

O ENOS e a dinâmica dos processos de erosão e acreção do Delta do rio Paraíba do Sul entre os anos 1984 e 2021: Uma análise através de imagens LANDSAT

Costa de Almeida, K. (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF) ; Baptista da Rocha, T. (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF) ; Ferreira da Costa, A.P. (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF) ; Borges Fernandez, G. (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF)

RESUMO

O trabalho tem como objetivo mapear as alterações na linha de costa do delta do rio Paraíba do Sul entre 1984 e 2021 em escala anual. Além disso, foram analisados os processos de acreção e recuo na linha de costa nos intervalos temporais onde ocorreram os eventos El Niño e La Niña de forte intensidade. Para o Mapeamento através da detecção de mudança, foi aplicado o índice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) por meio de métodos empregados à plataforma do Google Earth Engine (GEE). Foram utilizadas as coleções de imagens LANDSAT 5, 7 e 8. Os resultados apontam para uma relação entre a ocorrência do ENOS e os períodos de expressiva acreção na linha de costa do delta. Entretanto, não foi possível identificar relação com os intervalos que obtiveram balanço negativo na linha de costa.

PALAVRAS CHAVES

Linha de Costa; EL Niño; La Niña; Google Earth Engine; MNDWI

ABSTRACT

The objective of this work is to map changes in the shoreline of the Paraíba do Sul river delta between 1984 and 2021 on an annual scale. In addition, the processes of accretion and retreat on the shoreline were analyzed in the time intervals where the strong El Niño and La Niña events occurred. For Mapping through change detection, the MNDWI index (Modified Normalized Difference Water Index) was applied through methods used in the Google Earth Engine (GEE) platform. LANDSAT 5, 7 and 8 image collections were used. The results point to a relationship between the occurrence of ENSO and periods of significant accretion on the shoreline of the delta. However, it was not possible to identify a relationship with the intervals that had a negative balance on the coastline.

INTRODUÇÃO

O litoral brasileiro possui características geológicas, como o posicionamento em margem passiva e a drenagem de grandes bacias, que propiciam o aporte para construções deltaicas. Na costa leste brasileira essas características levaram a formação de extensas feições deltaicas, como os deltas dos rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul. Sendo essas, feições que configuram a transição entre o ambiente continental e marinho. São construídas a partir da acumulação dos sedimentos despejados pelos rios e retrabalhados pelas forçantes oceanográficas (ROCHA et al, 2022). Segundo Tessler et al. (2015), a taxa média de crescimento populacional nas áreas de influência de ambientes deltaicos foi maior do que a média global entre 1985 e 2010. Essa pressão antrópica aliado ao debate das mudanças climáticas globais, do aumento do nível do mar e dos eventos climáticos extremos, têm posicionado os deltas como uma área de grande relevância para estudos de prognósticos e ação de adaptação. Os ambientes deltaicos geralmente apresentam progradação em direção ao mar, mas a erosão costeira é um processo frequentemente observado nesses ambientes. Um estudo realizado por Besset, Anthony e Bouchette (2019) classificou 29 dos 54 deltas analisados pelo globo como em quadro de erosão. Os autores sugerem que a construção de barragens nas bacias de drenagem, reduzindo a descarga fluvial, como principal causa. No trabalho foi constatada redução da descarga sedimentar no rio Paraíba do Sul. Outros estudos, como Almeida (2021), Rocha et al. (2018) e Machado (2020) identificaram tanto o processo de erosão quanto de progradação na linha de costa do delta. Além disso, o trabalho de Rocha et al (2019)

