



EVOLUÇÃO DO CABO DE SÃO TOMÉ (RJ) DURANTE O HOLOCENO: EVIDÊNCIAS A PARTIR DE PERFIS DE RADAR DE PENETRAÇÃO DO SOLO (GPR) E DATAÇÕES POR LUMINESCÊNCIA OPTICAMENTE ESTIMULADA (LOE)

Mariana Silva Figueiredo ¹
Thais Baptista da Rocha ²
Guilherme Borges Fernandez ³

RESUMO

As planícies costeiras apresentam registros essenciais para estudos sobre a evolução da paisagem durante o Quaternário. Por conterem diferentes ambientes sedimentares formados pela combinação da ação das ondas, dos rios e dos ventos, essas planícies podem abrigar diversos tipos de feições geomorfológicas, sendo frequentemente alvo de investigações sobre a evolução costeira. Esses estudos, muitas vezes, incluem a identificação da geocronologia dos eventos que modificaram a paisagem, com base em um tripé que envolve a geomorfologia e sua arquitetura deposicional interna. No litoral do Rio de Janeiro, o Cabo de São Tomé (CST) é um bom exemplo de cabo sedimentar, marcando as porções norte e sul do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (CDRPS). O CST possui potencial para oferecer registros paleoambientais preservados da evolução da paisagem, evidenciado pela presença de cordões litorâneos (beach ridges). Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi investigar a geomorfologia, a arquitetura deposicional interna e a geocronologia de seções selecionadas do CST para compreender a evolução da paisagem ocorrida durante o Holoceno Tardio. Para atingir esses objetivos, foi coletado um conjunto de amostras para datação por OSL, em associação com perfis de Radar de Penetração no Solo (GPR), distribuídos ao longo da porção sul do CST. Os resultados mostram que, na porção mais proeminente do CST, um conjunto de cordões litorâneos foi formado a partir de uma longa superfície erosiva truncada, que marca um sistema flúvio-lagunar em torno de 1.600 anos atrás. A partir da posição mais interior, a linha de costa apresenta uma tendência regressiva, com incorporação de materiais arenosos que formam depósitos de praia até o nível atual. Esses resultados são compatíveis com o comportamento geral do nível do mar observado ao longo do sudeste do Brasil e moldam o CST a diferentes padrões de ação das ondas.

INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros podem apresentar configurações distintas em suas características físicas a depender da escala temporal de análise. A configuração desses ambientes é resultado

¹ Professora do Município de Maricá - RJ, marianasf@id.uff.br;

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

³ Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense, guilhermefernandez@id.uff.br.



da interação entre a estrutura geológica, condicionantes tectônicos, suprimento sedimentar, flutuações do nível do mar, não se devendo descartar a atuação de processos eólicos, fluviais ou marinhos (Carter e Woodroffe, 1994). Isso significa que a ação combinada dos elementos mencionados faz com que tais ambientes apresentem uma ampla distribuição espacial e uma variedade de características fisiográficas, muitas vezes relacionados a rápida dinâmica deposicional ou erosiva.

Essas configurações variáveis e dinâmicas refletem não apenas processos naturais atuais, mas também uma herança geológica acumulada ao longo de milhares ou até milhões de anos. A compreensão da morfologia costeira, portanto, exige uma abordagem integrada e multiescalar, que considere tanto os eventos de curta duração (como tempestades, enchentes e ressacas) quanto as transformações graduais provocadas por processos tectônicos, climáticos e eustáticos.

Estudos de evolução costeira demonstram que, em muitas regiões do mundo, o registro sedimentar preserva indícios de transgressões e regressões marinhas, reorganizações fluviais e mudanças no regime de sedimentação, funcionando como um importante arquivo das condições paleoambientais e das respostas morfodinâmicas da costa (Cooper & Pilkey, 2004; Woodroffe, 2002). Assim, a análise detalhada desses ambientes permite não apenas entender suas formas atuais, mas também reconstruir suas trajetórias evolutivas diante das mudanças ambientais passadas — um aspecto crucial em um contexto de crescente vulnerabilidade costeira frente às mudanças climáticas globais.

