

## VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS E EROÇÃO DAS PRAIAS DO SEGMENTO CENTRAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E PADRÕES GRANULOMÉTRICOS

*MORPHOLOGICAL VARIATIONS AND EROSION OF BEACHES IN CENTRAL SEGMENT OF THE STATE OF RIO DE JANEIRO: REMOTE SENSING TECHNIQUES AND GRAIN SIZE PARAMETERS*

Willian Cruz GOUVEA JUNIOR<sup>1</sup>, João Wagner de Alencar CASTRO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Geologia (PPGL) - Departamento de Geologia. Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia & Meio Ambiente (LAGECOST) - Museu Nacional (UFRJ). Quinta da Boa Vista - São Cristóvão, Rio de Janeiro - RJ. E-mail: williangouveajr@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro - Departamento de Geologia. Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia & Meio Ambiente (LAGECOST) - Museu Nacional (UFRJ) - Departamento de Geologia e Paleontologia. Quinta da Boa Vista - São Cristóvão, Rio de Janeiro - RJ. E-mail: castro@mn.ufrj.br

Introdução  
Contexto ambiental  
Material e método  
    Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento  
    Parâmetros granulométricos  
Resultados  
Discussão  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** - O processo de erosão costeira representa grande desafio para os gestores públicos, especialmente em médias e grandes cidades brasileiras. Uma parcela significativa das cidades tem sido protegida por estruturas de enrocamento contra desastres naturais e pela ação humana. O aumento das ondas de tempestades observadas durante as estações do ano favorece inundações marinhas que poderão atingir com mais frequência áreas urbanas, exigindo que os gestores expandam as estruturas de proteção costeira. Objetiva-se identificar áreas submetidas ao recuo de linha de praia e inundações marinhas no segmento de litoral investigado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise dos padrões granulométricos. Procedimentos metodológicos envolveram análise integrada de imagens de sensoriamento remoto dos satélites Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI) no intervalo temporal entre 1984 – 2024. Analisou-se doze amostras de sedimentos coletados nos ambientes de pós-praia e face de praia, identificando parâmetros estatísticos e morfodinâmicos relacionados a sedimentação praial. Resultados obtidos sugerem erosão costeira nas praias de Jacocé (Maricá) e Monte Alto (Arraial do Cabo), estabilidade sedimentar em Saquarema e deposição de sedimentos na praia Grande (Arraial do Cabo). Dados obtidos servirão de suporte para tomada de decisão quanto ao gerenciamento de risco geológico por parte do poder público.

**Palavras-chave:** Dinâmica Costeira. Risco Geológico. Erosão Costeira. Inundações Marinhas. Sensoriamento Remoto.

**ABSTRACT** - The coastal erosion process represents a great challenge for public managers, especially in medium and big Brazilian cities. A significant portion of cities have been protected by rockfill structures against natural disasters and human action. The increase in storm waves observed during the seasons favors marine flooding that could reach urban areas more frequently, requiring managers to expand coastal protection structures. The objective of this study is to identify areas of coastal erosion and marine flooding in the segment of the coast investigated through remote sensing techniques and analysis of grain size parameters. Methodological procedures involved integrated analysis of remote sensing images from the Landsat 5 (TM) and Landsat 8 (OLI) satellites in the time interval between 1984 – 2024. Twelve sediment samples collected in the backshore and shoreface environments were analyzed, identifying statistical and morphodynamic parameters related to beach sedimentation. Results suggest coastal erosion on the beaches of Jacocé (Maricá) and Monte Alto (Arraial do Cabo), sedimentary stability in Saquarema and sediment deposition on Praia Grande (Arraial do Cabo). Data obtained will serve as support for decision-making regarding geological risk management by the government.

**Keywords:** Coastal Dynamics. Geological Risk. Coastal Erosion. Marine Flooding. Remote Sensing.

### INTRODUÇÃO

Os impactos negativos das mudanças climáticas e atividades antrópicas modificam a posição da linha de praias, resultando em processos de erosão e deposição de sedimentos (Fernandes & Castro, 2020; Gouvea Junior et al., 2022; Castro et al., 2024). Conforme Luijendijk et al. (2018), aproximadamente 24% das praias arenosas em todo mundo encontram-se em erosão com taxas mé-

dias de recuo na ordem de - 0,5 m/ano, 28% estão em acreção de sedimentos e 48% permaneceram estáveis nas últimas três décadas. O aumento significativo de pesquisas envolvendo processos de erosão costeira nos últimos quarenta anos no Brasil e no mundo contribuíram para uma melhor compreensão da variabilidade temporal e espacial das linhas de praias, facilitando a implementação

de estratégias eficazes para o gerenciamento e adaptação das mudanças climáticas em curso (Ankrah et al. 2023; Charuka et al. 2023; Castro et al., 2024).