identificou truncamentos erosivos alinhados na planície do delta, através de datação por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE). Esses truncamentos descrevem processos erosivos pretéritos seguidos de progradação da planície. Com isso, surge a necessidade de investigações de abrangência temporal mais ampla para o mapeamento e para as causas dos processos de erosão costeira e acreção, cujo balanço pode refletir em perdas ou ganhos de área emersa do delta. Dentre as causas naturais que podem influenciar tais processos, os fenômenos atmosférico-oceânicos El Niño e La Niña são citados por Smith e Barnard (2021), Guzman, Ramos e Dastgheib (2020), Pereira e Klumb-Oliveira (2015), Andrade (2005). Influenciando em passagens de ondulações de tempestade no litoral e direção das correntes litorâneas. Além disso, no território brasileiro, o El Niño pode causar severas secas na região nordeste e aumentar as temperaturas na região sudeste, enquanto a La Niña pode acarretar no aumento da precipitação na região nordeste do país. A planície deltaica do rio Paraíba do Sul apresenta configurações distintas. No flanco norte, a construção se deu com intercalação das cristas de praia por depressões lagunares (COSTA; ROCHA; FERNANDEZ, 2020; ROCHA, et al., 2019; COSTA; ROCHA, 2018; VASCONCELOS et al, 2016). Ainda no Flanco Norte, é encontrada a dinâmica de spits no litoral. Spits são barreiras arenosas conectadas à planície por apenas uma de suas extremidades, Costa, Rocha e Fernandez (2020) e Vasconcelos et al., (2016) descreveram os processos dessa dinâmica. Já no flanco Sul, a planície foi construída por uma sucessão de cristas de praias e depressões arenosas (ROCHA, et al., 2019; FERNANDEZ; ROCHA, 2015). No flanco sul, é evidente o processo de erosão costeira que persiste no litoral de Atafona desde os anos de 1950. Machado (2020) constatou taxas de recua da linha de costa de até -5m/ano. A partir disso, o objetivo do trabalho é mapear as alterações na linha de costa do delta do rio Paraíba do Sul (DRPS) (Figura 2 - Área de estudos) entre 1984 e 2021 em escala anual. O mapeamento será obtido por meio de métodos empregados na plataforma do Google Earth Engine (GEE). Além disso, serão analisadas as alterações ocorridas em anos de El Niño e La Niña de alta intensidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Costa (2021) utilizou a adaptação do script LandTrend, de Kennedy et al. (2018), para mapear detecções de mudança na linha de costa. O LandTrendr cria séries temporais pixel por pixel das imagens a partir de seus valores de reflectância, possibilitando a detecção de alterações na série histórica. Assim como Almeida (2021), o presente trabalho utilizou os métodos desenvolvidos por Costa (2021) para mapear as alterações da linha de costa no delta do Rio Paraíba do Sul desde 1984. O script no Google Earth Engine (GEE) foi executado trinta e sete vezes para obtenção dos mapeamentos das alterações em escala anual, respeitando os intervalos de 1984-1985, 1985-1986, 1986-1987 e assim sucessivamente até o intervalo 2020-2021. Primeiro foram determinados os intervalos temporais; em seguida, foram coletadas as coleções de imagens LANDSAT. No trabalho foram utilizadas as coleções de imagens LANDSAT 5, 7 e 8. A partir das coleções de imagens, foram obtidos os mosaicos anuais compostos com os valores do índice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index). No Trabalho de Xu (2006) é proposto a adaptação do índice desenvolvido por McFeeters (1996), substituindo a utilização da banda de infravermelho próximo pela banda de infravermelho médio para maior exatidão na diferenciação dos alvos. Essa substituição acarreta em maior discrepância entre os valores de área emersa e corpos d'água. Nos índices tanto de Xu (2006) quanto de McFeeters (1996) valores maiores que zero (>0) são representativos da presença de corpos hídricos enquanto que valores menores que zero (<0) representam áreas emersas. Em seguida, os mosaicos foram organizados em lista de maneira cronológica, formando os pares de mosaicos (1984-1985, 1985-1986, 1986-1987...). A partir dos pares foi realizada a multiplicação dos valores MNDWI de cada pixel da primeira imagem pelos valores correspondentes da segunda Imagem, obtendo a imagem- produto. A imagem-produto, é representante das áreas onde ocorreram mudanças de classe, tanto de área emersa para corpo hídrico (mar), quanto de corpo hídrico (mar) para área emersa. Para obter a separação dos tipos de alteração na linha de costa foram necessárias mais algumas etapas, conforme descrito por Costa (2021). Primeiro foi realizado o mascaramento dos valores negativos. Em seguida, foi efetuada a multiplicação dos valores MNDWI dos pixels da primeira imagem de cada par por 10 para extrapolar os valores dos pixels para a próxima operação. O produto dessa multiplicação foi somado aos valores negativos (representativos de alterações) da imagem-produto. Dessa forma, foi possível obter a separação dos tipos de alteração. Alterações do tipo área emersa para corpo hídrico apresentam sempre valores negativos