No norte do litoral do estado do Rio de Janeiro, o Cabo de São Tomé (CST) é um exemplo de cabo sedimentar formado no contexto do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (CDRPS), um dos grandes deltas dominados por ondas ao longo da costa leste do Brasil. A evolução do complexo deltaico esteve relacionada às variações do nível do mar durante o Quaternário, ao fornecimento de sedimentos fluviais e ao deslocamento da foz do rio (a foz do rio Paraíba do Sul migrou de uma posição mais ao sul para uma posição mais ao norte). O cabo de São Tomé representa, na verdade, um limite entre a parte sul do CDRPS — dominada por terraços marinhos pleistocênicos com orientação nordeste-sudoeste — e a parte norte do CDRPS — dominada por depósitos holocênicos da atual foz do rio e caracterizada por uma linha costeira com orientação quase norte-sul (Silva, 1987; Tomaz, 2005; Rocha, 2013).

Nesse contexto, diversas abordagens metodológicas têm sido aplicadas com o objetivo de compreender a evolução de ambientes costeiros ao longo do tempo. Segundo Dougherty et



al. (2018), análises geomorfológicas, geofísicas e geocronológicas vêm sendo utilizadas com sucesso para quantificar padrões de frequência e magnitude de eventos extremos, construir curvas de variação do nível do mar, quantificar balanços sedimentares e elucidar a trajetória evolutiva de sistemas costeiros.

Diante disso, o presente estudo busca contribuir para a compreensão da evolução morfoestrutural do Cabo de São Tomé, considerando a complexa interação entre fatores naturais e históricos que moldaram essa feição costeira singular ao longo do tempo geológico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos no presente trabalho, foram realizados: (i) o mapeamento geomorfológico, de forma a identificar e classificar as feições do relevo e seus processos morfodinâmicos associados; (ii) perfis de Radar de Penetração do Solo, com o intuito de identificar e caracterizar as estruturas em subsuperfície associadas à gênese e evolução do relevo; e (iii) a datação de amostras através do método da Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), a fim de se obter uma base temporal para a compreensão da evolução da paisagem.

O mapeamento geomorfológico, essencial para a caracterização dos diferentes ambientes deposicionais e direcionamento do posicionamento das linhas de georadar e coleta de amostras LOE no trabalho de campo, foi elaborado utilizando como base cartográfica as fotografias aéreas ortorretificadas do Projeto RJ-25, desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2005. No Projeto RJ-25, as fotografias aéreas apresentam resolução espacial suficiente para mapeamentos na escala de detalhe de 1:25.000, em composição colorida (RGB), com resolução de em média 5m por pixel, projetadas no sistema de coordenadas UTM fusos 23 e 24, e referenciadas no sistema geodésico SIRGAS 2000. As classes finais foram Planície costeira, Planície fluvio-marinha, Depressões lagunares, Drenagens afogadas, Corpos hídricos e Área antrópica.

Quanto ao Radar de Penetração do Solo, foram adquiridas em campo 12 linhas (10 transversais e 2 longitudinais à linha de costa que foram posteriormente passaram por todas as etapas de processamento que envolvem a remoção da onda aérea, aplicação de filtros (passa-banda) para remoção de ruídos, a aplicação de ganho (background removal e FIR, principalmente), a conversão de tempo em profundidade e a correção topográfica.



