

Evolução deltaica e erosão costeira no delta do rio Paraíba do Sul (RJ): uma abordagem integrada da geocronologia e geomorfologia

Beatriz Abreu Machado ¹

Thaís Baptista da Rocha ²

Guilherme Borges Fernandez ³

Marcos Rogério Rodrigues Lagoeiro de Magalhães ⁴

Thaís Baptista da Rocha ⁵

INTRODUÇÃO

A zona costeira abriga uma parte significativa da população global e, por isso representa um ambiente de importante valor social, econômico e ecológico (Graffin et al., 2022). Esses ambientes sofrem com pressões antrópicas e estão sob constantes intervenções, o que agrava a sua vulnerabilidade. Nas últimas décadas, uma possível elevação do nível do mar e o aumento de ocorrência de eventos extremos, associados às mudanças climáticas, tem colocado a zona costeira e, conseqüentemente, a população em risco (Vousdouskas et al., 2018; Tamura et al., 2019; Anderson et al., 2023). Compreender a evolução desses ambientes em diferentes cenários é de grande importância para a gestão costeira. Antecipar potenciais problemas e projetar medidas de adaptação eficazes são essenciais para garantir a resiliência e a sustentabilidade dessas áreas costeiras (Haasnoot et al., 2021).

Dentro desta perspectiva, os ambientes deltaicos são conhecidos como “hot spot” de vulnerabilidade às mudanças climáticas (Day et al., 2019). Mesmo na ausência de mudanças ambientais, muitos deltas já tiveram sua resiliência comprometidas devido à magnitude das intervenções humanas, como o caso de construção de barragens ao longo da curso dos rios, o desmatamento de cabeceiras de drenagens entre outros (Day et al., 2019; Dominguez, 2023). Além disso, em termos geomorfológicos, os deltas dominados

¹ Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense - UFF, abreu_beatriz@id.uff.br

² Professora do curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense- UFF, thaisbaptista@id.uff.br;

³ Professor do curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense- UFF, guilhermefernandez@id.uff.br;

⁴ Empresa surge, marcos@surge.eng.br

⁵ Professora orientadora: Doutora Thaís Baptista da Rocha

por ondas, normalmente, são constituídos por cristas de praia, que são consideradas importantes “Geoarquivos” da paisagem (Scheffer et al., 2012; Milana et al., 2017). Essas cristas de praia funcionam como “laboratórios” de investigações paleoambientais, registrando condições específicas de clima, ondas e variações do nível do mar na planície deltaica, proporcionando insights para a investigação evolutiva dos ambientes costeiros.

No litoral leste do Brasil, existem quatro deltas dominados por ondas: São Francisco (ver Dominguez et al., 2021 e Dominguez et al., 2023), Doce (ver Buso et al., 2013, Rosetti et al., 2015), Jequitinhonha (ver Dominguez, 1987) e Paraíba do Sul (ver Rocha et al., 2019, Dominguez, 2023). Dentre estes, o delta do rio Paraíba do Sul apresenta a maior extensão de planície de cristas de praia do Brasil, com cerca de 20km, o que aumenta os “Geoarquivos” disponíveis para análise de condições paleoambientais pretéritas e possíveis discussões sobre adaptações futuras (figura 1A). Simultaneamente, o delta do PS também é destaque nas discussões sobre os processos modernos atuantes na linha de costa. Conhecida como um “hot spot” de erosão costeira, a localidade de Atafona (figura 1B) tem sido amplamente afetada por taxas severas de erosão (Rocha et al., 2018, Vasconcelos et al., 2019, Almeida et al., 2023, Machado et al., 2024).

Assim, o principal objetivo deste trabalho é interpretar a evolução deltaica do rio Paraíba do Sul, correlacionando-a com os processos modernos que afetam a linha de costa nas últimas décadas. Para isso, serão utilizados dados geocronológicos obtidos por datações através da Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), dados topográficos e informações geomorfológicas de um truncamento erosivo coletados por *light detection and Ranging* (LIDAR), buscando uma compreensão abrangente das mudanças ocorridas e projetando cenários futuros para o delta.

MATERIAIS E MÉTODOS:

- Mapeamento das paleolinhas de costa:

A vetorização das paleopraias foi realizada com base nas continuidades geométricas dessas feições na planície costeira. Esta etapa foi executada no software ArcGis, seguindo as correlações estabelecidas na geocronologia apresentada em Rocha et al., (2019), Machado et al, (em preparação) e nos dados históricos apresentados em Fernandez et al., (2024). Utilizou-se uma imagem WordView de 2017, com resolução espacial de 2m, disponibilizada pelo INEA.