Pesquisadores através de diversos trabalhos em zonas costeiras reconhecem amplamente a importância das adaptações das mudanças climáticas em relação aos processos de recuo de linha de praia decorrentes de eventos cada vez mais frequentes de tempestades (Evadzi et al. 2018; Gouvea Junior et al., 2022). As adaptações através da implementação de estruturas de engenharia ou engordamento artificial de praias são processos cruciais na proteção de cidades costeiras. Desempenham um papel significativo na redução de vulnerabilidades e na resiliência de comunidades e ecossistemas litorâneos (Rocha et al., 2023).

O recuo da linha de praia em médias e grandes cidades é um desafio ambiental com implicações multifacetadas (Castro et al., 2024). O desenvolvimento urbano frequentemente acelera os processos relacionados de erosão costeira, alterando o suprimento de sedimentos e o fluxo natural das ondas, marés e correntes de deriva litorânea (Gouvea Junior et al., 2022; Fernandes & Castro, 2024). Projetos de estruturas de engenharia, entre estes, espigões, guias-correntes, quebra mares e molhes potencializam o processo erosivo através de alterações do padrão de incidência de ondas e do transporte de sedimentos (Castro et al., 2024). A perda de áreas urbana e naturais pela erosão impacta os ecossistemas locais, ameaça propriedades, a infraestrutura e o turismo (Dolan et al., 1991; Neelamani & Uddin, 2013; Gouvea Junior et al., 2022).

## CONTEXTO AMBIENTAL

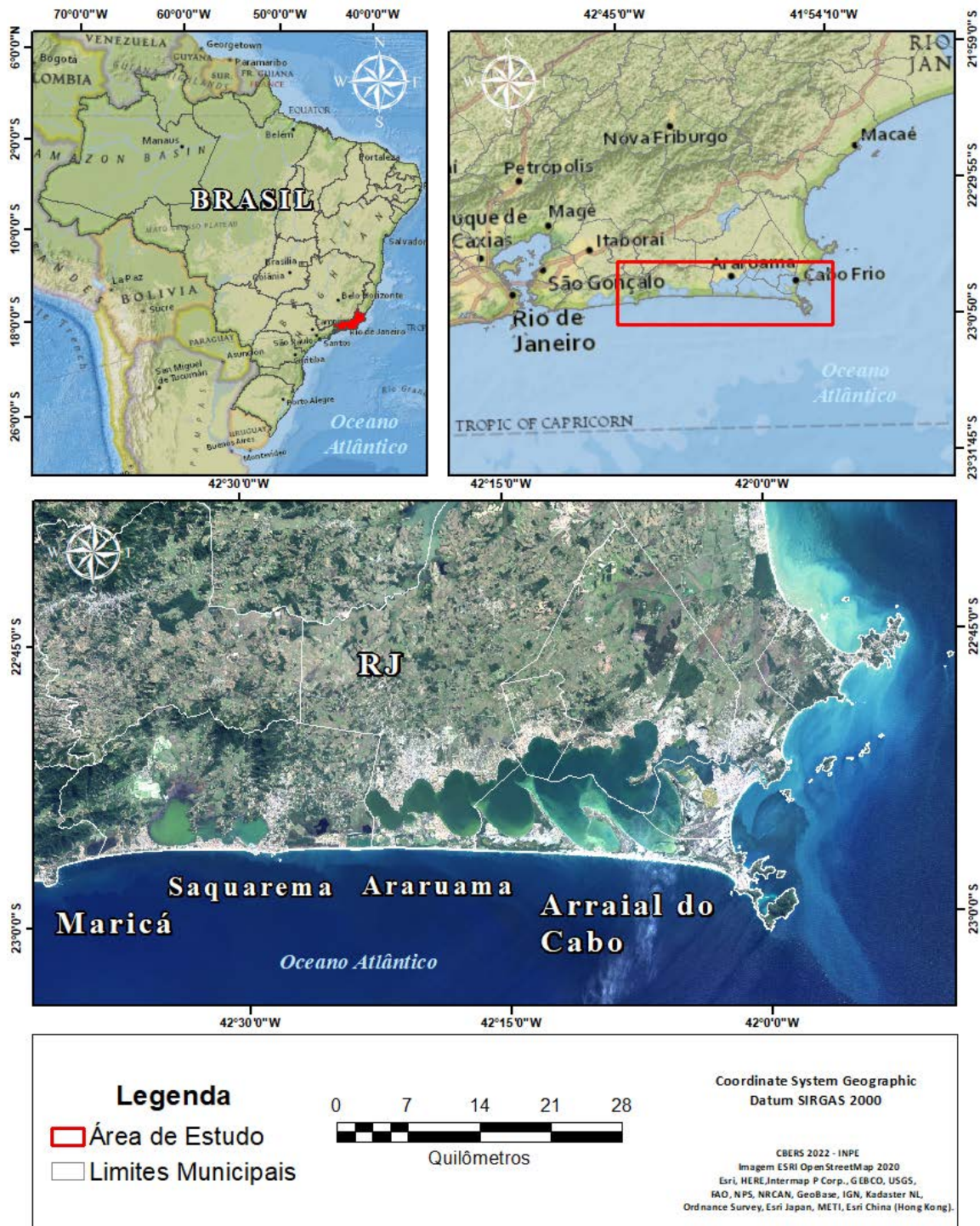
A área de estudo localiza-se na costa central do Estado do Rio de Janeiro entre os municípios de Maricá e Arraial do Cabo. Caracterizam-se por morfologias retilíneas, limitadas por promontórios e cordões litorâneos na retaguarda. Nesse segmento de litoral, identificou-se diversas áreas de risco geológico relacionadas à erosão costeira e inundações marinhas. A faixa de praia é de aproximadamente 70 km de extensão com orientação preferencial oeste-leste (Figura 1).