Além da identificação da arquitetura deposicional interna, o conhecimento das idades das morfologias de interesse de uma investigação é de extrema importância para o entendimento da dinâmica e evolução da paisagem, sendo então importante a utilização de métodos de datação. Em campo, foram estabelecidos 5 pontos de amostragem, totalizando 8 amostras (em três dos cinco pontos foram coletadas um par de amostras). Cada uma das amostras passou por todas as etapas necessárias para a obtenção das idades de sua deposição, a saber: a preparação do material (peneiramento, tratamento químico com ácido clorídrico, peróxido de hidrogênio e oxalato de sódio, separação por densidade), mensuração da dose equivalente (preparação das alíquotas, utilização dos leitores, cálculo das doses recebidas), cálculo das taxas de dose (espectrometria gama e dose cósmica), cálculo das idades (utilizando o Dose Rate Calculator fornecido pela Aberystwyth University) e testes de validação. Os resultados da datação foram excelentes uma vez que a sensibilidade dos sedimentos quartzosos permitiram a obtenção adequada de informações esperadas em relação à geocronologia das feições de interesse.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Cabo de São Tomé está inserido no contexto do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (CDRPS) e é constituído por ambientes sedimentares relacionados às diferentes fases de deltação do Rio Paraíba do Sul. O trecho sul do referido complexo é marcado pela presença de paleocanais, áreas alagadiças e sedimentação fluvial, lacustre e marinha enquanto o trecho norte apresenta o predomínio de depósitos marinhos organizados em cristas de praia (Dias, 1981; Rocha, 2013).

Especificamente no trecho referente à área de estudo do presente trabalho, o mapeamento geomorfológico mostra claramente o predomínio dos processos fluviomarinheiros, corroborando com a literatura científica na área (ex. Dias, 1981; Figueiredo et al., 2021; Rocha, 2013; Rocha et al., 2021, 2013; SILVA, 1987). Além de tal atributo, reconhecido em trabalhos anteriores, o mapeamento realizado, em função da própria delimitação das classes, também demonstra nitidamente um extenso truncamento da planície fluvio-marinha e o desenvolvimento subsequente de uma planície costeira que marca a extremidade do CST.

Considerando os perfis de GPR obtidos nas áreas de coleta das amostras, os dados evidenciaram o amplo predomínio de reflexões planas a ligeiramente convexas, paralelas, moderadamente contínuas a contínuas que representam sedimentos de praia progradante,



depositados por swash. Esses refletores, que dominaram os registros obtidos, encontram-se normalmente superpostos a um conjunto de reflexões irregulares características do ambiente de antepraia superior. O padrão verificado tanto vai ao encontro do esperado, considerando a área de aquisição, conforme ilustra a Figura 1.

É interessante destacar que, dentro desse conjunto de dados, apenas o perfil de GPR FST004 apresentou superfícies erosivas claramente identificáveis, o que não ocorreu nos outros perfis. Além disso, este perfil também foi o único em que foi possível identificar um conjunto de refletores inclinado em direção ao continente. Essas características sugerem que nesse trecho a planície costeira experimentou condições erosivas seguidas por momentos de recuperação praial e manutenção do padrão progradante.

Com relação à datação por Luminescência Opticamente Estimulada, as amostras revelaram propriedades adequadas para a obtenção das idades. Os procedimentos realizados seguiram o Protocolo SAR (Murray and Wintle, 2003) e para os cálculos posteriores foi utilizado o Central Age Model (CAM) uma vez que não foram verificados indícios de fotoesvaziamento parcial (*partial bleaching*).

Os principais resultados inerentes a todos os procedimentos incluídos na datação de amostras por LOE, tais como percentual de água, taxa de dose, dose equivalente e idade obtida, entre outros, podem ser observados na Tabela 1 e os resultados especializados no mapeamento geomorfológico podem ser observados na Figura 3.

As idades obtidas variaram entre 1627 ± 84 a 340 ± 30 anos, estando de acordo com o esperado. A expectativa era que os resultados indicassem valores inferiores à amostra mais jovem da Lagoa Salgada, que apresentou, no momento de formação do conjunto mais recente de cristas de praia, a idade de 1939 ± 250 anos. Notadamente, todo o conjunto de cristas de praia que constitui a localidade de Farol de São Tomé se constrói a partir de um grande truncamento que indica um momento erosivo bastante importante na evolução do Cabo de São Tomé, uma vez que a planície fluvio-marinha, depressões lagunares e a própria planície costeira antecedentes estão truncados na paisagem. Dessa forma, foi possível reconhecer que o conjunto de cristas de praia que compõe a planície costeira da localidade de Farol de São Tomé foi construído ao longo dos últimos 1600 anos, aproximadamente.