- Dados altimétrico e morfológico do truncamento erosivo:

Para interpretar o padrão geomorfológico de um truncamento representativo no delta do Paraíba do Sul, realizou-se um levantamento aéreo remoto utilizando um sensor LIDAR, em parceria com a empresa Surge Lidar Surveying. No geral, o sensor LIDAR emite feixes de laseres na banda do infravermelho próximo, permitindo modelar a superfície do terreno tridimensionalmente com detalhe. Este método também permite gerar modelos digitais de terreno e superfície (INPE, 2024). A partir disto, foram elaboradas curvas de nível para detalhar a altimetria do terreno. Nos ambientes deltaicos, o LIDAR tem sido amplamente utilizado para identificar a topografia de detalhe, embora outros métodos como a topografia utilizando um GPS geodesico também sejam empregados (Dominguez et al., 2023, Machado et al., no prelo).

-Geocronologia:

Os dados geocronológicos (LOE) foram coletados na planície, onde tubos opacos de PVC foram inseridos horizontalmente à superfície. Esses tubos foram preenchidos com grãos de Quartzo e vedados para evitar qualquer exposição à luz solar. Amostras de sedimento ao redor dos tubos foram coletadas para medição de raios cósmicos e propriedades naturais da amostra. Os dados foram processados no Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (LEGAL) na USP. Para a datação, utilizou-se o protocolo SAR (single alíquota regenerative), descrito por Murray e Wintler (2000) e aprimorado por Wintler e Murray (2006). Esse protocolo padroniza os métodos e técnicas usados na leitura de LOE, incentivando comparações e replicação em diferentes laboratórios (Maha et al., 2023). Ao todo, foram coletadas e processadas 29 amostras para geocronologia que serão discutidas em trabalhos futuros. Neste trabalho apresenta-se uma amostra referente a Machado et al (em prep.) e amostras de Rocha et al., (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado, a figura 1 mostra os sucessivos truncamentos erosivos na planície nos últimos 2 k.a e suas respectivas projeções de linhas de costa (LC). Essas LC foram projetadas a partir dos dados de geocronologia, disponíveis em Rocha et al., 2019 e dos dados de Machado et al., em preparação. A figura 1 também evidencia a intensificação desses truncamentos nos últimos 2 k.a, intercalados por sucessivas cristas de praia orientadas na direção nordeste-sudoeste/sul. Já a figura 1B, indica uma fotografia oblíqua da atual linha de costa, onde se observa claramente processo erosivo e uma reorganização da LC.

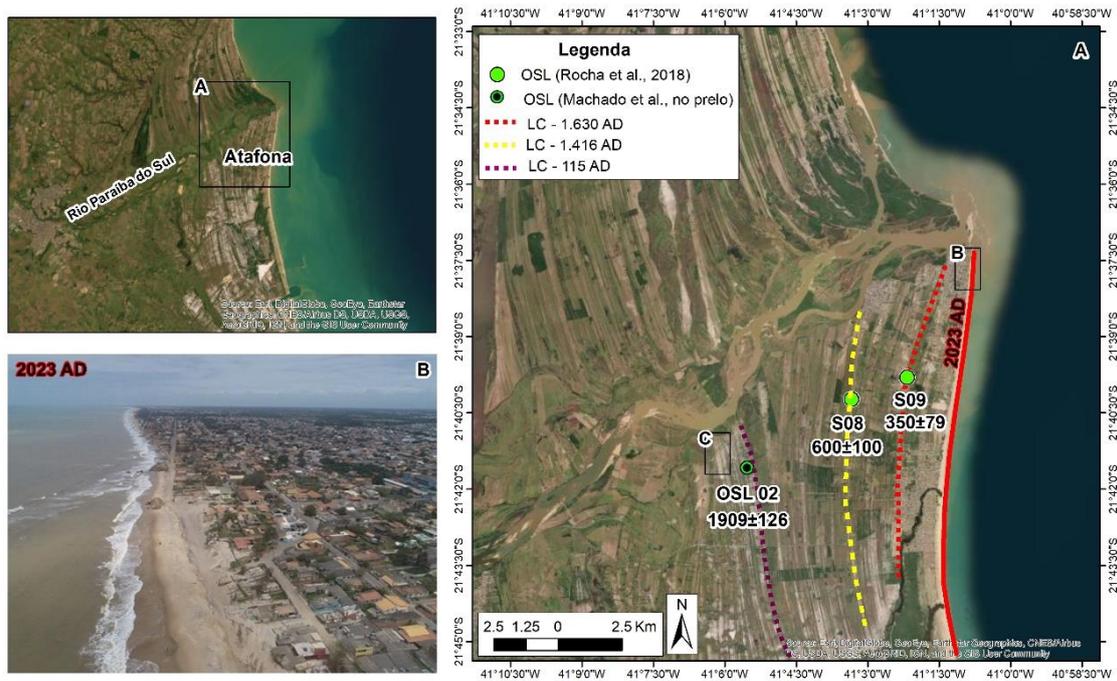


Figura 1: A: Evolução do delta do rio Paraíba do Sul, na margem sul, durante os últimos 2.000 anos. Importante observar os constantes realinhamentos de LC.

