados por fraturas que se estendem na direção N-S. Durante a estação chuvosa, que se estende de novembro a maio, a caverna é inundada pelo fluxo superficial proveniente da Lagoa da Confusão, e drena boa parte desta água por sumidouros situados no final do conduto, onde foram observados os scallops geometricamente mais definidos. O corte transversal deste conduto permite inferir que o mesmo se formou na intersecção da fratura com o plano de acamamento da rocha. A partir da observação dos scallops, com base nos procedimentos descritos por Palmer (2007), pode-se definir que o fluxo que gerou o conduto se deu de norte para sul, ou seja, da Lagoa, a norte da caverna, para o rio Urubu, situado a sul da mesma. Durante a estação seca foram realizadas seis sondagens elétricas verticais - SEVs, distribuídas no sentido leste-oeste na área entre a Lagoa da Confusão e o rio Urubu (Figura 1), visando à identificação do contato dos sedimentos quaternários com o embasamento carbonático da Formação Couto Magalhães, Grupo Tocantins. Os resultados mostraram que nas SEVs 1 e 2 o contato dos sedimentos com a rocha se dá entre 36 e 42 metros de profundidade. Enquanto que nos pontos mais afastados, este contato se dá entre 25 e 27 metros de profundidade. Tendo em vista que as SEVs 1 e 2 estão alinhadas ao eixo principal da caverna, pode-se inferir que nesta porção da área de estudo, uma estrutura geológica (falha?) condicionou o rebaixamento do epicarste, possibilitando o acúmulo de mais sedimentos, assim como observado por Veress (2009) em trabalho realizado na Hungria. As curvas de resistividade indicam que o lençol freático está situado a aproximadamente 5 metros de profundidade nos pontos da SEVs 3 e 4, porção oeste, enquanto nos pontos centrais (SEVs 1 e 2), o mesmo se situa a mais de 10 metros de profundidade. Dentre as várias de informações que podem ser obtidas a partir das sondagens geofísicas, os parâmetros de Dar Zarrouk constituem uma ferramenta ainda pouco utilizada no Brasil para a determinação de fluxos neste tipo de ambiente. Os resultados obtidos para as duas camadas de sedimentos sobrejacentes à rocha carbonática indicaram que a condutância longitudinal é maior na porção central da malha de sondagens (Figuras 2a e 2b). Esta área está alinhada às fraturas maiores observadas na caverna. Nesta mesma direção, os dados de resistividade transversal, mostraram os

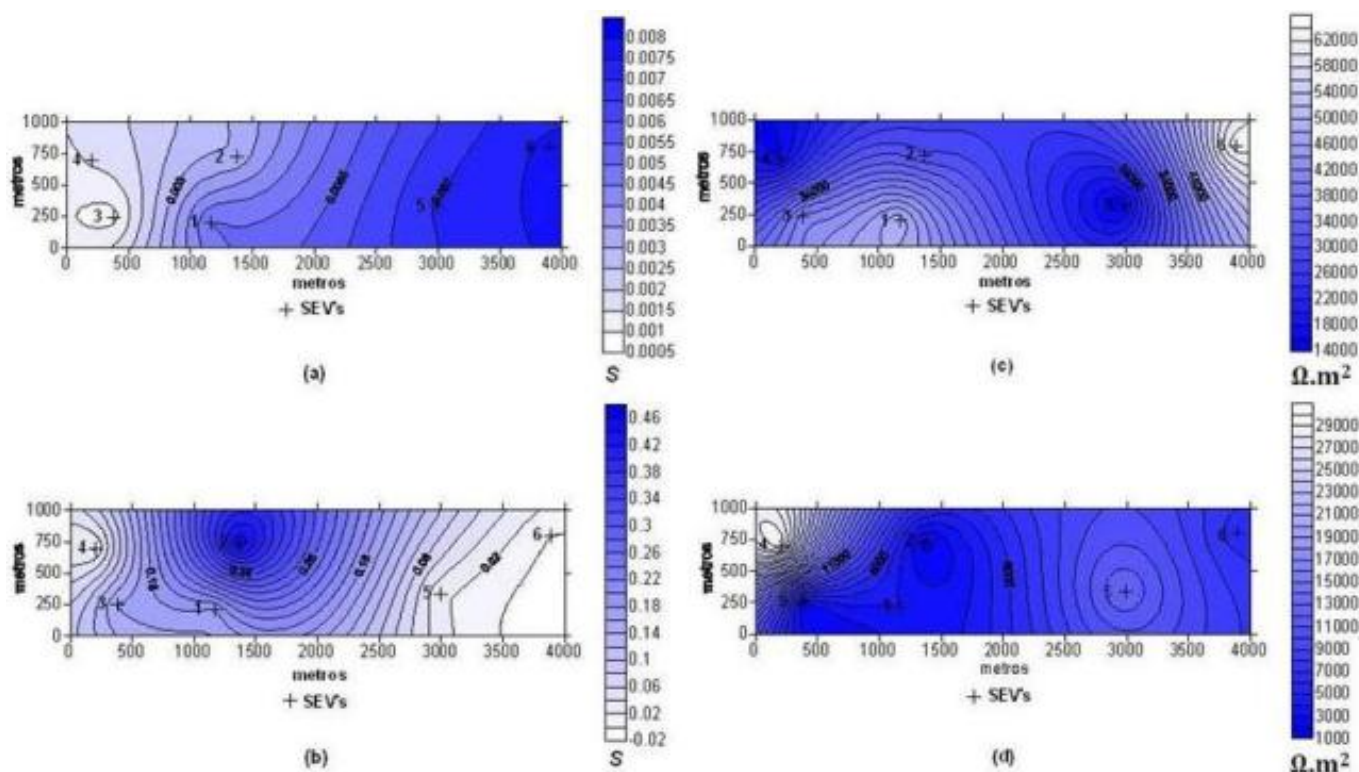
menores valores, indicando a possível concentração de água subsuperficial na parte central da malha de sondagens (Figuras 2c e 2d). O mapa geológico da região mostra que a maioria das falhas geológicas possui direção NE-SW, coincidindo com o alinhamento dos morrotes calcários próximos aos pontos de ensaios geofísicos, suportando a hipótese de condicionamento geológico dos fluxos hídricos subterrâneos.