A plataforma continental é recoberta por areias médias a finas e por uma delgada camada de lama próxima a isóbata de 20,0 m (Muehe et al., 2011; Castro, et al., 2018). Identifica-se entre o segmento de Maricá - Arraial do Cabo a presença de cordões litorâneos suaves com praias relativamente largas e de baixo declive. Essas

A área investigada, devido à natureza do substrato, é reconhecida do ponto de vista sedimentológico-geotécnico como sensível a desastres ambientais e riscos geológicos. A influência significativa de ondas de tempestade, marés, corrente de deriva litorânea e mudanças do nível relativo do mar ao longo do Holoceno são os principais agentes modificadores do substrato geológico (Castro et al., 2021). Com as mudanças climáticas em curso, torna-se necessário atuar na prevenção de desastres naturais, induzidos por agentes geológicos, meteorológicos e oceanográficos conforme estudos realizados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* (Fox-Kemper et al., 2021). As atividades antropicas desenvolvidas nessa região potencializam ainda mais instabilidade da linha de praia nesse segmento de litoral, ocasionando o desequilíbrio do balanço sedimentar, e conseqüentemente, acentuando o processo de erosão costeira.

O estudo proposto visa avaliar, do ponto de vista quantitativo, as áreas de maior suscetibilidade à erosão costeira e inundações marinhas no arco praial entre os municípios de Maricá a Arraial do Cabo na costa central do Estado do Rio de Janeiro. O desenvolvimento desse trabalho justifica-se se pelo fato de grande parte desse segmento litorâneo está submetida à erosão costeira, decorrente de eventos climáticos extremos, principalmente os relacionados a ondas de tempestades do quadrante sul/sudeste (Fernandes & Castro, 2020, 2024). O crescimento demográfico dessa região potencializa ainda mais os problemas ambientais aqui identificados.

condições foram controladas pela regressão marinha após o *optimum* climático, referentes à última transgressão holocênica ocorrida nesse segmento de litoral do sudeste brasileiro (Martin et al., 1996; Cunha et al., 2017; Castro et al., 2014, 2021). À medida que o nível do mar recuava, a planície costeira foi se estabelecendo, favorecendo a formação de dunas, lagunas e pântanos (Castro et al., 2014, Cabral et al, 2018; Silveira et al., 2021; Cabral & Castro, 2022). O aporte de material através do transporte longitudinal em direção a leste, favorecido pela ação das ondas e declividade suaves das praias, apontam para um estágio morfodinâmico reflexivo na praia de Jaconé, intermediário na maioria das praias da restinga de Massambaba, e dissipativo na praia Grande em Arraial do Cabo.



**Figura 1** - Mapa de localização da área de pesquisa entre os municípios de Maricá e Arraial do Cabo – Estado do Rio de Janeiro.

O clima de ondas da região é predominantemente de quadrante sul com ocorrências de marulhos (*swell*) provenientes de sudoeste, associados muitas vezes a ciclones extratropicais e sistemas frontais de frentes frias polares (Parente et al., 2014; Castro et al., 2018; Fernandes & Castro, 2020, 2024). Conforme informações da Marinha do Brasil obtidas pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), a altura predominante de ondas significativas ( $H_s$ ) na

região ocorre na classe de 1,0 a 2,0 m em 40% das observações estudadas, com período médio das ondas de 5 a 9 s (Fernandes & Castro, 2020). O regime é de micromaré com característica semidiurna, apresentando, no mesmo dia, dois períodos de preamar e baixamar. Parte da região é fortemente influenciada pela ressurgência costeira, impulsionada pelos ventos de nordeste, trazendo à superfície águas frias e ricas em nutrientes (Areias et al., 2020).

## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia consistiu em etapas de trabalho envolvendo a aquisição de imagens de sensoriamento remoto, geoprocessamento, trabalhos de campo e análise de parâmetros estatísticos das amostras de sedimentos.

### Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

Os procedimentos metodológicos consistiram em etapas de sensoriamento remoto na aquisição de imagens com resolução espacial moderada (30,0 m), a partir dos sensores dos satélites Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI),

referentes aos anos de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004, 2009, 2014, 2019 e 2024 (Tabela 1). As imagens foram obtidas através do site *Earth Explorer – United States Geological Survey* com órbita/ponto 216/076. A área de estudo selecionada foi o litoral da região dos Lagos Fluminense, estado do Rio de Janeiro, entre os municípios de Maricá e Arraial do Cabo. Utilizou-se o sistema de coordenadas projetadas Datum SIRGAS 2000 com projeção UTM FUSO 23S..