0

100m

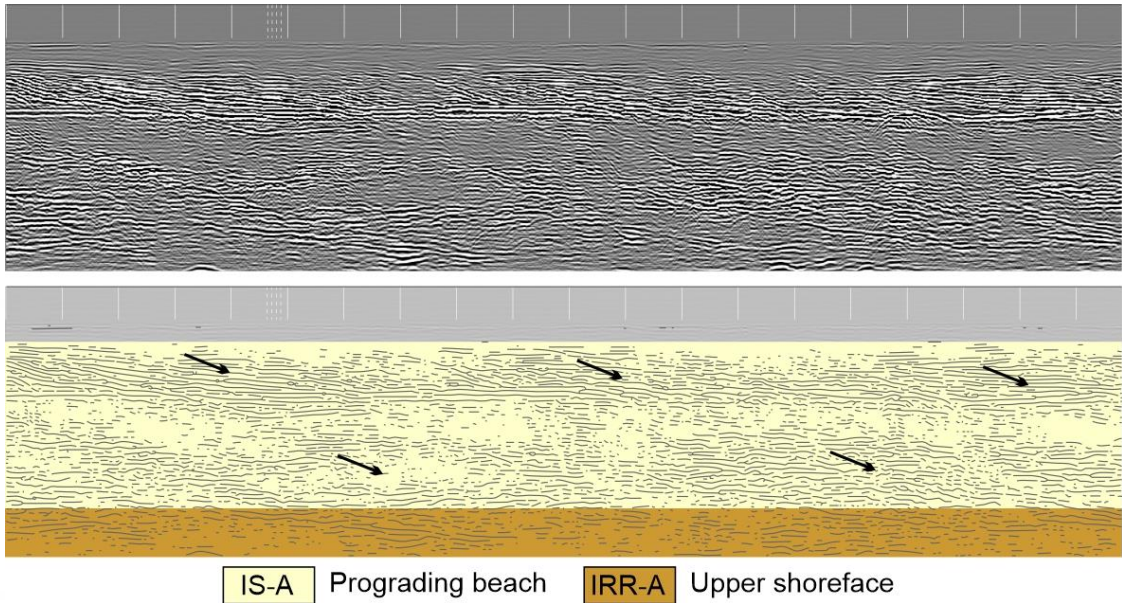


Figura 1. Perfil de radar de penetração do solo FST009 (Amostra FST04).