Figura 1



Relevo sombreado com a localização das SEV's realizadas no entorno da Lagoa da Confusão.

Figura 2



Parâmetros de Dar Zarrouk calculados para uma malha de SEVs. Condutância longitudinal, a e b; resistividade transversal, c e d.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das observações das interpretações espeleológicas e da realização de ensaios geofísicos nas proximidades da gruta Casa de Pedra, pode-se considerar que: Os principais condutos da caverna foram escavados por um fluxo na direção norte-sul, indicada pela geometria dos scallops da parede da cavidade; os dados de resistividade indicam a existência de uma área mais deprimida no sentido NE-SW do epicarste na área investigada; os cálculos de resistividade transversal e condutância longitudinal apontam para a existência de uma descontinuidade na estrutura geológica do terreno, podendo ser esta feição responsável pela acumulação de água subterrânea nesta porção da área estudada; a eletroresistividade apresentou-se satisfatória para a determinação da profundidade do contato dos sedimentos quaternários com embasamento calcário do entorno da Lagoa da Confusão. Existe a necessidade de realização de mais ensaios geofísicos para um melhor entendimento da evolução geomorfológica da área.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi desenvolvido com auxílio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq na forma de bolsa de produtividade, processo nº314759/2009-3, e financiado pelo Edital PPP 02/2010 da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Tocantins em parceria com o CNPq. Os autores agradecem ainda ao Tocantins Espele Grupo, pela ajuda nos trabalhos de campo e ao professor Nuno Alte da Veiga, da Universidade de Coimbra, pela ajuda na interpretação dos dados de geofísica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

BRAGA, A., Métodos Geométricos Aplicados no Estudo de Captação e Contaminação das Águas Subterrâneas. UNESP, 2007. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS>
 CHALIKAKIS, K.; PLAGNES, V.; GUERIN, R.; VALOIS, R.; BOSCH, F. P. Contribution of geophysical methods to karst-system exploration: an overview, Hydrogeology Journal, 19(6): p. 243-251, 2011.

- DE WAELE, J.; PLAN, L.; AUDRA, P. Recent developments in surface karst geomorphology. *Geomorphology*, 106: p.1-8, 2009.
- FACHIN, S. J. S. Ensaio geoeletricos 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto - SP: avaliação de parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema. Dissertação de Mestrado. IAG/USP, São Paulo, SP. 2007. 142 p.
- GILLIESON, D. *Caves: Processes, Development, Management*. Oxford: Blackwell Publishers. 1996. 324 p.
- GOODCHILD, M. F.; FORD, D. C. Analysis of scallop patterns by simulation under controlled conditions. *The Journal of Geology*, 79(1): p.52-62, 1971.
- GORAYEB, Paulo Sérgio de Sousa. *Geologia do Estado do Tocantins: Aspectos Gerais e Conhecimento Atual*. In: MORAIS, Fernando de. *Contribuições a Geografia Física do Estado do Tocantins*. Goiânia: Kelps, 2011.
- KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C. Types of Karst and Evolution of Hydrogeologic Settings. In: KLIMCHOUK, B. A. et al (editors). *Speleogenesis- Evolution of Karst Aquifers (USA)*. National Speleological Society, p.45-53, 2000.
- LAURITZEN, S. E.; LUNDBERG, J. Solution and erosional morphology. In: KLIMCHOUK, B. A. et al (editors). *Speleogenesis- Evolution of Karst Aquifers (USA)*. National Speleological Society, p.407-429, 2000.
- MCGRATH, R.J.; STYLES, P.; THOMAS, E.; NEALE, S. Integrated high-resolution geophysical investigations as potential tools for water resource investigation in karst terrain. *Environmental Geology*, 42(5): p.552-557, 2002.
- MILANOVIC, P. T. *Water Resources Engineering in Karst*. CRC Press, Boca Raton, 2004. 312p.
- PALMER, A. N. *Cave geology*. Cave Books : 2007. 454p.
- PONTALTI, A. L. *Evolução Espeleogenética Sobre da Gruta Casa de Pedra, Lagoa da Confusão - TO*. Monografia de Graduação, Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2010. 75p.
- SEPLAN: Secretaria de Planejamento e meio Ambiente, Diretoria de Zoneamento Ecológico - Econômico - DZE. *ATLAS DO TOCANTINS: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. 5ª ed. Palmas: SEPLAN, 2008.
- STEVANOVIC, Z.; DRAGISIC, V. An example of identifying karst groundwater flow. *Environmental Geology*, 35(4): p.241-244, 1998.
- VERESS, M. Investigation of covered karst form development using geophysical measurements. *Z. Geomorphologie N. F.*, v. 53, n.7, Berlin, p. 467-486, 2009.
- WILLIAMS, P. The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. *Journal of Hydrology*, 61: p.45-67, 1983.