Esse processo erosivo tbm foi descrito por Machado et al. (2024), onde as taxas de de LC para Atafona indicam uma erosão severa para o período de 1954 – 2018, com um recuo de aproximadamente (-) 5m/ano. Associado a este fenômeno, Rocha et al., (2018) e Machado (2020) descrevem a ocorrência de dunas frontais com 8m de altitude, sugerindo que essas dunas estejam atreladas ao processo de erosão costeira, e identificaram a migração dessas dunas em direção ao continente. Paralemanete, ao analisar a figura 2, nota-se a ocorrência de dunas costeiras inativas adjacentes ao truncamento erosivo de 2ka, ou seja, um padrão semelhante ao atual da praia em erosão. Ainda analisando a figura 2, observa-se uma altimetria das dunas inativas de 8 a 9m, semelhante ao observado na topografia atual da praia, publicada em Machado et al., (2024).

No geral, há inúmeras hipóteses que tentam explicar a ocorrência de truncamentos erosivos na evolução das planícies costeiras. Dougherty (2014) e Oliver et al., (2017), por exemplo, indicaram para as planícies na Nova Zelândia e Austrália, respectivamente, reorientações da paleopraias a partir da incidência de sucessivos eventos de tempestade. Esse não parece o caso do delta do rio Paraíba do Sul (RJ), tendo em vista o caráter contínuo do processo erosivo na praia de Atafona identificado por Vasconcelos et al., (2019) e Machado et al. (2024). Por outro lado, Sawakuchi et al., (2008) e Guedes et al., (2011) em trabalhos na planície da Ilha Comprida indicam uma outra explicação para essas reorientações das cristas de praia. Segundo os autores, uma mudança na frequência e direção das ondas poderia ocasionar o fenômeno. Milana et al., (2017) correlaciona as

fases de erosão e progradação das paleopraias da planície do Rio Grande do Sul a mudanças paleoambientais relacionadas a períodos mais úmidos e mais secos. Entretanto, essas hipóteses e as reconstruções paleogeográficas ainda precisam ser melhor investigadas, sobretudo no delta do rio Paraíba do Sul.

Embora esses truncamentos erosivos sejam bem marcados no delta do Paraíba do Sul, a evolução deltaica a partir desses processos erosivos também é descrita no delta do São Francisco (Dominguez et al., 2023), no Jequitinhonha (Dominguez, 1987; Dominguez et al., no prelo), e no Doce (Rosetti et al., 2015), embora de forma menos intensa. Segundo Dominguez (2023), a redução da vazão desses rios está correlacionada a uma combinação entre a diminuição das chuvas nas bacias hidrográficas e retenção de sedimentos em reservatórios de barragens. No caso do São Francisco, essa combinação de fatores é descrita por Dominguez e Guimarães (2021). Silva (2019) também observou impacto das barragens na distribuição sedimentar no rio Paraíba do Sul, especialmente a jusante, indicando que esse fato poderia influenciar o balanço sedimentar da foz. No entanto, a primeira barragem construída na bacia hidrográfica do Paraíba do Sul, data do início do século XX, mais precisamente em 1908 (Coelho, 2012). Contudo, os dados de LOE indicam uma ocorrência desses processos erosivos desde o Holoceno, com uma intensificação nos últimos 2 k.a.

localizados na costa leste são classificados como deltas dominados por ondas, com cristas de praia como feições predominantes. Esse fato aumenta as possibilidades de investigações da evolução desses ambientes durante o Holoceno. Estudos preliminares já exploraram a relação entre os truncamentos erosivos e eventos climáticos do Holoceno, como a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na evolução do delta do São Francisco, contudo, essa relação ainda é pouco explorada no delta paraíba do Sul. Além disso, a investigação dos processos atuais pode proporcionar insights sobre a história evolutiva desses ambientes, auxiliando na projeção de cenários futuros.

Palavras-chave: Datação, Luminescência Opticamente Estimulada, MDT, LIDAR e Deltas dominados por ondas.