0

75m

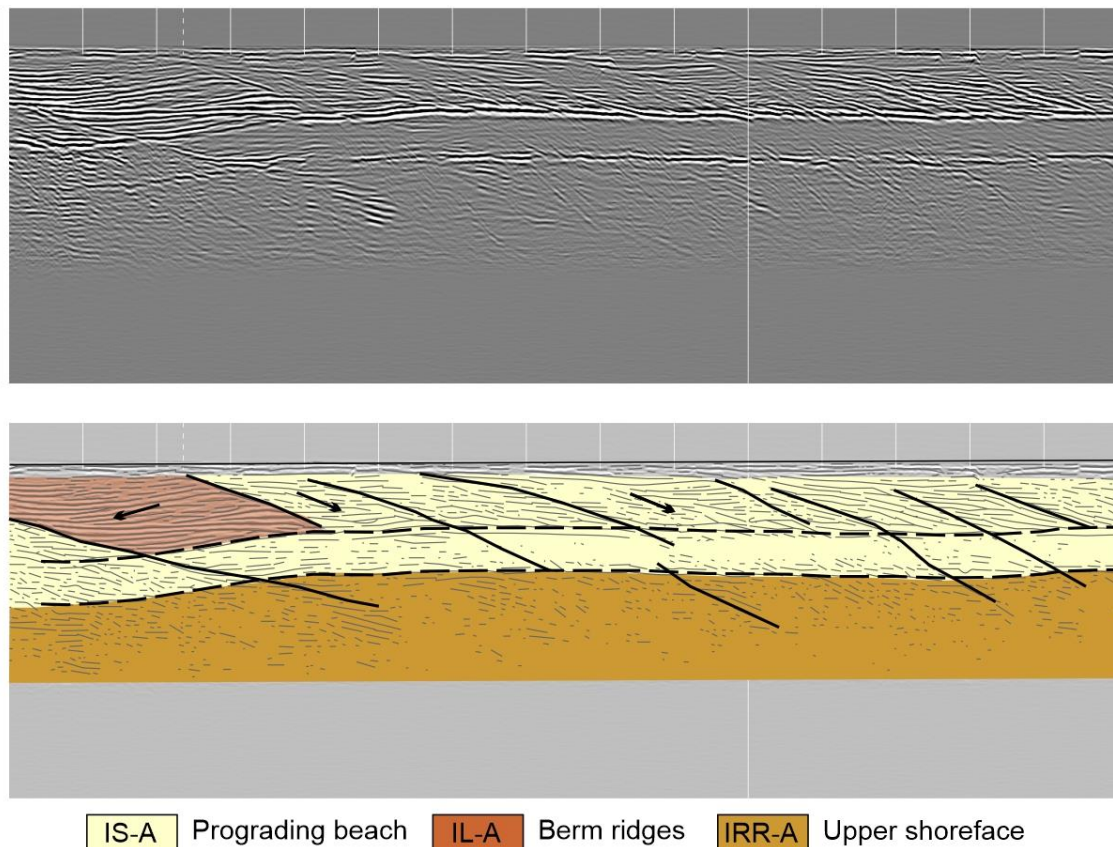


Figura 2. Perfil de radar de penetração do solo FST004 (Amostra FST01).