**Tabela 1** - Especificações das imagens de sensoriamento remoto constando informações sobre satélite, sensores, órbita, datas e horas de aquisição, alturas e período de maré, e RMSE (*Root Mean Squared Error*). **Fonte:** *EarthExplorer* e BND0 – Banco Nacional de Dados Oceanográficos.

SATÉLITE	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	ÓRBITA	DATA	HORA	ALTURA MARÉ (m)	RMSE	MARÉ
Landsat 5	TM	30,0	216/076	07/05/1984	12:13	0,40	4,639	Quadratura
Landsat 5	TM	30,0	216/076	29/01/1989	12:15	0,50	6,374	Quadratura
Landsat 5	TM	30,0	216/076	12/02/1994	12:06	0,56	5,234	Sizígia
Landsat 5	TM	30,0	216/076	02/06/1999	12:23	0,26	4,272	Quadratura
Landsat 5	TM	30,0	216/076	28/04/2004	12:25	0,62	4,389	Quadratura
Landsat 5	TM	30,0	216/076	12/05/2009	12:33	0,27	4,155	Quadratura
Landsat 8	OLI	30,0	216/076	03/02/2014	12:46	0,34	7,459	Sizígia
Landsat 8	OLI	30,0	216/076	16/01/2019	12:45	0,80	7,539	Quadratura
Landsat 8	OLI	30,0	216/076	30/01/2024	12:45	0,40	7,948	Quadratura

A análise temporal da variação da linha de praia é um dos indicadores mais utilizados em pesquisas relacionadas ao risco de erosão costeira (Carvalho et al., 2020; Novak & Lamour, 2021; Gouvea Junior et al., 2022). A metodologia empregada para definição dessas variáveis consistiu na seleção de imagens, pré-processamento de imagens digitais, processamento digital das imagens, transformação de imagens, composição de bandas, segmentação da posição da linha de praia e utilização da ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) para determinação das taxas de erosão e acreção de sedimentos entre 1984 e 2024.

Métodos de processamento digital de imagens (PDI) foram empregados através de ambiente Python com o intuito de realçar o contraste e a interferência dos efeitos na radiância das bandas dos satélites Landsat através do espalhamento entre os níveis de cinza nos pixels. Destaca-se que esta etapa foi realizada com a precaução de não ocorrer o *overflow*, isto é, quando a inclinação na reta de

transferência torna-se exagerada, ocasionando na perda de informação. As técnicas de PDI foram utilizadas com o objetivo de realçar as intensidades de corpos d'água e praias da zona costeira da região dos Lagos Fluminense.

Posteriormente, realizou-se a etapa de transformação de imagens e álgebra de bandas com a finalidade de obter *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) (Equação 1). O método desenvolvido tem como intuito realçar o contraste entre corpos da água e a superfície terrestre, definindo como:

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)} \quad (1)$$

Sendo *Green* e *SWIR* as bandas verde e infravermelho próximo (Banda 5 - NIR), respectivamente, para o sensor TM do satélite Landsat 5, e *Green* e *SWIR* as bandas verde e infravermelho de ondas curtas (Banda 6 - SWIR 1), respectivamente, para o sensor OLI do satélite Landsat 8.

A metodologia MNDWI foi inicialmente sugerida por Xu (2006) como uma alternativa

mais precisa ao *Normalized Difference Water Index* (NDWI) formulado por McFeeters (1996), em regiões de ambientes afetados por ondas e turbidez da água. O critério utilizado para delimitação da posição da linha de praia foi o limite molhado/seco da interface oceano-continente identificado pelo método MNDWI.

A segmentação da linha de praia foi realizada através dos métodos de detecção *Canny Edge*, *Otsu Thresholding* e *Contour Finding* em ambiente Python pela função de processamento de imagens *scikit-image* (Walt et al., 2014). O *Canny Edge Detector* e o *Otsu Thresholding* são utilizados para identificar bordas potenciais que são reduzidas a curvas de pixel, derivando automaticamente valores limites com base nos níveis de cinza. Realiza-se essa etapa com o intuito de extrair linhas da interface água/terra das imagens do satélite Landsat após a aplicação da metodologia MNDWI (Canny, 1986; Ozturk & Maras, 2024).

