



RADARFÁCIES E ARQUITETURA DEPOSICIONAL DE SPITS EM DELTA ASSIMÉTRICO DOMINADO POR ONDAS (RJ)

Esthefan Moura Moreira ¹
Thaís Baptista da Rocha ²
Mariana Silva Figueiredo ³
Beatriz Abreu Machado ⁴
Guilherme Borges Fernandez ⁵

RESUMO

Deltas assimétricos dominados por ondas se desenvolvem em ambientes costeiros onde a ação das ondas é preponderante em relação a outros condicionantes morfodinâmicos. A incidência de ondas com elevado grau de obliquidade em relação à linha de costa pode resultar no desenvolvimento assimétrico dos deltas, bem como na formação de spits, que podem estar suscetíveis a processos de transposição de ondas, formando conjuntos de cristas de praia que marcam a evolução da planície deltaica, como é o caso do flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é caracterizar as radarfácies e a arquitetura deposicional que compõem as cristas de praia originadas a partir do desenvolvimento de spits no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul e correlacioná-las com seus respectivos processos morfogenéticos. A metodologia adotada consistiu na aquisição de três perfis transversais à costa e de um perfil longitudinal, por meio do Radar de Penetração do Solo (GPR) com antena de 400 MHz. O processamento envolveu a retirada de onda aérea, aplicação de filtros, ganho e correção de profundidade e a interpretação foi realizada usando os princípios da sismoestratigrafia. A partir dos resultados obtidos, foram identificadas radarfácies referentes à progradação praial (Rf1a) e progradação lateral (Rf1b e Rf1c); leques de transposição (Rf2); margem lagunar (Rf3); corpo lagunar colmatado (Rf5); e preenchimento de canal de maré (Rf4). Com base nos dados analisados, foi possível correlacionar as radarfácies aos seguintes processos morfogenéticos: (i) processos de crescimento lateral do spit; (ii) abertura e preenchimento de inlets; (iii) retrogradação em direção ao continente por transposição de ondas; (iv) translação do spit sobre um corpo lagunar; (v) empilhamento progradacional e acreção da linha de costa. Os registros sedimentares observados na área de estudo refletem a dinâmica de spits enquanto feições de instabilidade associadas aos deltas assimétricos dominados por ondas.

Palavras-chave: Spit, GPR, Delta assimétrico dominado por ondas.

¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense-UFF, esthermoura@id.uff.br;

² Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal Fluminense- UFF, thaisbaptista@id.uff.br;

³ Doutora pelo curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense- UFF, mari.sfgeo@gmail.com;

⁴ Doutoranda pelo Curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense-UFF, abreu_beatriz@id.uff.br;

⁵ Professor coorientador: Doutor, Universidade Federal Fluminense- UFF, guilhermefernandez@id.uff.br.



INTRODUÇÃO

Deltas são caracterizados como acumulações costeiras subaéreas e subaquosas formadas a partir da deposição de sedimentos transportados pelos rios que posteriormente são retrabalhados pelas forças da bacia receptora (Wright, 1978). Galloway (1975) classifica deltas em três tipos: 1) Dominados por rios; 2) Dominados por marés; 3) Dominado por ondas. Entre os deltas citados, os dominados por ondas, possuem uma complexidade nas camadas sedimentares decorrente da interação fluvial e oceanográficas, características essas consequentes do desenvolvimento assimétrico entre os flancos.

Bhattacharya et al. (2003), Ashton e Giosan (2011), Vasconcelos et al. (2016), Rocha (2019), Costa et al. (2020), Rocha (2022) e Costa et al. (2023) vinculam a assimetria à orientação, intensidade do clima de ondas e o aporte sedimentar dando a este delta a morfologia em forma de cúspide. Outra característica observada nesses tipos de deltas é a formação de cristas de praia, devido ao aporte sedimentar dos rios e ao retrabalhamento de sedimentos pelas ondas.

