

UTILIZAÇÃO DO GOOGLE EARTH ENGINE PARA ANÁLISE COMPARATIVA DA LINHA DE COSTA DE DOIS DELTAS DA COSTA LESTE BRASILEIRA ENTRE 1986 E 2021: Delta do rio São Francisco (Al/Se) e delta do rio Paraíba Do Sul (RJ)

USE OF GOOGLE EARTH ENGINE FOR COMPARATIVE ANALYSIS OF SHORELINE OF TWO DELTAS OF THE BRAZILIAN EAST COAST BETWEEN 1986 E 2021: São Francisco river delta (Al/Se) and Paraíba do Sul river delta (RJ)

USO DEL MOTOR DE GOOGLE EARTH PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTA DE DOS DELTAS DE LA COSTA ESTE BRASILEÑA ENTRE 1986 E 2021: delta del río São Francisco (Al/Se) y delta del Río Paraíba do Sul (RJ)

RESUMO




O Google Earth Engine (GEE) tem proporcionado subsídio às pesquisas multitemporais devido a seu rápido e gratuito processamento em nuvem. Os deltas do rio São Francisco e do rio Paraíba do Sul estão localizados na costa leste brasileira e são classificados como deltas dominados por ondas, segundo Galloway (1975). A construção de suas planícies deltaicas ocorre a partir da incorporação de Barreiras Arenosas Costeiras (BACs) e nos dois casos ocorre a formação de spits (BACs conectada à planície por apenas uma das extremidades). Para análise da trajetória espectral dos pixels entre os anos de 1986 e 2021, foram utilizadas as coleções de imagem Landsat 5 e Landsat 8. Para a detecção de mudança, foi aplicado o índice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index). Os resultados mostraram as áreas de acreção e recuo da linha de costa. O delta do rio São Francisco teve balanço de área negativo de $-0,1206 \text{ km}^2$, enquanto do delta do rio Paraíba do Sul obteve balanço positivo de $0,2318$. Foram identificadas áreas de erosão costeira, que podem estar relacionadas à ação antrópica sobretudo no caso do delta do São Francisco, devido às construções de barragens nas bacias de drenagem que alteram a carga sedimentar fluvial.

Palavras-chave: Landsat; Linha de Costa; Detecção de mudança; MNDWI; Erosão.

ABSTRACT

Google Earth Engine (GEE) has provided subsidy to multitemporal searches due to its fast and free cloud processing. The deltas of the São Francisco River and of the Paraíba do Sul River are located on the east coast of Brazil and are categorized as wave-dominated deltas, according to Galloway (1975). The construction of its deltaic plains occurs from the incorporation of Coastal Sand Barriers (BACs) and in both cases the formation of spits occurs (BACs connected to the plain by only one of the extremities). For analyzing the spectral trajectory of the pixels between 1986 and 2021, the Landsat 5 and Landsat 8 image collections were used. For the change detection, the MNDWI index (Modified Normalized Difference Water Index) was applied. The results showed the areas of accretion and retreat of the coastline. The São Francisco River delta had a negative area balance of -0.1206 km^2 , while the Paraíba do Sul River delta had a positive balance of 0.2318 km^2 . Areas of coastal erosion were identified, which may be related to anthropic action, especially in the case of the São Francisco delta, due to the construction of dams in the drainage basins that alter the fluvial sedimentary load.

Keywords: Landsat; Shoreline; Change detection; MNDWI; Erosion.