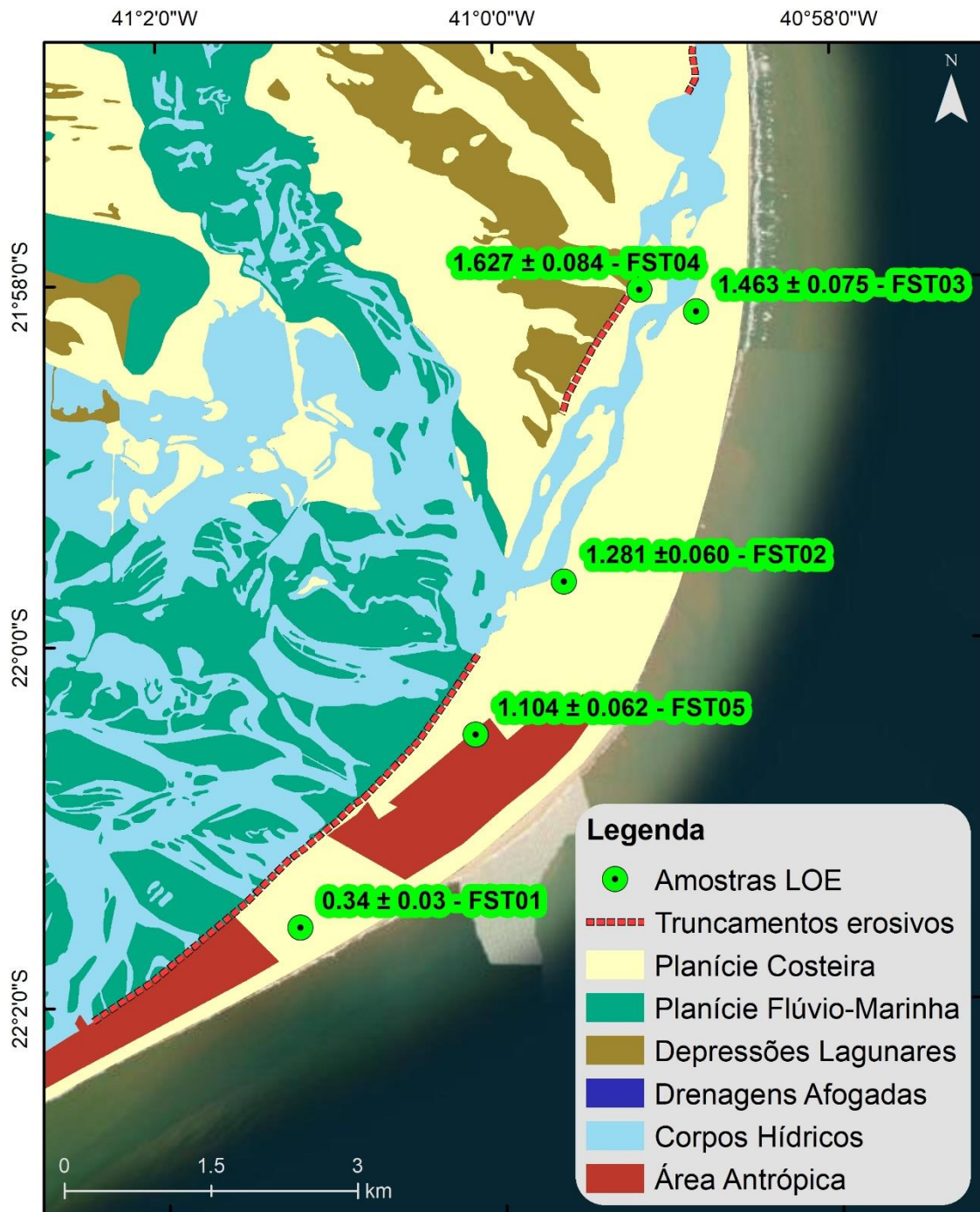


Figura 3. Mapeamento geomorfológico e idades obtidas a partir da datação por LOE.



Tabela 1. Dosimetria, dados de dose de equivalente e idades das amostras de luminescência. U — urânio, Th — tório, K — potássio.

Sample	FST 1	FST 2A	FST 2B	FST 3A	FST 3B	FST 4A	FST 4B	FST 5
LabCode	CL5712	CL5713	CL5714	CL5715	CL5716	CL5717	CL5718	CL5719
Depth (m)	1.37 m	1.0 m	1.4 m	0.95 m	1.35 m	0.95 m	1.35 m	1.3 m
Water mass (%)	0.54	1,53	2.13	2,20	10.69	0,23	1.79	0.71
U (ppm)	0.58 ± 0.04	0.5 ± 0.04	0.5 ± 0.04	0.59 ± 0.04	0.59 ± 0.04	1.61 ± 0.11	1.07 ± 0.07	0.60 ± 0.04
Th (ppm)	3.35 ± 0.23	2.84 ± 0.20	2.84 ± 0.20	3.67 ± 0.26	3.67 ± 0.26	13.26 ± 0.91	7.72 ± 0.53	4.06 ± 0.29
K (%)	0.16 ± 0.00	0.19 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.22 ± 0.01	2.57 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.15 ± 0.01
Dose rate (Gy/ka)	0.647 ± 0.028	0.632 ± 0.028	0.622 ± 0.028	0.732 ± 0.031	0.723 ± 0.031	1.518 ± 0.072	1.076 ± 0.048	0.689 ± 0.031
Aliquots	23	24	24	24	24	24	16	15
OD (%)	33,69	5,71	9,61	12,86	9,55	1,51	7,71	13,07
Age model	CAM	CAM	CAM	CAM	CAM	CAM	CAM	CAM
Burial dose (Gy)	0.22 ± 0.0	0.81 ± 0.0	0.9 ± 0.0	1.07 ± 0.0	0.96 ± 0.0	2.47 ± 0.0	1.71 ± 0.0	0.76 ± 0.0
Age (years)	0.34 ± 0.03	1281 ± 60	1446 ± 71	1463 ± 75	1328 ± 63	1627 ± 84	1589 ± 78	1104 ± 62

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos contribuem com a compreensão da evolução do Cabo de São Tomé (CST), situado no contexto do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (CDRPS). O mapeamento geomorfológico, aliado à aplicação de técnicas geofísicas e à datação por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), revelou uma paisagem complexa, fortemente marcada pela atuação de processos fluviomarinheiros e por episódios de erosão e progradação costeira.