Até que as cristas de praia sejam incorporadas ao continente, passam por alguns estágios de desenvolvimento, como a formação de spits, denominação essa atribuída a barreiras arenosas em que apenas uma extremidade está conectada ao continente e que estão suscetíveis a processos geomorfológicos como abertura e preenchimento de canais de marés, empilhamento progradacional, acreção da linha de costa, retrogradação em direção ao continente e translação do spit sobre um corpo lagunar, dinâmica essa observada no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul.

Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo caracterizar as radarfácies e a arquitetura deposicional que compõem as cristas de praia originadas a partir do desenvolvimento de spits no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (figura 1) e correlacioná-las com seus respectivos processos morfogenéticos.

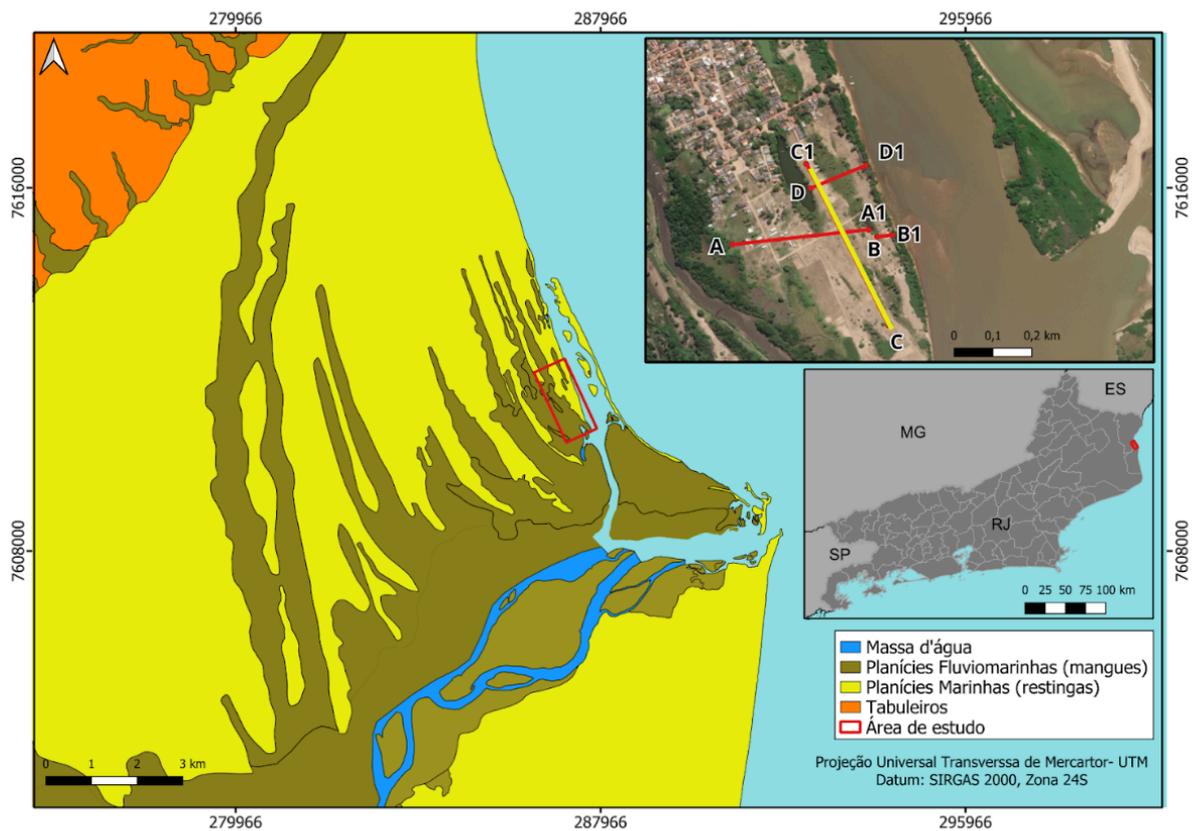
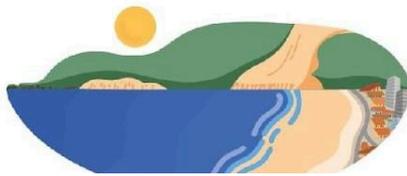