 Karina Costa de Almeida ^a
 André Paulo Ferreira da Costa ^b
 Thais Baptista da Rocha ^a

^a Universidade Federal Fluminense (UFF)

DOI: 10.12957/geouerj.2023.74650

Correspondência: karinacosta@id.uff.br;
costa_andre@id.uff.br;
thaisbaptista@id.uff.br

Recebido em: 31 mar. 2023

Revisado em: 18 maio 2023

Aceito em: 07 jun. 2023



RESUMEN

Google Earth Engine (GEE) ha proporcionado subsidios a las búsquedas multitemporales debido a su procesamiento en la nube rápido y gratuito. Los deltas del río São Francisco y del río Paraíba do Sul están ubicados en la costa este de Brasil y se clasifican como deltas dominados por olas, según Galloway (1975). La construcción de sus llanuras deltaicas se da a partir de la incorporación de Barreras de Arena Costera (BACs) y en ambos casos se produce la formación de Spites (BACs conectadas a la llanura por sólo una de las extremidades). Para el análisis de la trayectoria espectral de los píxeles entre los años 1986 y 2021 se utilizaron las colecciones de imágenes Landsat 5 y Landsat 8. Para la detección de cambios se aplicó el índice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index). Los resultados mostraron las áreas de acreción y retroceso de la línea de costa. El delta del río São Francisco tuvo un saldo de área negativo de $-0,1206 \text{ km}^2$, mientras que el delta del río Paraíba do Sul tuvo un saldo positivo de $0,2318$. Fueron identificadas áreas de erosión costera, que pueden estar relacionadas con la acción antrópica, especialmente en el caso del delta del São Francisco, debido a la construcción de represas en las cuencas de drenaje que alteran la carga sedimentaria fluvial.

Palabras-clave: Landsat; Línea de costa; Cambio de detección; MNDWI; Erosión.



INTRODUÇÃO

A disponibilização de imagens orbitais de forma gratuita e o desenvolvimento da plataforma Google Earth Engine (GEE), foram avanços importantes que impulsionaram as análises temporais sobre fenômenos espaciais. Desenvolvido pela Google, o GEE está disponível de forma gratuita, permitindo que os usuários realizem processamento de grande quantidade de dados nos processadores da empresa através da nuvem (GORELICK *et al.*, 2017). Além disso, estão disponíveis na plataforma grande quantidade de dados geoespaciais, onde são encontradas as coleções de imagens de satélite, dados sobre temperatura e precipitação, dados sobre as propriedades do solo, até dados socioeconômicos (GORELICK *et al.*, 2017). A plataforma é composta por uma interface de programação que permite aos usuários trabalharem scripts nas linguagens Javascript e Python. Atrelado a isso, os avanços dos métodos de detecção das mudanças na cobertura da Terra, abriram um leque de possibilidades para o desenvolvimento e aplicação de técnicas de detecção automática de mudança na paisagem (WOODCOCK *et al.* 2020; WECKMULLER; VICENS, 2018). Trabalhos como os de Luijendijk *et al.* (2018) e Donchyts *et al.* (2016) utilizaram as coleções de imagens de satélite e a interface do GEE para fazer análises multitemporais em escala global. Em Luijendijk *et al.* (2018) foram constatadas as taxas de recuo e avanço da linha de costa das praias arenosas nas últimas três décadas. Já em Donchyts *et al.* (2016), foi desenvolvida a ferramenta Aqua Monitor Deltares, onde são observadas as mudanças de superfície dos corpos hídricos tanto de terra para água quanto de água para terra com resolução de 30 metros.

Na última década, as imagens de satélite foram uns dos principais instrumentos utilizados por trabalhos de detecção da linha de costa (ROCHA; FERNANDEZ, 2020). A linha de costa é definida como a interseção entre o mar e o continente, estando exposta a ação das ondas, das marés e correntes litorâneas, respondendo diretamente a eventos de pequena e grande escala temporal (BOAK E TURNER 2005). Em ambientes deltaicos, a linha de costa tende a ser influenciada também pelo regime fluvial, devido aos deltas serem feições deposicionais formadas pelo retrabalhamento dos sedimentos fluviais depositados ao longo das desembocaduras fluviais (ROCHA *et al.*, no prelo). Por manterem sua progradação a partir de condições específicas de sedimentação e retrabalhamento, trabalhos têm mostrado que a interferência humana nas bacias de drenagens está refletindo nos movimentos de avanço e recuo da linha de costa nas faces deltaicas.