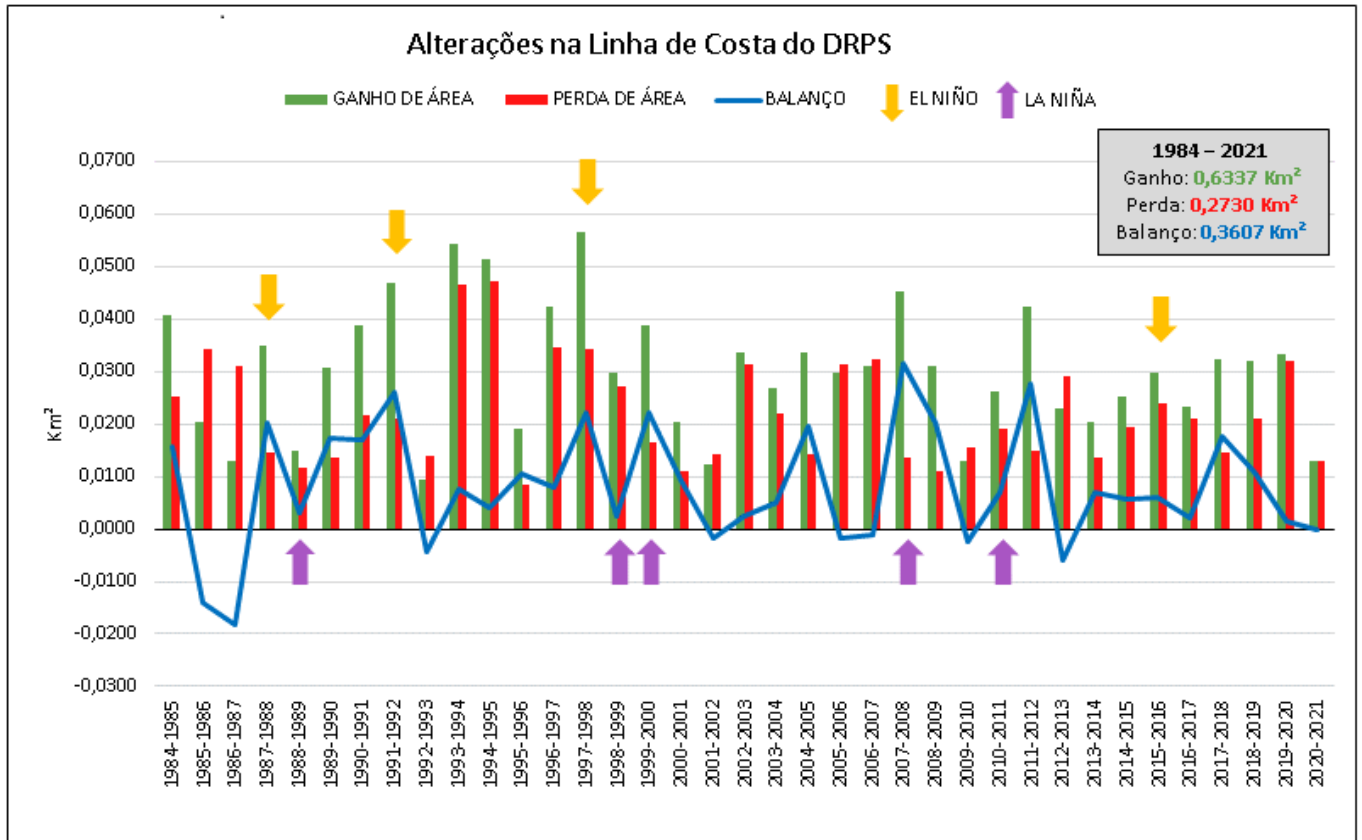
(<0) enquanto que mudanças de corpo hídrico para área emersa apresentam valores positivos (>0). Em seguida, foi necessário realizar novo mascaramento para separação das matrizes de cada tipo de mudança. Após esse resultado, os dados foram vetorizados e exportados do GEE. Além disso, no GEE também foram obtidos os valores de área das superfícies onde ocorreram as alterações, possibilitando o cálculo do balanço entre as alterações decorrentes dos processos de erosão e acreção. Os shapefiles exportados foram trabalhados no programa Arcmap do software ArcGIS para produção dos mapas. Os dados de balanço foram utilizados para produção do gráfico no software Excel. No gráfico de balanço de área, foi inserida a identificação dos períodos em que ocorreram os eventos ENOS mais intensos durante a série histórica trabalhada. Segundo a agência National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA), os eventos ENOS são classificados como fortes quando as temperaturas da superfície do mar atingem valores acima de 1,5°C para El Niño e abaixo de -1,5°C para La Niña. A identificação dos períodos de anomalia e valores de TSM estão disponíveis por meio do seguinte link: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado, foi obtido o mapeamento das alterações na linha de costa do delta do Rio Paraíba do Sul entre 1984 e 2021 em escala anual, constatando os processos de recuo e acreção. A partir dos dados de área, foi calculado o balanço entre perda e ganho de área emersa para cada um dos períodos considerados (Figura 1). Ademais, foram identificados os anos de ocorrência dos fenômenos ENOS de alta intensidade, para análise da linha de costa nesses períodos. Com isso, foi elaborado mapeamento das alterações da linha de costa do DRPS nos intervalos de ocorrência de El Niño intensos (Figura 2) e o mesmo foi feito para os períodos de La Niña de alta intensidade (Figura 3). As alterações da linha de costa nos intervalos entre 1985 e 1987 apresentaram os balanços negativos mais expressivos de toda série histórica analisada (Figura 2). Entre 1985-1986, o recuo da linha de costa se concentrou em Gargaú e, com menor intensidade, nas porções da Ilha da Convivência e Atafona próximas a foz. Enquanto em 1986-1987, o recuo prevaleceu por todo flanco sul do delta, apresentando maior expressão em atafona e na fração da Ilha da Convivência próxima a foz, e menor expressão em Gargaú. É importante ressaltar que durante esse