Figura 1: Área de estudo e localização das linhas GPR. (A) início (A1) fim da linha GPR-01, (B) início (B1) fim da linha GPR-02, (C) início (C1) fim da linha GPR-03, (D) início (D1) fim da linha GPR-04.

Normalmente métodos como sondagens e trincheiras são usados para investigação da morfogênese e evolução quaternária das feições costeiras com foco em barreiras costeiras arenosas e deltas, métodos esses que demandam de alto custo, tempo e espaço (Rocha et al. 2017, Barbosa et al. 2021; Figueiredo et al. 2022), dessa forma, o radar de penetração do solo (GPR) tem se tornado uma importante ferramenta para investigação da arquitetura deposicional, camadas e dos processos erosivos e deposicionais.

Neal (2004), caracteriza o GPR como um método de geofísica rasa que utiliza ondas eletromagnéticas de alta frequência que detectam discontinuidades em subsuperfície com alcance de menor que 50m. É importante levar em consideração a permeabilidade e a condutividade do material, quanto menor a condutividade melhor será o sinal.



METODOLOGIA

Para fazer a descrição das radarfácies e da arquitetura deposicional interna, foram obtidos três perfis transversais à costa GPR-01, GPR-02 e GPR-04 e um perfil longitudinal à costa GPR-03 utilizando a antena de 400 MHz. O processamento foi realizado no programa RADAN 6.6, com a remoção da onda aérea a fim de retirar sinais que significam ruídos e não representam informações do ambiente deposicional.

Posteriormente foi realizada a correção da topografia com a inserção de dados topográficos adquiridos durante a aquisição das linhas. A profundidade foi corrigida com a inserção da velocidade referente a areia seca (0,12 n/s), contato do lençol freático (0,07n/s) e areia saturada (0,05 n/s).

A interpretação das radarfáceis foi realizada, seguindo os princípios da sismoestratigrafia (Neal, 2004) permitindo uma maior compreensão a respeito da evolução sedimentar considerando a geometria, mergulho, continuidade e terminações dos refletores assim como os contatos erosivos e as camadas deposicionais e a relação entre os refletores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostram com clareza o desenvolvimento das cristas de praia originadas a partir do crescimento de spits, apresentando refletores relacionados aos processos de crescimento lateral do spit (Rf1b e Rf1c), com reflexões contínuas e terminações em downlap, sendo a Rf1b com mergulho em direção sudeste e a Rf1c em direção noroeste.

Observa-se também a abertura e o preenchimento de canal de maré (Rf4a e Rf4b), onde é possível notar reflexões com migração na direção SE–NO, enquanto a Rf4b migra em direção SE–SO. Tais reflexões estão presentes na linha longitudinal GPR-03 (Figura 3) e foram observadas por sensoriamento remoto por Costa et al. (2020) e Costa et al. (2023), por meio de uma análise temporal, em que concluiu-se que o rompimento de *spits* está associado a marés de sizígia e a condições oceanográficas com maior altura de ondas, assim como a incorporação das cristas está associada à transposição de ondas.