A caracterização detalhada da área permitiu confirmar a compartimentação interna do CST, com destaque para a transição entre a planície fluvio-marinha e a planície costeira associada ao desenvolvimento das cristas de praia. Os dados de GPR mostraram padrões refletivos consistentes com sedimentos de ambientes praias progradantes, com indícios pontuais de episódios erosivos seguidos por reconstrução sedimentar, como verificado no perfil FST004.



As idades obtidas por LOE, variando entre aproximadamente 1600 e 340 anos, corroboram a hipótese de que a planície costeira da localidade de Farol de São Tomé foi construída a partir de um importante episódio de truncamento erosivo, seguido por deposição sucessiva de cristas de praia. Tais resultados estão em consonância com estudos anteriores e reforçam a importância do CST como uma feição chave para compreender os processos costeiros holocênicos no litoral norte fluminense.

Este trabalho reforça a eficácia da abordagem integrada entre mapeamento geomorfológico, métodos geofísicos e técnicas de datação para a reconstituição da história evolutiva de ambientes costeiros. Como perspectivas futuras, sugere-se a aplicação de análises de proveniência sedimentar e modelagem numérica, a fim de aprofundar o entendimento sobre os controles morfodinâmicos que atuam na região.

Palavras-chave: Evolução Costeira; Cabos Sedimentares; Holoceno; Radar de Penetração no Solo (GPR); Luminescência Opticamente Estimulada (OSL).

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq pela Bolsa de Pós-Doutorado Junior (Processo Nº 152310/2022-3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COOPER, J. A. G.; PILKEY, O. H. Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change*, v. 43, n. 3-4, p. 157–171, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.07.001>
- Dias, G.T.M., 1981. O complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul (Rio de Janeiro), in: Suguio, K., DE MEIS, M.R.M., TESSLER, M.G. (Eds.), *Atlas IV Simpósio Do Quaternário No Brasil*. Rio de Janeiro, pp. 58–88.
- Figueiredo, M.S., Brill, D., Rocha, T.B. da, Fernandez, G.B., 2021. Late Holocene evolution of São Tomé cape (Rio de Janeiro, Brazil): Insights from geomorphological, geophysical and geochronological data. *Quat. Int.* 602, 15–29.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.04.001>



- Figueiredo, M.S., Rocha, T.B. da, Fernandez, G.B., 2018. Geomorphology and internal depositional architecture of Massambaba holocene coastal barrier, Rio de Janeiro state. *Rev. Bras. Geomorfol.* 19, 447–464. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1374>
- Murray, A.S., Wintle, A.G., 2003. The single aliquot regenerative dose protocol: Potential for improvements in reliability, in: *Radiation Measurements*. Pergamon, pp. 377–381. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00053-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00053-2)
- Neal, A., 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: Principles, problems and progress. *Earth-Science Rev.* 66, 261–330. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.004>
- Rhodes, E.J., 2011. Optically stimulated luminescence dating of sediments over the past 200,000 years. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 39, 461–488. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040610-133425>
- Rocha, T.B. da, 2013. A PLANÍCIE COSTEIRA MERIDIONAL DO COMPLEXO DELTÁICO DO RIO PARAÍBA DO SUL (RJ): arquitetura deposicional e evolução da paisagem durante o Quaternário Tardio.
- Rocha, T.B. da, Fernandez, G.B., De Oliveira Peixoto, M.N., Rodrigues, A., 2013. Arquitetura deposicional e datação absoluta das cristas de praia pleistocênicas no complexo deltaico do Paraíba do Sul (RJ). *Brazilian J. Geol.* 43, 711–724. <https://doi.org/10.5327/Z2317-488920130004000010>
- Rocha, T.B. da, Magalhães, B.L., Fernandez, G.B., 2021. ESCALAS INTERDECADAL E INTERANUAL NA AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DA LINHA DE COSTA : Um estudo de caso nas praias de Rio das Ostras (RJ). *Rev. da ANPEGE* 17, 146–161.
- SILVA, C.G., 1987. Estudo da Evolução Geológica e Geomorfológica da Região da Lagoa Feia. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- WOODROFFE, C. D. Coasts: Form, Process and Evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. ISBN: 9780521804030