intervalo temporal não ocorreram ENOS de alta intensidade. Fazendo um recorte entre 1987 e 1992, houve o predomínio dos ganhos de área expressivos na linha de costa do delta. Em anos de El Niño, é possível observar a presença da erosão localizada nas áreas centrais enquanto a acreção predomina as extremidades do delta. Além disso, nesse intervalo temporal, entre 1988-1989, ocorreu La Niña e menor balanço de área, devido a menor acreção e maior distribuição da erosão pela linha de costa do delta. No intervalo 1997-1998, ocorreu a maior área de acreção no delta na série histórica, sendo também, um intervalo com ocorrência do El Niño. Com balanço positivo, a acreção pode ser observada por toda linha de costa do delta, enquanto o recuo aparece no litoral de Gargaú, em porções da ilha da convivência e em Atafona. No intervalo seguinte de 1998-1999, há ocorrência de La Niña. O balanço de área tem uma queda, mas continua positivo. Nas extremidades do delta ocorre acreção, na parte central predomina o recuo, entretanto é constatado avanço na fração da linha de costa de Atafona próximo a foz. Nos períodos de 1999-2000 e 2007-2008, ocorreram La Niñas de alta intensidade e foram obtidos balanços positivos. A acreção na linha de costa foi bastante expressiva e o recuo não ocorreu de maneira intensa. A erosão pode ser observada nas proximidades de Gargaú, na Ilha da Convivência e com menor intensidade no litoral de atafona, enquanto a acreção se intercala com esses recuos e é dominante em Grussaí e nas extremidades do delta. Entre 2007 e 2008 ocorreu o maior balanço positivo do período em análise. No intervalo de 2010-2011, ocorreu La Niña mas nesse intervalo o balanço positivo foi menor. A acreção prevaleceu por toda linha de costa do flanco sul do delta, de Atafona a Grussaí, enquanto a erosão foi mais concentrada no litoral de Gargaú e em pequenas porções próximas a foz e na Ilha da Convivência. Entre 2015 e 2016, foi registrado o último El Niño de alta intensidade da série analisada. O balanço se manteve positivo, mas foi o menor obtido entre os intervalos com ocorrência de El Niño. O recuo da linha de costa se concentrou em atafona e na ilha da convivência, enquanto em Gargaú há erosão de pequenos fragmentos, predominando a acreção. Na linha de costa em Grussaí e nas extremidades do delta a acreção foi dominante. A partir da análise das alterações durante os nove episódios de ocorrência de ENOS de alta intensidade, os dados apontam, qualitativamente, para