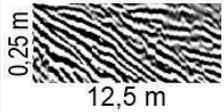
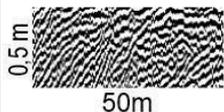
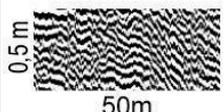
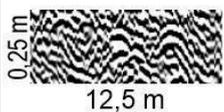
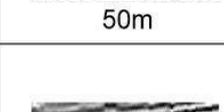
Radarfácie	Refletor	Descrição	Interpretação
Rf1a		Contínuo, mergulho em direção ao mar, terminação em downlap	Progradação praial
Rf1b		Contínuo, mergulho em direção a sudeste, terminação em downlap	Progradação lateral
Rf1c		Contínuo, mergulho em direção a noroeste, terminação em downlap	
Rf2		Contínuo, mergulho em direção ao continente, terminação em downlap	Leque de transposição
Rf3		Não contínua, concentração de reflexões em hipérbole	Margem lagunar
Rf4a		Refletores contínuos, mergulho na direção SE-NO terminação em downlap	Preenchimento de canal de maré
Rf4b		Refletores contínuos, mergulho na direção NO-SE, terminação em downlap	
Rf5		Contínuo, geometria plano paralela	Corpo lagunar colmatado

Figura 2: Quadro de radarfácies

Na linha transversal (Figura 4), foram observadas reflexões referentes a processos como o empilhamento progradacional e a acreção da linha de costa (Rf1a), com reflexões contínuas, inclinadas em direção ao mar e terminações em *downlap*, e (Rf5), com reflexões plano-paralelas associadas à colmatação de um corpo lagunar. Em alguns pontos, nota-se a atenuação do sinal, comumente associada a esse ambiente deposicional.

O processo de retrogradação em direção ao continente e a translação do *spit* sobre um corpo lagunar foram interpretados a partir da radar-fácies Rf2, que apresenta reflexões contínuas e inclinadas em direção ao continente, representando depósitos arenosos que



ultrapassaram a barreira e foram depositados no reverso, formando assim depósitos na forma de leques de transposição. A Rf3 é composta por uma concentração de refletores em hipérboles, formadas pelo avanço da barreira em direção ao mar, em que a vegetação presente na margem lagunar foi soterrada pela própria barreira. Tais radarfácies correspondem ao modelo morfológico de desenvolvimento de spits proposto por Vasconcelos et al. (2016) assim como se relacionam com imagens de sensoriamento remoto adquiridas por Costa (2020).

.