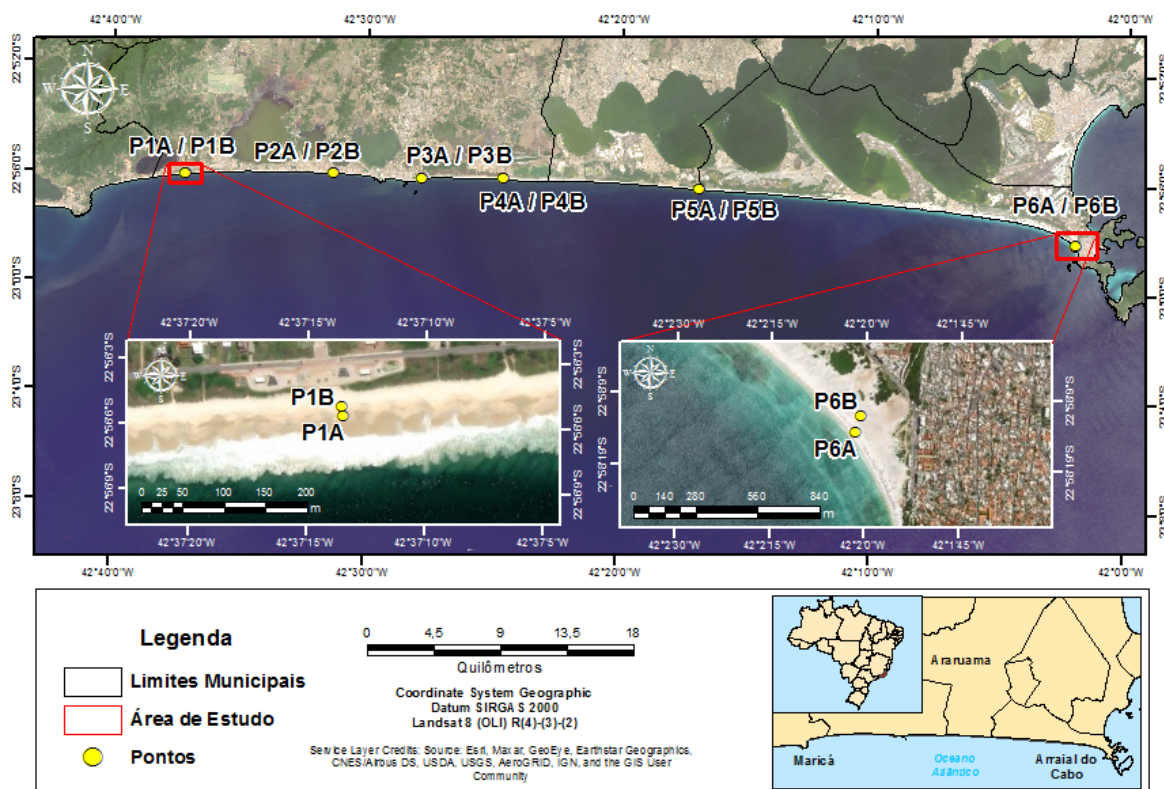
Posteriormente, o *Contour Finding* é requerido para interpolar contornos com valores constantes de forma linear entre os pixels da imagem, permitindo que a localização de linha de praia seja identificada com uma precisão que excede a resolução espacial do satélite (Pardo-Pascual et al., 2012; Lappe et al., 2022). O método determina com precisão pixels de resolução espacial

média ao longo dos limites da interface terra-água de imagens dos sensores TM e OLI. Em seguida, realiza-se a vetorização das imagens processadas e a extração das linhas de praia das imagens do período entre 1984 – 2024.

As taxas de variação de linha de praia foram calculadas através da ferramenta DSAS no software ArcGIS ESRI. Aplicou-se os métodos *Linear Regression Rate* (LRR), *End Point Rate* (EPR) e o *Net Shoreline Movement* (NSM), com o intuito de calcular a variação da faixa de praia em metros ao ano e em metros totais no período de 1984 a 2024 (Himmelstoss et al., 2019). A precisão da marcação da linha de praia também está relacionada ao menor erro médio quadrático de georreferenciamento das imagens (RMSE) e as condições marítimas similares aos dias e horários de aquisição dos dados pelo satélite (Castro et al., 2024). Foram selecionados linhas de base com marcadores fixos no litoral da região dos Lagos Fluminense com objetivo de construir transectos com espaçamento regular de 100,0 m.

### Parâmetros Granulométricos

Foram coletadas 12 (doze) amostras de sedimentos inconsolidados na face da praia e pós-praia distribuídas entre Maricá e Arraial do Cabo pela equipe do Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente – LAGECOST do Museu Nacional/UFRJ (Figura 2).



**Figura 2** - Pontos de coleta de sedimentos representadas em amarelo no mapa, nomeados de “PA” obtidos na face da praia e “PB” na pós-praia.

A metodologia de campo teve como objetivo obter informações sobre as condições morfodinâmicas, transporte de sedimentos e condições de declividade da área investigada. As amostras foram processadas e analisadas no Laboratório de Geologia Sedimentar – LAGESED do Departamento de Geologia – UFRJ.