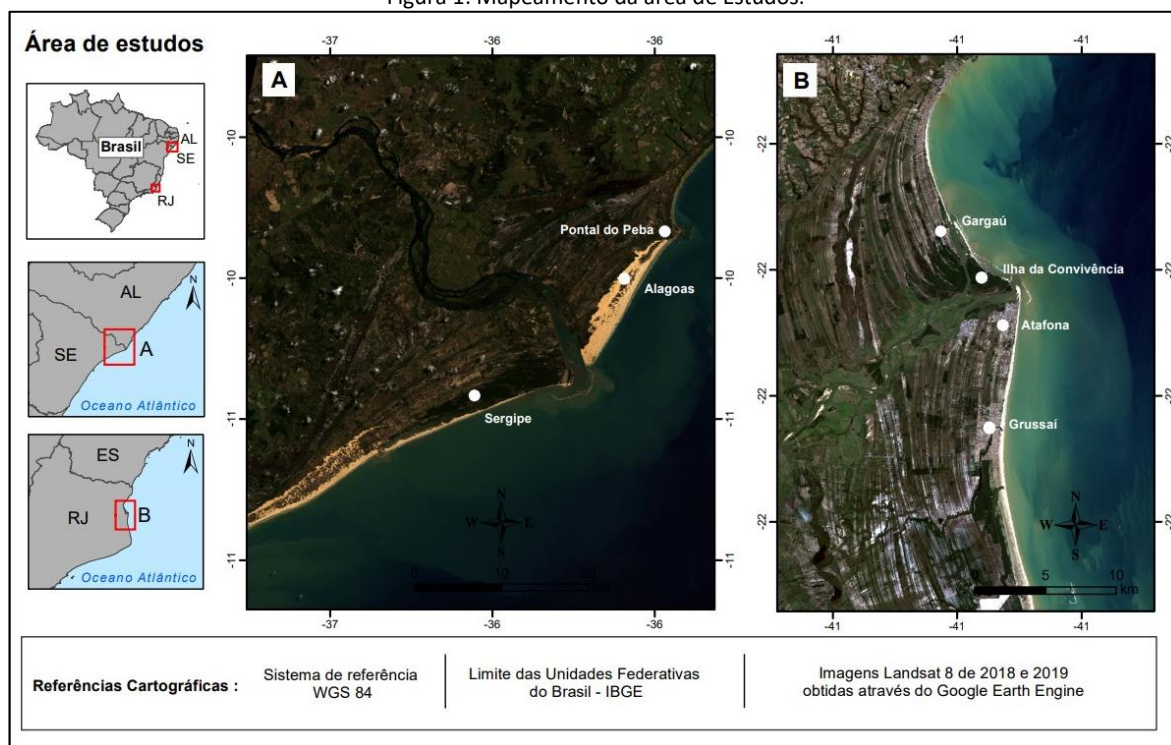
No trabalho de Besset, Anthony e Bouchette (2019), 29 dos 54 deltas analisados apresentaram quadro de erosão. Os autores apontaram a diminuição de descarga fluvial como uma das possíveis causas, sendo essa causada pela construção de barragens na bacia de drenagem. Entre os deltas analisados estavam dois grandes deltas brasileiros, o delta do rio São Francisco e o delta do rio Paraíba do Sul, identificados com redução na descarga fluvial. No trabalho de Nienhuis *et al.* (2020), após análise dos fluxos sedimentares dos maiores deltas

do globo, os autores concluíram que as mudanças no suprimento de sedimentos estão forçando ajustes contínuos consideráveis na protuberância da linha de costa.