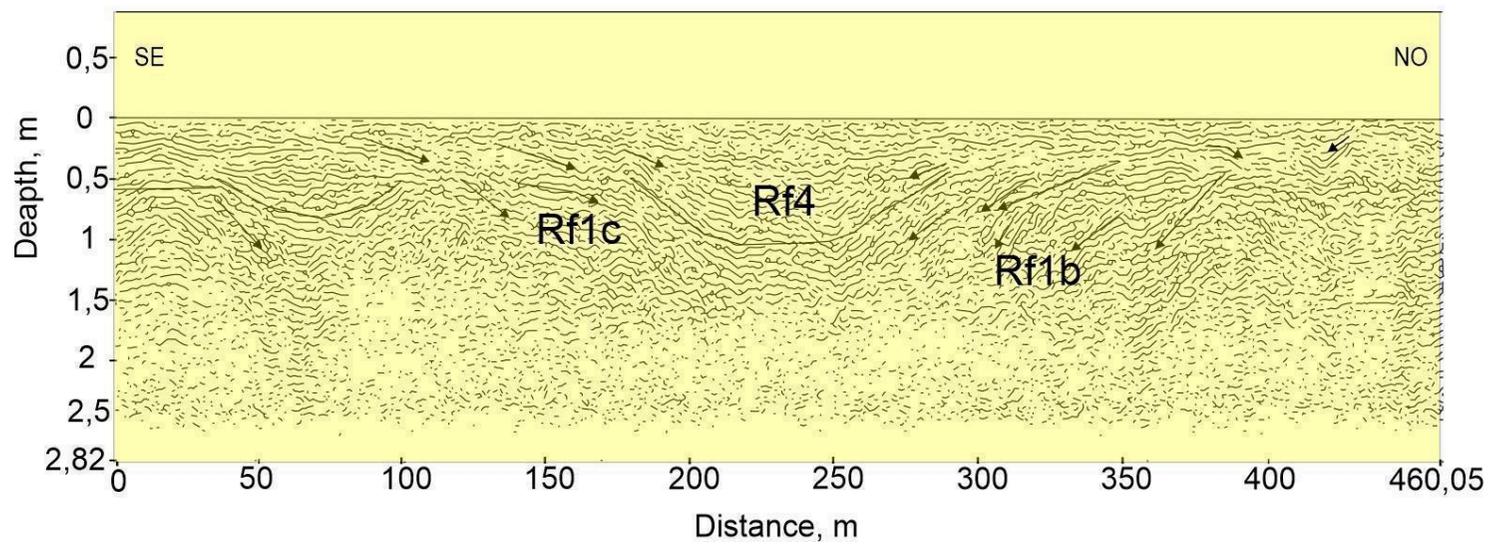
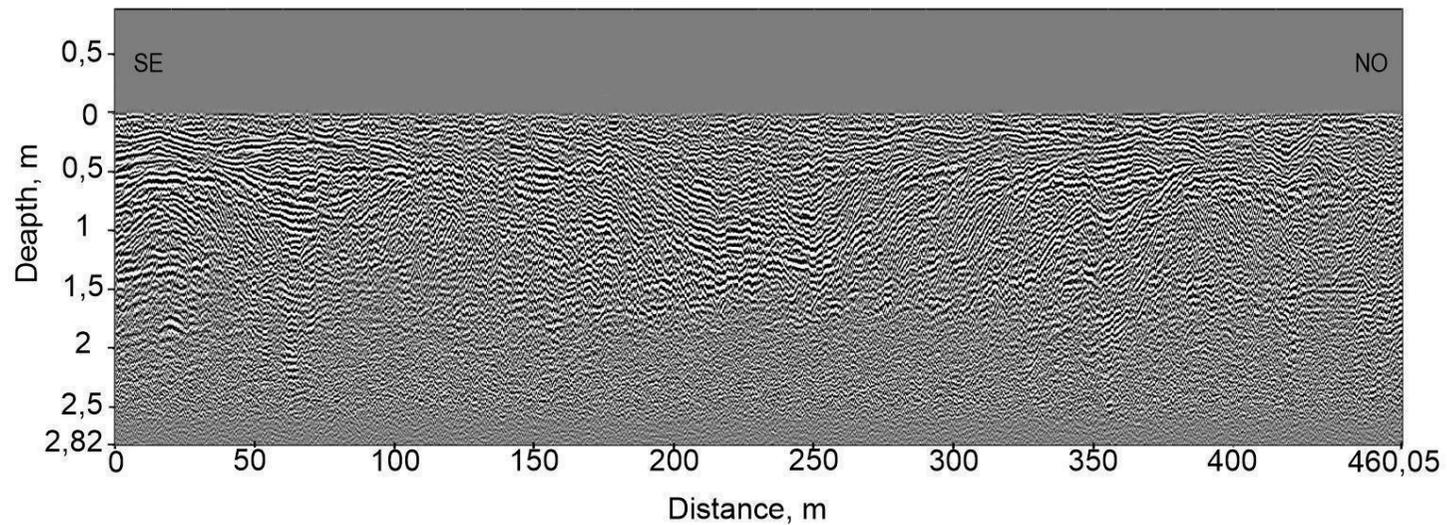
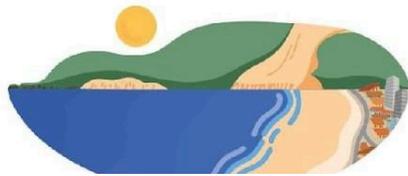


Figura 3: Linha longitudinal GPR-03. Rf1b e Rf1c progradação lateral e Rf4a e Rf4b preenchimento de canal de maré