REFERÊNCIAS

- ALMAR, R. ., Graffin, M., Boucharel, J., Abessolo, G. O., Thoumyre, G., Papa, F., ... & Ranasinghe, R.. El Niño controls the evolution of shorelines worldwide. 2022.
- ANDERSON, J. B., Wallace, D. J., Rodriguez, A. B., & Simms, A. R.. Unprecedented Historical Erosion of US Gulf Coast: A Consequence of Accelerated Sea-Level Rise?. **Earth's Future**, v. 11, n. 9, p. e2023EF003676, 2023.
- BASTOS, A. C. Análise morfodinâmica e caracterização dos processos erosivos ao longo do litoral norte fluminense, entre Cabiúnas e Atafona. 1997. 133 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha), Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói
- COOPER, J. J. A. G., Masselink, G., Coco, G., Short, A. D., Castelle, B., Rogers, K., ... & Jackson, D. W. Sandy beaches can survive sea-level rise. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 11, p. 993-995, 2020.
- COELHO, V. Paraíba do Sul: um rio estratégico. 1. Ed. Rio de Janeiro: Casa da Palavra, 2012.
- DAY, Ramachandran, R., Giosan, L., Syvitski, J., Kemp, G.P.. Delta winners and losers in the Anthropocene. In: **Coasts and estuaries**. Elsevier, 2019. p. 149-165.
- DOMINGUEZ, L; GUIMARÃES, J. 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. Dominguez, J. M. L. (2023). The wave-dominated deltas of Brazil. In *Tropical Marine Environments of Brazil: Spatio-Temporal Heterogeneities and Responses to Climate Changes* (pp. 75-110). Cham: Springer International Publishing.
- DOUGHERTY, A J. Extracting a record of Holocene storm erosion and deposition preserved in the morphostratigraphy of a prograded coastal barrier. **Continental Shelf Research**, v. 86, p. 116-131, 2014. Haasnoot, M., Lawrence, J. & Magnan, A. K. Pathways to coastal retreat, *Science* 372, 1287–1290, 2021.
- MACHADO, B. A., da Rocha, T. B., Fernandez, G. B., & de Oliveira Filho, S. R. Dinâmica da linha de costa no flanco meridional do delta do rio Paraíba do Sul entre 1954-2018: considerações sobre o fenômeno da erosão costeira em Atafona (RJ) e diferentes métodos de análise. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 25, n. 1, 2024.
- MAHAN, S. A., Rittenour, T. M., Nelson, M. S., Atae, N., Brown, N., DeWitt, R., ... & Thomsen, K. Guide for interpreting and reporting luminescence dating results. **Bulletin**, v. 135, n. 5-6, p. 1480-1502, 2023.

- MILANA, J.P; GUEDES, C.F; BUSO, V.V. The coastal ridge sequence at Rio Grande do Sul: A new geochronology for past climate events of the Atlantic coast of Southern Brazil since the mid Holocene. *Quaternary International*. [http://dx. doi. org/10.1016/j. quaint](http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.013), v. 29, p. 1-13, 2016.
- MURRAY, A. S.; WINTLE, A.G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. **Radiation measurements**, v. 32, n. 1, p. 57-73, 2000.
- ROCHA, T.B.; VASCONCELOS, S.C; PEREIRA, T.G; FERNANFEZ, 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*, v 20, n 3, p. 563-580, 2019.
- SAWAKUCHI, A.O., Kalchgruber, R., Giannini, P.C.F., Nascimento Jr., D.R., Guedes, C.C.F., Umisedo, N.K. The development of blowouts and foredunes in the Ilha Comprida barrier (Southeastern Brazil): the influence of Late Holocene climate changes on coastal sedimentation. **Quaternary Science Reviews**, v. 27, n. 21-22, p. 2076-2090, 2008.
- SCHEFFERS, Engel, M., Scheffers, S., Squire, P.; Kelletat, D. Beach ridge systems—archives for Holocene coastal events?. **Progress in Physical Geography**, v. 36, n. 1, p. 5-37, 2012.
- TAMURA, T. Oliver, T. S. N., Cunningham, A. C., & Woodroffe, C. D. Recurrence of extreme coastal erosion in SE Australia beyond historical timescales inferred from beach ridge morphostratigraphy. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 9, p. 4705-4714, 2019.
- VASCONCELOS, S. C., Ramos, I. A., da Silva Nunes, R., dos Santos, R. A., & de Figueiredo Jr, A. G. Dinâmica erosiva e progradacional das praias de Atafona e Grussaí (RJ), 1954-2019. **Revista da ANPEGE**, v. 17, n. 33, p. 162-182, 2021.
- VOUSDOUKAS, M. I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M., Jevrejeva, S., Jackson, L. P., & Feyen, L.. Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 2360, 2018.
- WINTLE, A. G., & Murray, A. S A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. **Radiation measurements**, v. 41, n. 4, p. 369-391, 2006.