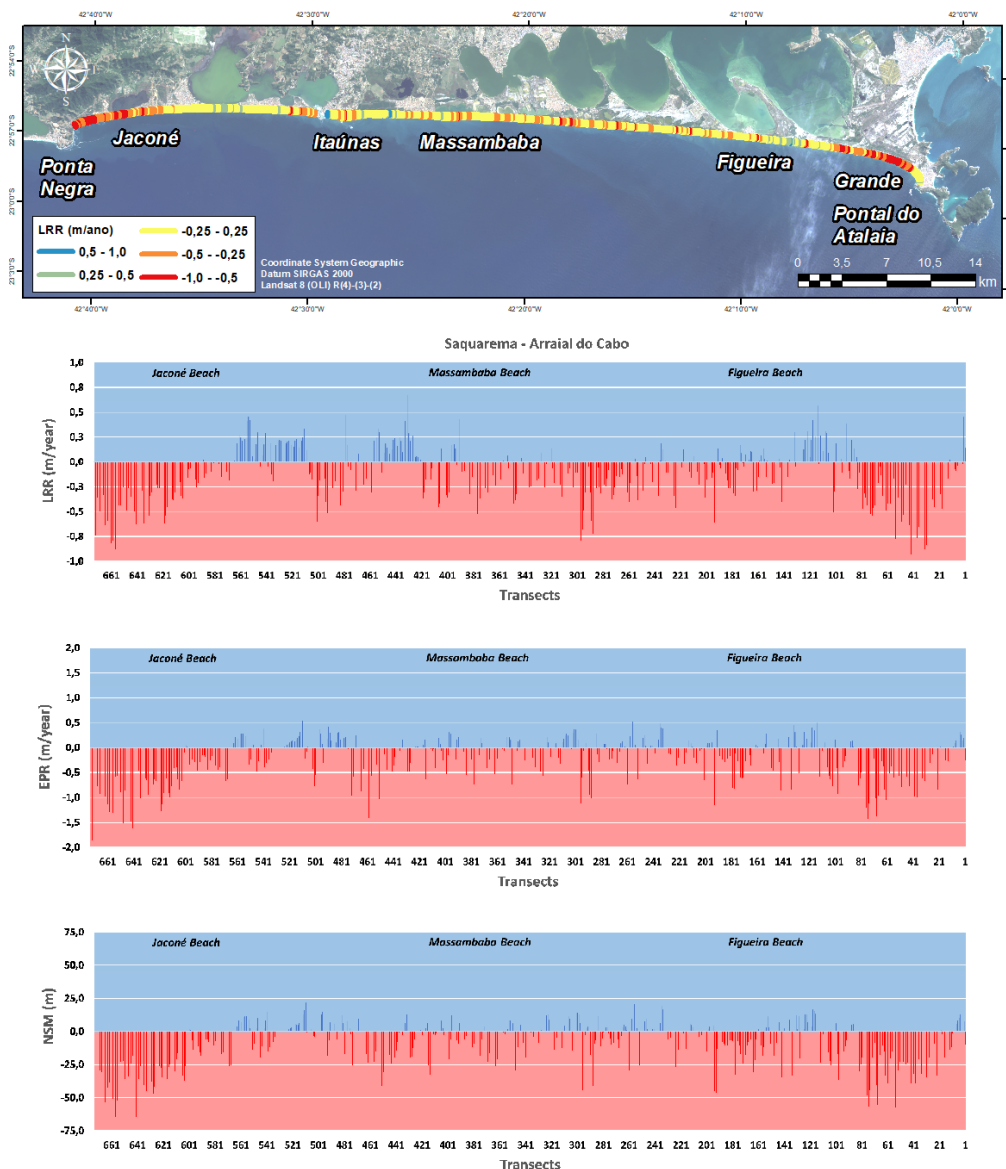
A análise em laboratório consistiu em processos que envolvem a dessalinização, retirada de matéria

orgânica e decarbonatação das amostras de campo. Posteriormente realizou-se análise granulométrica em gramas e porcentagem conforme Wentworth, (1922). Os padrões granulométricos e estatísticos foram utilizados para obter as seguintes propriedades: diâmetro mediano do grão ( $D_{50}$ ), grau de seleção ( $\sigma$ ), grau de assimetria ( $Sk$ ) e curtose para amostras de cada ponto de controle, conforme Folk & Ward (1957) e Komar (1976).

## RESULTADOS

A Figura 3 apresenta os resultados referentes aos processos de erosão/acrecção de sedimentos ao longo do litoral sul da Região dos Lagos Fluminense no intervalo entre 1984 – 2024. Dados obtidos sugerem processos de acreção de sedimentos na praia Grande, junto ao Pontal do Atalaia em Arraial do Cabo. A expansão da faixa de praia foi estimada entre 10,0 e 15,0 m no

referido intervalo. Em todo segmento central da área investigada, as taxas de variação de linha de praia sugerem tendência de estabilidade entre 0,5 e - 0,5 m/ano com exceção da praia da Figueira, com registro erosivo na ordem de - 1,0 m/ano. Na praia de Jacané (Maricá) verificou-se expressivo recuo de linha de praia na ordem de 50,0 m no intervalo de 40 anos.



**Figura 3** - Resultados obtidos através do método DSAS entre os municípios de Arraial do Cabo e Squarema – Costa Central do Estado do Rio de Janeiro.

Dados estatísticos sobre padrões granulométricos da área investigada são apresentados através da Tabela 2. As propriedades físicas envolvem o diâmetro mediano do grão ( $D_{50}$ ), grau de seleção ( $\sigma$ ), assimetria ( $Sk$ ), curtose e

coordenadas para cada ponto de coleta. Os resultados estatísticos indicam padrões distintos de granulometria, seleção e distribuição das amostras entre as praias de Maricá e Arraial do Cabo - RJ.