Na classificação de Galloway (1995) os dois deltas da área de estudos são classificados como “dominados por ondas” devido a morfologia em cúspide e o litoral ser dominado pela ação das ondas. O delta do Rio São Francisco é o marco geográfico que delimita a fronteira entre os estados de Alagoas e Sergipe, no litoral do Nordeste (Figura 1- A). Enquanto, o delta do Rio Paraíba do sul está localizado no litoral norte fluminense, no estado do Rio de Janeiro (Figura 1 - B). Apesar da distância dos deltas, eles possuem características em comum, são formados por incorporação de barreiras arenosas costeiras (BACs) à planície deltaica (DOMINGUEZ e GUIMARÃES, 2021; ROCHA *et al.*, 2019), sendo essas, feições deposicionais lineares desenvolvidas a partir da acumulação de material arenoso, cascalho, conchas e matéria orgânica paralelos à linha de costa. No flanco Sul do delta do rio São Francisco, em Sergipe, ocorre a formação de *spit*, um tipo específico de BACs conectada à planície por apenas uma de suas extremidades (DOMINGUEZ e GUIMARÃES, 2021). Enquanto isso, no delta do Paraíba do Sul, o *spit* ocorre no flanco norte, no litoral de Gargaú (COSTA; ROCHA; FERNANDEZ, 2020; ROCHA *et al.*, 2019).

A partir disso, o presente trabalho tem o objetivo de mapear as áreas de avanço e recuo da linha de costa de dois grandes deltas brasileiros, do rio São Francisco e o delta do rio Paraíba do Sul, através da trajetória espectral dos pixels das imagens Landsat entre os anos de 1986 e 2021, obtidas através de metodologia empregada à plataforma do Google Earth Engine (GEE).

Figura 1: Mapeamento da área de Estudos.



Fonte: Elaborado pelos autores.



Estratégia Metodológica

O Google Earth Engine (GEE) tem proporcionado subsídio às pesquisas de séries temporais devido ao seu rápido processamento em nuvem. Os trabalhos de Almeida, Costa e Rocha (2022), Costa (2021), Almeida (2021) e Luijendijk (2018) utilizaram a plataforma para fazer análises temporais de zonas costeiras a partir da trajetória espectral dos pixels. Costa (2021), utilizou como base para obtenção dos valores de refletância dos pixels, a adaptação do script LandTrendr, de Kennedy *et al* (2018). O LandTrendr avalia os valores de refletância dos pixels e os segmenta, criando as séries temporais para cada pixel. Nessa linha, o presente trabalho utilizou os métodos desenvolvidos por Costa (2021) para obter as séries históricas de cada pixel em imagens Landsat 5 e Landsat 8. Com isso, os dados obtidos através do GEE foram trabalhados no ArcGis 10.5 para produção do mapeamento das alterações da linha de costa nas planícies dos deltas dos rios São Francisco e Paraíba do Sul entre 1986 e 2021.

Os métodos no Google Earth Engine (GEE) foram processados duas vezes, obedecendo primeiro a delimitação espacial referente à linha de costa do delta do rio São Francisco e, posteriormente, a linha de costa do delta do rio Paraíba do Sul. A primeira etapa no GEE é obter a coleção de imagens Landsat para cada um dos anos. Para o ano de 1986 foi utilizada a coleção de imagens Landsat 5 e para o ano de 2021 as imagens Landsat 8. Em seguida, foram formados os mosaicos anuais, a partir de uma adaptação do script de Kennedy *et al*. (2018). Nessa etapa foi necessário diferenciar o processo de filtragem de nuvens das imagens Landsat. No script existem duas etapas de filtragem de nuvens, uma para obtenção das imagens e outra após o clip na delimitação espacial da análise. A localização do delta do rio São Francisco, de maior proximidade com a Zona de Convergência Intertropical aumenta a presença de nuvens nas imagens Landsat, sendo então utilizado o filtro de nuvens apenas após a delimitação espacial.

Para o delta do rio Paraíba do Sul foram utilizadas as duas etapas de filtragem, visto que a região conta com menos incidência de nuvens. Por fim, os mosaicos foram gerados contendo os valores do índice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) proposto por Xu (2006), em adaptação do índice desenvolvido por McFeeters (1996), como os trabalhos de Almeida, Costa e Rocha (2022) e Costa (2021).