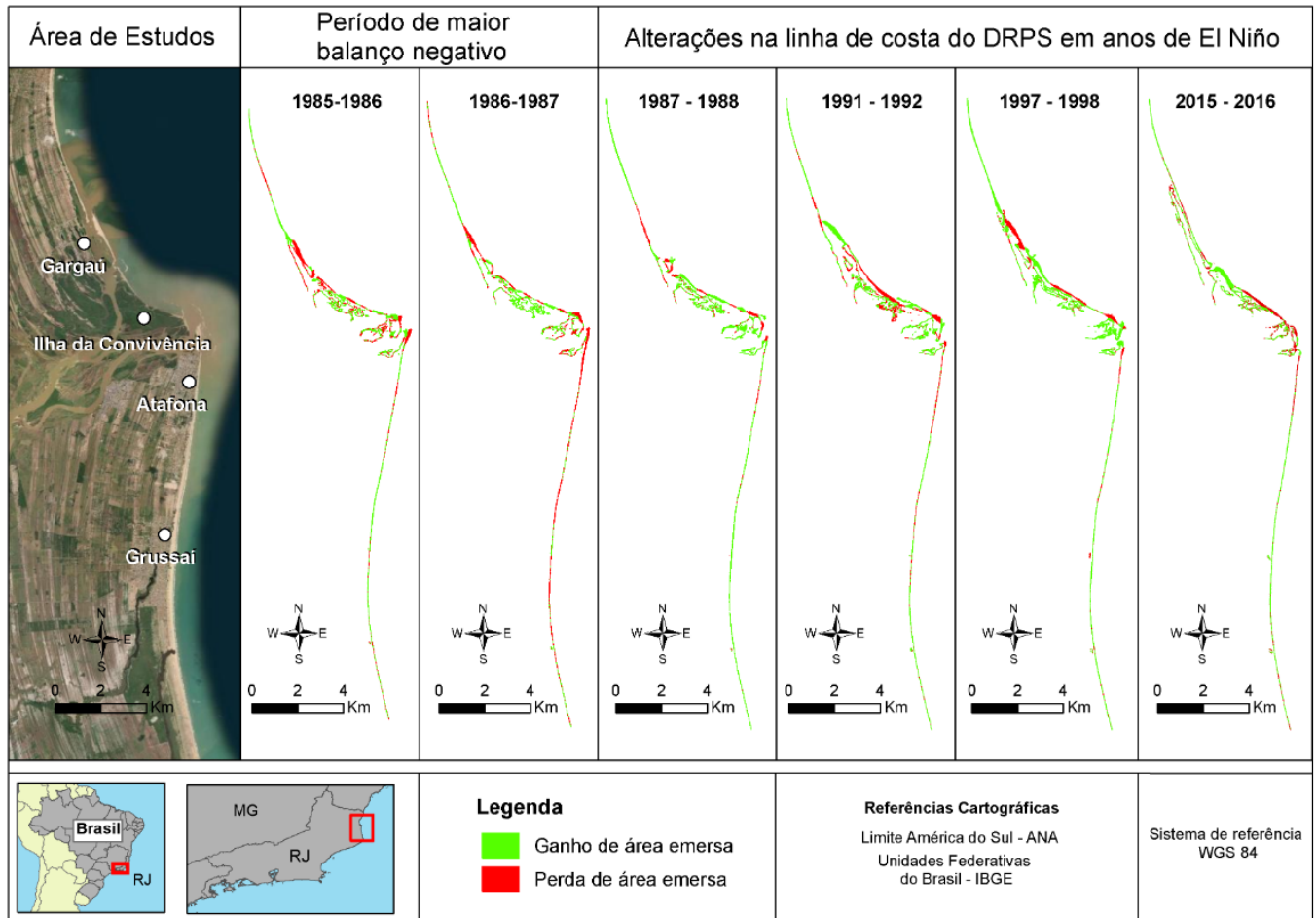
uma relação entre eventos extremos e o balanço positivo da linha de costa do delta. Durante eventos El Niño, ocorreram ganhos expressivos de área, enquanto em La Niña, o balanço positivo reflete a diminuição nos valores de perda de área. No período de 1984 a 2021, foram identificados nove momentos em que o balanço de área na linha de costa do delta obteve valores negativos. Cabe ressaltar que, em nenhum desses intervalos temporais, ocorreram eventos ENOS de alta intensidade. Com isso, não é possível estabelecer relação entre os eventos extremos e as ocorrências de balanço negativo na linha de costa do delta. Entretanto, os autores ressaltam a necessidade de análise estatística dos dados. Em trabalhos como o de Rocha et al (2022), Costa, Rocha e Fernandez (2020) e Besset, Anthony e Bouchette (2019) é identificado e discutido a ocorrência de redução da vazão do Rio Paraíba do Sul nas últimas décadas. É importante ressaltar as alterações na linha de costa durante o intervalo temporal entre 2012 e 2016. Nesse período, as vazões do rio Paraíba do Sul apresentaram valores reduzidos, chegando a uma estiagem extrema nos anos de 2014 e 2015, com valores iguais ou inferiores às mínimas registradas historicamente (INEA). Nessa janela temporal, o ganho de área não apresentou nenhum momento de grande expressão, mas o balanço de área se manteve positivo. No trabalho de Besset, Anthony e Bouchette (2019), o delta do rio Paraíba do sul foi identificado como vulnerável a erosão costeira devido a constatação de diminuição nos valores de vazão do rio nas últimas décadas. no estudo foi utilizado um índice de 1 a 4 quanto a vulnerabilidade dos deltas em relação a redução da descarga fluvial, onde 1 não há redução da descarga fluvial e 4 há uma redução superior à 50%. O delta do rio Paraíba do Sul foi classificado como 3, tendo menos de 50% de redução da descarga fluvial. Apesar disso, quando analisado o intervalo temporal entre 1984 e 2021, o delta apresenta balanço positivo de 0,3607km². No trabalho de Besset, Anthony e Bouchette (2019), os autores apontam as construções de barragens nos