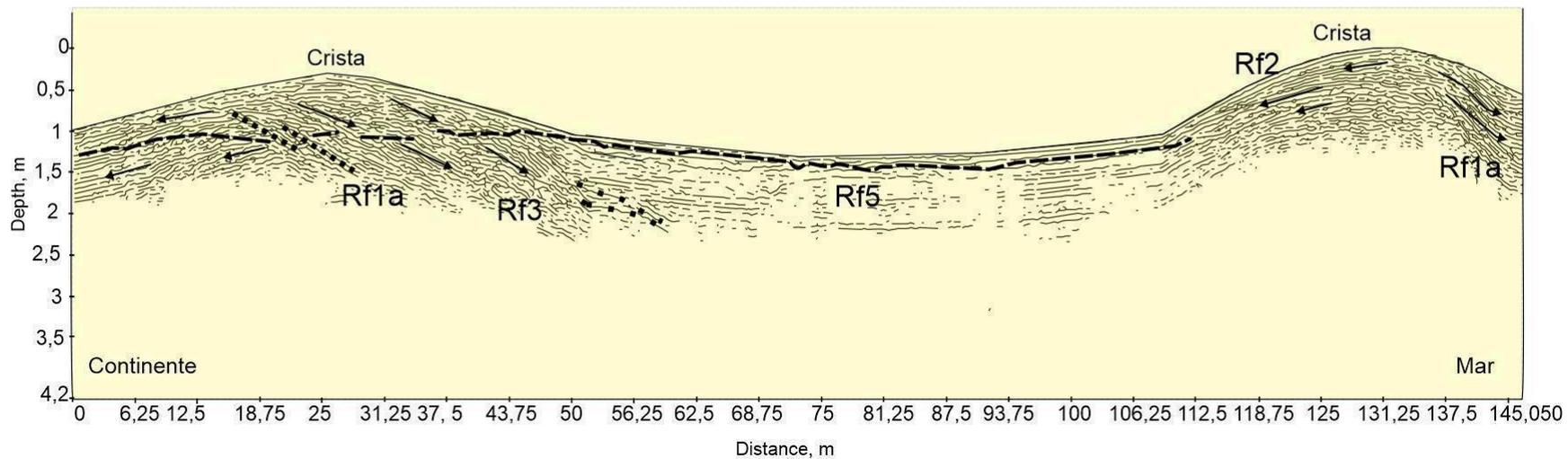
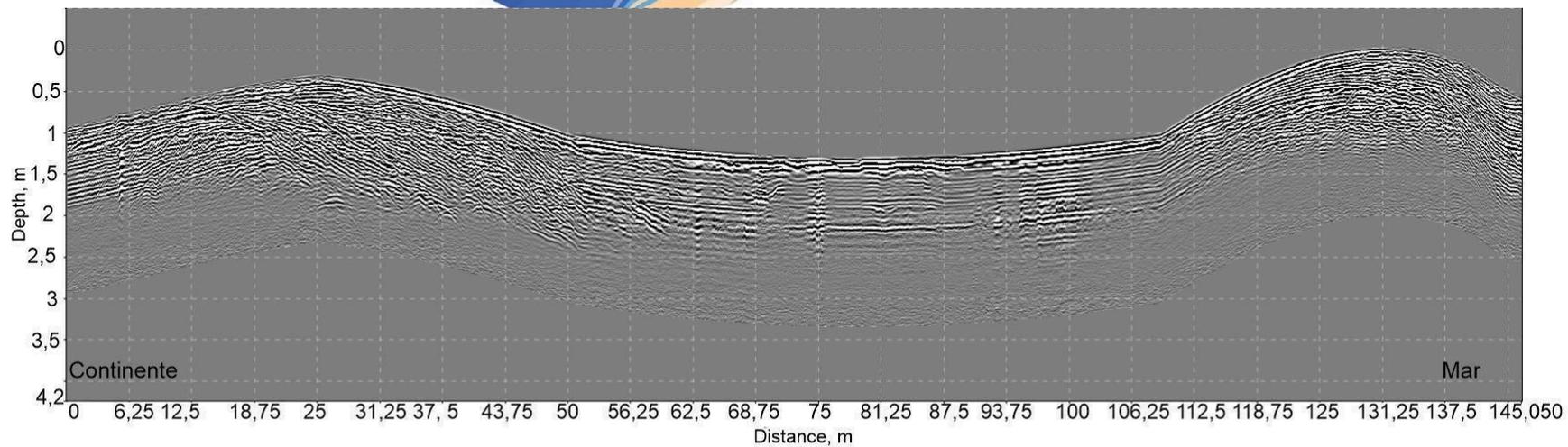