No trabalho de XU (2006), é ressaltado a utilização da banda de infravermelho médio no lugar da banda de infravermelho próximo para extração da faixa d'água com maior exatidão. O autor constatou que essa substituição leva a valores mais discrepantes, facilitando a separação entre água e áreas emersas. Na composição dos mosaicos, como foi proposto por McFeeters (1996) e Xu (2006), valores maiores que zero (>0) são representativos da presença de corpos hídricos enquanto que valores menores que zero (<0) áreas emersas.



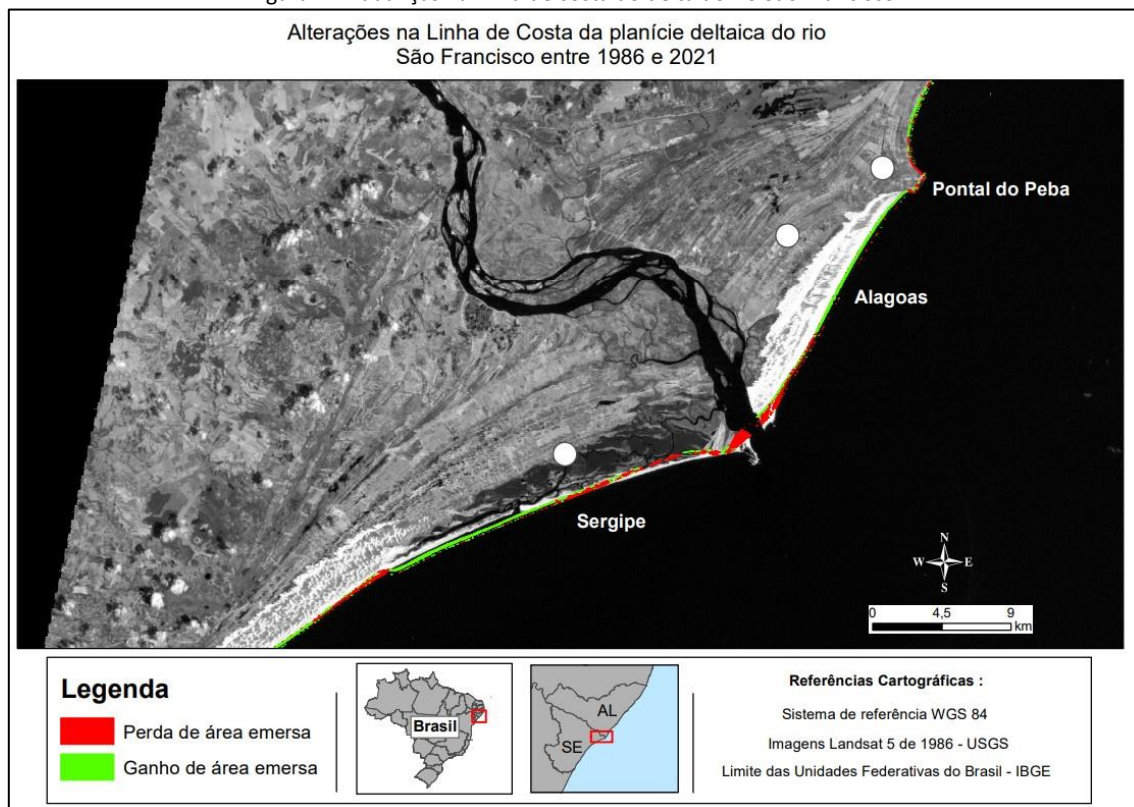
Após a obtenção dos mosaicos, esses foram organizados em lista de maneira cronológica e em seguida foi comandada a formação do par, onde a primeira imagem é referente ao ano de 1896 e a segunda ao ano 2021 (1986-2021). Com a formação dos pares foi possível realizar a multiplicação dos valores MNDWI de cada pixel da primeira imagem pelos da segunda imagem. Segundo Costa (2021), a multiplicação 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. Como resultado da multiplicação, foi obtida a imagem-produto.