**Tabela 2** - Resultados dos parâmetros estatísticos referentes ao diâmetro mediano do grão ( $D_{50}$ ), grau de seleção ( $\sigma$ ), assimetria ( $Sk$ ), curtose e coordenadas (Coordinate Sytem Geographic Datum SIRGAS 2000).

AMOSTRAS	COORDENADAS		$D_{50}$ (Phi)	$\sigma$ (Phi)	$Sk$ (Phi)	Curtose (Phi)
<b>P1A</b>	22°56'05.6" S	42°37'13.8" W	0,245	0,420	0,203	2,303
<b>P1B</b>	22°56'05.2" S	42°37'13.9" W	1,014	0,791	0,150	0,664
<b>P2A</b>	22°55'59.2" S	42°31'20.8" W	0,787	0,545	0,150	0,876
<b>P2B</b>	22°55'58.6 S	42°31'20.8" W	0,913	0,562	0,021	0,884
<b>P3A</b>	22°56'08" S	42°27'53.6" W	0,874	0,474	0,166	1,136
<b>P3B</b>	22°56'08.4" S	42°27'53.7" W	0,941	0,509	0,215	1,078
<b>P4A</b>	22°56'06.3" S	42°24'40.7" W	0,960	0,412	0,228	0,990
<b>P4B</b>	22°56'04.9" S	42°24'39.6" W	0,999	0,423	0,332	0,922
<b>P5A</b>	22°56'20.6" S	42°16'56.1" W	1,357	0,337	0,121	1,161
<b>P5B</b>	22°56'20" S	42°16'55.8" W	1,308	0,360	0,075	1,263
<b>P6A</b>	22°58'13.8" S	42°02'02.1" W	2,003	0,317	-0,008	0,738
<b>P6B</b>	22°58'11.4" S	42°02'01.3" W	2,071	0,403	0,049	1,301

Os pontos **P1** e **P2** coletados na da praia de Jaconé são predominantemente constituídos por areias medias e grossas, moderadamente a bem selecionadas e dispersão de clastos simétrica ou positivas. Identifica-se no ambiente da face da praia padrão de curtose muito leptocúrtica em **P1A**, variando predominantemente de plati-

cúrtica a leptocúrtica até o ponto **P6A**. O padrão de distribuição de curtose entre muito baixo (muito platicúrtica) até alto (leptocúrtica) é registrado na transição entre os pontos **P1B** e **P6B**, no segmento entre as praias de Jaconé (Maricá) e Grande (Arraial do Cabo), conforme Tabela 3.

**Tabela 3** - Resultados referentes ao diâmetro mediano do grão ( $D_{50}$ ), grau de seleção ( $\sigma$ ), assimetria ( $Sk$ ) e curtose no ambiente praial com base em Folk & Ward (1957).