rios como principal responsável pela retenção dos sedimentos que deveriam chegar à foz. A bacia de drenagem do rio Paraíba do sul, tem sofrido diversas alterações devido a captações, barragens e ocupações transformando o uso do solo, entretanto, a partir do trabalho de Rocha et al. (2019) são evidenciadas questões que sugerem a erosão ocorrida no delta como parte da dinâmica natural. Rocha et al. (2019) identificou e datou por LOE (Luminescência Opticamente Estimulada) truncamentos erosivos presentes na planície holocênica do delta do rio Paraíba do sul. A partir disso, os autores identificaram ciclos erosivos que podem perdurar por décadas. Além disso, Rocha et al. (2022) resalta que mesmo com as constantes alterações na linha de costa e a localizada erosão em atafona, a planície deltaica mantém o ganho de área, e consequente progradação do delta. Essa configuração caracteriza o delta do rio Paraíba do sul como, resistente e resiliente às alterações antropogênicas na bacia de drenagem (ROCHA, et al. 2022). A espacialização dos fenômenos de acreção e recuo na linha de costa intervalos anuais, possibilitaram maior detalhamento das dinâmicas. Foi identificado três intervalos temporais onde há acreção na linha de costa em Atafona (Figura 2: 1985-1986 e 1987-1988) (Figura 3: 1998-1999, 1999-2000 e 2010-2011), área reconhecida na literatura pelas taxas de erosão. No Flanco norte do delta, a dinâmica dos spits reflete nas constantes alterações entre acreção e recuo na linha de costa. Segundo Costa, Rocha e Fernandez (2020), em períodos de La Niña, os spits podem estar mais suscetíveis a erosão, devido aumento das ondulações de tempestade. A partir dos mapeamentos durante La Niña (Figura 3) é possível observar a erosão nos spits e também, em alguns momentos, o crescimento longitudinal. Com o mapeamento das alterações no intervalo 1984-2021(Figura 3) é possível observar a concentração do recuo na foz do rio e em suas proximidades e a acreção nas extremidades do delta, apontando para a previsão de Nienhuis et al. (2020), onde deltas dominados por ondas que sofrem erosão caminhariam para uma linha de costa mais retilínea.