Segundo Costa (2021), a imagem-produto evidencia apenas a alteração de qualquer uma das classes (água-terra e terra-água), sendo necessário realizar algumas etapas para separar as alterações de água-para-terra das de terra-para-água. Primeiro é realizado mascaramento dos valores negativos. Em seguida, é 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 é somado aos valores negativos (representativos de alterações) da imagem-produto. Dessa forma, é possível obter 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). Em seguida, é necessário realizar novo mascaramento para separação das matrizes de cada tipo de mudança. Após esse resultado, os dados foram vetorizados e em seguida exportados do GEE. Por fim, no Google Earth Engine foram obtidos os valores de área das superfícies que apresentaram mudança e os shapefiles exportados foram trabalhados no programa Arcmap do software ArcGIS 10.5 para produção dos mapas.

Discussão de resultados

Como resultado foi obtido o mapeamento das alterações na linha de costa dos deltas dos rios São Francisco e Paraíba do Sul nos últimos 35 anos. No mapa (Figura 2) podemos observar as alterações na linha de costa do delta do rio São Francisco. No litoral do estado de Alagoas, ao norte, ocorreu ganho de área emersa. No Pontal do Peba é predominante a perda de área emersa. Ao Sul, encontramos linha de costa com predominância de ganho de área emersa e ao se aproximar da foz do rio São Francisco a predominância passa a ser de perda de área. Na foz e nas linhas de costa imediatamente ao norte e ao sul dela, abrangendo tanto o litoral de Alagoas quanto o de Sergipe, é constatada a perda de área emersa. Em Sergipe, há uma faixa de ganho de área emersa acompanhada ao sul por perda de área emersa, sendo essas mudanças associadas ao alongamento longitudinal de um *spit*. No extremo sul da linha de costa, no litoral de Sergipe volta a predominar o ganho de área emersa. Além disso, no Google Earth Engine (GEE) foram obtidos os valores das áreas de mudança, ficando em 0,1734 km² o ganho de área emersa e em 0,2940 km² a perda de área emersa.

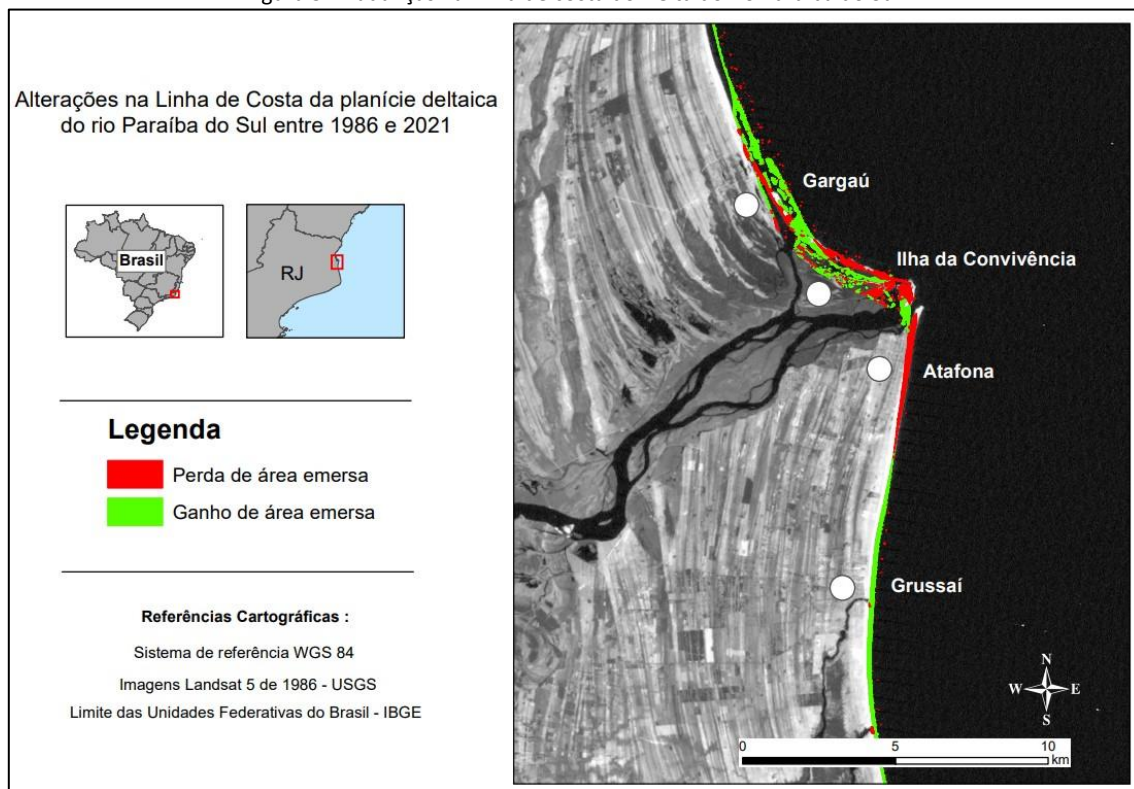
Figura 2: Mudanças na linha de costa do delta do rio São Francisco.