Figura 4: Linha transversal GPR-04. Rf1a progradação praial, Rf3 margem lagunar e Rf5 corpo lagunar colmatado



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deltas assimétricos dominados por ondas apresentam características diferenciadas em relação a outros tipos de deltas, e o GPR pode revelar a complexidade existente nas camadas sedimentares. A evolução do delta do rio Paraíba do Sul tem sido amplamente estudada, desse modo, o GPR se mostrou uma importante ferramenta para se entender dinâmicas costeiras associadas à sua evolução. As características observadas em subsuperfície, por meio das linhas de GPR, correspondem aos processos de desenvolvimento da planície costeira, assim como fases erosivas em forma de truncamentos erosivos, evidenciadas por truncamentos erosivos presentes nas quatro linhas analisadas.

Também foi possível observar e relacionar registros dos processos de empilhamento progradacional e a acreção da linha de costa, abertura e o preenchimento de canal de maré, empilhamento progradacional e a acreção da linha de costa e retrogradação em direção ao continente e a translação do *spit* sobre um corpo lagunar. Os processos observados se relacionam ao desenvolvimento de spits de forma que se conclui que os registros sedimentares resultantes dos processos geomorfológicos ocorridos no delta do rio Paraíba do Sul refletem feições de instabilidade (spits, mangues e corpos lagunares) característicos de um delta assimétrico dominado por ondas.



REFERENCIAS

- ASHTON, A. D.; GIOSAN, L. **Wave-angle control of delta evolution**. *Geophysical Research Letters*, v. 38, n. 13, 2011.
- BARBOZA, E. G.; DILLENBURG, S. R.; RITTER, M. do N.; ANGULO, R. J.; SILVA, A. B.; ROSA, M. L. C. da C.; SOUZA, M. C. de. **Holocene sea-level changes in southern Brazil based on high-resolution radar stratigraphy**. *Geosciences*, v. 11, n. 8, p. 326, 2021.
- BHATTACHARYA, J. P.; GIOSAN, L. **Wave-influenced deltas: Geomorphological implications for facies reconstruction**. *Sedimentology*, v. 50, n. 1, p. 187-210, 2003
- 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, n. 4, 2020.
- COSTA, A. P. F; ROCHA, T. B; OLIVEIRA FILHO, S. R. **Dinâmica da abertura de canais de maré no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul-RJ utilizando imagens orbitais PlanetScope**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, n. 1, 2023.
- ROCHA, T. B.; VASCONCELOS, S. C.; COSTA, A. P. F.; MACHADO, B. A.; FIGUEIREDO, M. S.; NOVAK, L. P.; GONÇALVES, T. P.; FERNANDEZ, G. B. **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*. Brasília: Caliandra, v. 1, p. 381-409, 2022.
- ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B; RODRIGUES, A. **Registros de erosão e progradação revelados por radar de penetração do solo (GPR) na barreira regressiva pleistocênica do complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul (RJ)**. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 8, n. 1, p. 24-37, 2017.
- 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 Geografia Física*, v. 9, n. 6, p. 2153-2167, 2016.
- Wright, L.D.; Coleman, J.M. (1973) **Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave andriver discharge regimes**. *AAPG Bull.*, 57, 370–398