Figura 1



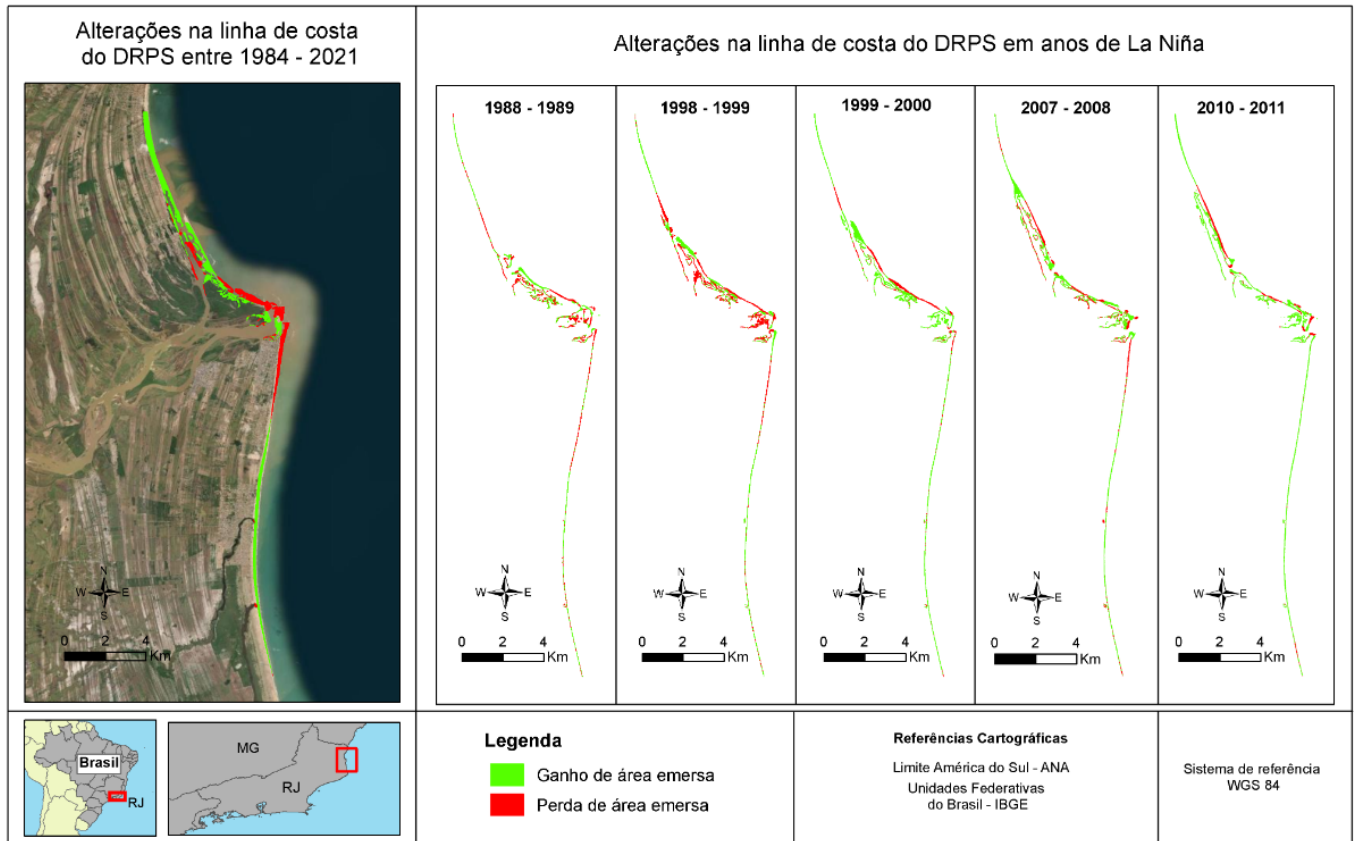
Balço de área obtido nos intervalos temporais. Indicação dos períodos de ocorrência dos fenômenos ENOS de alta intensidade.

Figura 2



Área de estudos. Período de maior balanço negativo. Alterações na linha de Costa do DRPS em períodos de ocorrência de El Niño.