Fonte: Elaborado pelos autores

No mapa (Figura 3) podemos observar as alterações na linha de costa da planície deltaica do rio Paraíba do Sul. Em Gargaú ocorre a perda de área do antigo *spit* e imediatamente à sua frente o ganho de área emersa devido a formação de novo *spit*. Mais ao norte há o ganho de área emersa. Na linha de costa da ilha da convivência, é nítido o ganho de área emersa relacionado a conexão do *spit* e a perda de área emersa rente a foz. No litoral de Atafona ocorre perda de área emersa que apresenta maior expressão próximo à foz e ao se distanciar para sul é substituído pelo ganho de área emersa no litoral de Grussaí. As áreas dessas mudanças foram calculadas no Google Earth Engine (GEE), sendo constatado valor de 0,4518 km² para o ganho de área emersa e 0,2200 km² para a perda de área emersa.

Figura 3: Mudanças na linha de costa do Delta do rio Paraíba do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir dos dados de área obtidos foi possível calcular o balanço entre o ganho e a perda de área emersa na linha de costa. O delta do rio São Francisco obteve balanço de área negativo, totalizando $-0,1206\text{km}^2$ de déficit. Enquanto isso, no delta do rio Paraíba do Sul foi constatado balanço positivo de $0,2318\text{km}^2$. Apesar do balanço positivo para o delta do rio Paraíba do Sul, o trabalho de Almeida (2021), realizou análise das alterações na linha de costa em intervalos temporais menores, constatou que o balanço positivo do delta vem apresentando declínio a partir de 2014.

O fenômeno da erosão costeira nos deltas já tem sido estudado por diversos autores. Segundo o estudo de Besset, Anthony e Bouchette (2019), com 54 deltas distribuídos no globo, os deltas que sofrem erosão, quando agrupados recebem menos de $\frac{1}{4}$ do suprimento fluvial que os deltas com linhas de costa estáveis recebem. Os dois deltas analisados no presente trabalho, apresentaram uma expressiva perda de área emersa na foz e nas suas proximidades. Segundo Dominguez e Guimarães (2021) a erosão na foz do delta São Francisco é resultado da combinação do fator climático, que reduziu as chuvas na bacia de drenagem somado ao fator antrópico, de retenção de sedimentos pelas grandes barragens. No delta do rio Paraíba do Sul, há tentativas de explicar a erosão concentrada em atafona devido a divergência de deriva litorânea (DIAS e GORINI, 1980) e a convergência de ortogonais de ondas (BASTOS, 1997). Ainda sobre o trabalho de Besset, Anthony e Bouchette (2019), 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%. Os



deltas do São Francisco e do Paraíba do Sul foram classificados como 3, tendo menos de 50% de redução da descarga fluvial. Os resultados deste trabalho retratam que os deltas se mostraram vulneráveis a erosão como proposto pelo trabalho de Besset, Anthony e Bouchette (2019).

No trabalho de Nienhuis *et al.* (2020), os autores elaboraram uma previsão das mudanças na morfologia dos deltas a partir da descarga sedimentar. Os autores citam que mesmo havendo a erosão na foz pode ocorrer a acreção na linha de costa ao longo dos deltas. No estudo, a previsão para os deltas dominados por ondas é a redução da protuberância da foz, chegando a uma linha de costa mais retilínea. Os resultados obtidos neste trabalho em relação a localização das áreas de acreção nos deltas do São Francisco e do Paraíba do Sul, mostram que as áreas mais distantes da foz tendem a progradar e se aproximar da linha de costa que está recuando devido a predominância de erosão, gerando um realinhamento da linha de costa. Com isso, os resultados do trabalho se aproximam da tendência prevista.

CONCLUSÕES

No presente trabalho, foram obtidas as localizações dos processos de acreção e recuo da linha de costa nos deltas do rio São Francisco e Paraíba do Sul. O balanço de área obtido na janela temporal, corrobora o estado de vulnerabilidade identificado por Besset, Anthony e Bouchette (2019) para os deltas do São Francisco e Paraíba do Sul. Além disso, a distribuição espacial da acreção e do recuo identificados aponta para previsão feita por Nienhuis *et al.* (2020). A partir disso, podemos concluir que as análises que levam em consideração as descargas sedimentares, apontam para uma boa descrição das alterações na linha de costa e morfologia de deltas. Além disso, é importante ressaltar que a utilização do sensoriamento remoto, através da detecção de mudanças da superfície resulta em dados de grande qualidade científica.

AGRADECIMENTOS

À FAPERJ pela concessão de bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

- 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, 2021.
- ALMEIDA, K. C.; COSTA, A. P. F.; Rocha, T. B. Mapeamento da linha de costa do delta do rio Paraíba do Sul entre 1984 e 2020 através do Google Earth Engine. In: **XIII Sinageo: geomorfologia: complexidade e interescalaridade da paisagem**. 1. ed. São José dos Campos, SP. 2022.
- BASTOS, A.C. **Análise morfodinâmica e caracterização dos processos erosivos ao longo do litoral norte fluminense, entre Cabiúnas e Atafona**. 1997. 133p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha), Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- 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.



- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. (2005). Shoreline definition and detection: a review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4.
- 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.
- 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.
- DIAS, G. T. M.; 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.
- DOMINGUEZ, José Maria Landim; GUIMARÃES, Júnia Kacenenelbogen. Effects of Holocene climate changes and anthropogenic river regulation in the development of a wave-dominated delta: The São Francisco River (Eastern Brazil). **Marine Geology**, v. 435, p. 106456, 2021.
- DONCHYTS, G.; BAART, F.; WINSEMIUS, H.; GORELICK, N.; KWADIJK, J.; GIESEN, N. Earth's surface water change over the past 30 years. **Nature Climate Change**, v.6, p.810–813, 2016.
- 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., HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, **Remote Sensing of Environment** (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- 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.
- LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The State of the World's Beaches. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-24630-6
- 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.; FERNANDEZ, G.B. Dinâmica da linha de costa: potencialidades, limitações e reflexões na geografia. In: LIMONAD, E.; BARBOSA, J. L. (organizadores). **Geografias Reflexões Leituras Estudos**. São Paulo: Editora Max Limonad, 2020.
- 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. No prelo.
- 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.
- WOODCOCK, C. E; LOVELAND, T. R.; HEROLD, M.; BAUER, M. E. Transitioning from change detection to monitoring with remote sensing: A paradigm shift. **Remote Sensing of Environment**, v. 238, p. 111558, 2020.
- 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.