Figura 3



Alterações na linha de costa do DRPS entre 1984- 2021. Alterações na linha de Costa do DRPS em períodos de ocorrência de La Niña.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do mapeamento das alterações na linha de costa do delta do rio Paraíba do Sul em escala anual foram obtidos os valores de área dos processos de acreção e recuo da linha de costa para os 37 intervalos temporais, entre 1984 e 2021. Com a implantação dos períodos de ocorrência dos fenômenos ENOS de alta intensidade no gráfico foi possível obter algumas relações entre os processos. Durante eventos El Niño, foram obtidos ganhos expressivos de área na linha de costa. Com a ocorrência de La Niña, o balanço positivo refletiu a diminuição nos valores de perda de área devido o processo de acreção não apresentar grande expressão. Entretanto, não foi possível identificar relação entre os ENOS e os intervalos que obtiveram balanço negativo na linha de costa. Além disso, entre 1984 e 2021 foi obtido balanço positivo de 0,3607km² para as alterações na linha de costa. Esse resultado ressalta as interpretações feitas por Rocha et al. (2022), em relação à resistência e resiliência do delta do rio Paraíba do Sul frente as Alterações antropogênicas na bacia de drenagem.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado e a Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa (FAPERJ) pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALMEIDA, K.C. Mapeamento da linha de costa do delta do rio Paraíba do Sul entre 1984 e 2020 através do Google Earth Engine. 2021. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- ANDRADE, Kelen Martins. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do

- Sul. Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- BESSET, M.; ANTHONY, E. J.; BOUCHETTE, F. Multi-decadal variations in delta shorelines and their relationship to river sediment supply: An assessment and review. *Earth-science Reviews*, v. 193, p. 199-219. June, 2019.
- 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.
- COSTA, A. P. F. Dinâmica dos pontais arenosos no flanco norte do delta do Rio Paraíba do Sul a partir da análise multitemporal de imagens orbitais. 2021. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.
- DA SILVEIRA PEREIRA, Nair Emmanuela; KLUMB-OLIVEIRA, Leonardo Azevedo. Analysis of the influence of ENSO phenomena on wave climate on the central coastal zone of Rio de Janeiro (Brazil). *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 15, n. 3, p. 353-370, 2015.
- GUZMAN, Emanuel; RAMOS, Carmela; DASTGHEIB, Ali. Influence of the El Nino phenomenon on shoreline evolution. Case study: Callao bay, Peru. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 8, n. 2, p. 90, 2020.
- Instituto Estadual do Ambiente. Sistema Hidráulico Paraíba do Sul. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/seguranca-hidrica/monitoramento-dos-reservatorios-do-paraiba-do-sul/>>. Acesso em: 13 maio. 2023.
- KENNEDY, E. R; YANG, Z., GORELICK, N.; BRAATEN, J.; CAVALCANTE, L.; COHEN, W. B.; HEALEY, S. Implementation of the LandTrendr Algorithm on Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, v.691, 2018.
- MACHADO, B. A. O comportamento da linha de costa na interação praia-duna no flanco sul do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). 2020. 88 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2020.
- 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.
- NIENHUIS, J. H., ASHTON, A. D., EDMONDS, D. A., HOITINK, A. J. F., KETTNER, A. J., ROWLAND, J. C., & TÖRNQVIST, T. E. Global-scale human impact on delta morphology has led to net land area gain. *Nature*, v. 577, n. 7791, p. 514-518, 2020.
- ROCHA, T. B.; MACHADO, B.A.; SILVA, J. C.; MELLO, G. S.; PEREIRA, T. G.; FERNANDEZ, G. B. 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.
- ROCHA, T. B.; VASCONCELOS, S. C.; 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, T. B.; VASCONCELOS, S. C.; FERNANDEZ, G. B.; COSTA, A. P. F.; MACHADO, B. A.; GONÇALVES, T. P.; NOVAK, L. Deltas dominados por ondas: Trajetória conceitual, dinâmica e evolução a partir de exemplos do complexo deltaico do rio Paraíba do Sul. *Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira*.p.366-394. 2022.
- SMITH, Schuyler A.; BARNARD, Patrick L. The impacts of the 2015/2016 El Niño on California's sandy beaches. *Geomorphology*, v. 377, p. 107583, 2021.
- TESSLER, Z. D. et al. Profiling risk and sustainability in coastal deltas of the world. *Science*, v. 349, n. 6248, p. 638-643, 2015.
- VASCONCELOS, S.C. ROCHA, T. B.; PEREIRA, T. G.; ALVES, A. R.; FERNANDEZ, G. B. 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.
- XU, Hanqiu. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.