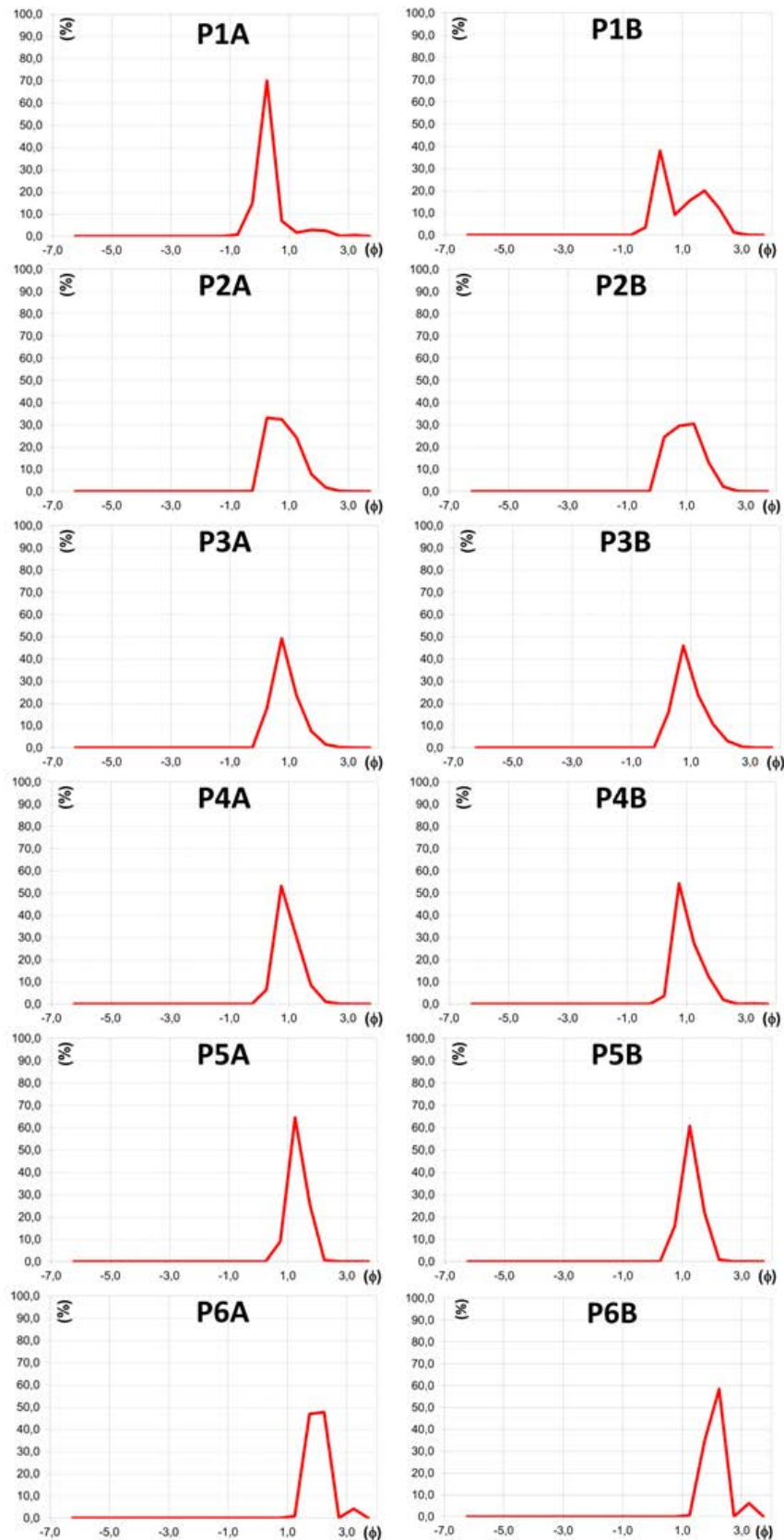
Pós-Praia					Face de Praia				
	$D_{50}$	$\sigma$	$Sk$	Curtose		$D_{50}$	$\sigma$	$Sk$	Curtose
<b>P1B</b>	Areia Média	Moderadamente Selecionado	Positiva	Muito Platicúrtico	<b>P1A</b>	Areia Grossa	Bem Selecionado	Positiva	Muito Leptocúrtico
<b>P2B</b>	Areia Grossa	Moderadamente Selecionado	Simétrica	Platicúrtico	<b>P2A</b>	Areia Grossa	Moderadamente Selecionado	Positiva	Platicúrtico
<b>P3B</b>	Areia Grossa	Moderadamente Selecionado	Positiva	Mesocúrtico	<b>P3A</b>	Areia Grossa	Bem Selecionado	Positiva	Leptocúrtico
<b>P4B</b>	Areia Grossa	Bem Selecionado	Muito Positiva	Mesocúrtico	<b>P4A</b>	Areia Grossa	Bem Selecionado	Positiva	Mesocúrtico
<b>P5B</b>	Areia Média	Bem Selecionado	Simétrica	Leptocúrtico	<b>P5A</b>	Areia Média	Muito Bem Selecionado	Positiva	Leptocúrtico
<b>P6B</b>	Areia Fina	Bem Selecionado	Simétrica	Leptocúrtico	<b>P6A</b>	Areia Fina	Muito Bem Selecionado	Simétrica	Platicúrtico

No segmento costeiro entre as praias de Massambaba e Vilatur, representados pelos pontos **P3** e **P4**, verificou-se predomínio de areias grossas de moderada a bem selecionadas. Os padrões de assimetria identificados são positivos, com variação das formas de curtose

para mesocúrtica e leptocúrtica. Os pontos **P5A** e **P5B**, situados na praia da Figueira, caracterizam-se por areia média, enquanto os pontos **6A** e **6B**, na praia Grande, apresentam composição predominante de sedimentos mais finos. Nesse contexto, o material apresenta-se

bem selecionado nos pontos **P5B** e **P6B** a muito bem selecionado nos pontos **P5A** e **P6A**. As medidas de assimetria sugerem simetria entre os padrões granulométricos de sedimentos finos e

grossos. De modo geral, formas leptocúrticas são observadas e proeminentes no contexto das curvas de distribuição granulométrica, apresentadas através da Figura 4.



**Figura 4** - Curvas de dispersão em Phi para os doze pontos de coleta realizados no segmento entre os municípios de Maricá e Arraial do Cabo – Estado do Rio de Janeiro.



## DISCUSSÃO

Os problemas que envolvem erosão costeira no litoral do estado do Rio de Janeiro são investigados por diversos autores através de metodologias consolidadas no âmbito de estudos da geologia marinha e costeira (Santos et al., 2005; Muehe et al., 2006; Castro et al., 2011; Lins-de-Barros, 2017; Osilieri et al., 2020; Carvalho et al., 2020; Santos, 2020; Gouvea Junior et al., 2022; Carvalho & Guerra, 2024; Fernandes & Castro, 2024; Castro et al., 2024). Os dados obtidos corroboram com os demais trabalhos publicados na área de estudo que sugerem erosão costeira em diversos segmentos desse trecho de litoral nos últimos 40 anos no litoral brasileiro.

No segmento entre as praias de Jaconé (Maricá) e Vila (Saquarema), registra-se tendência de erosão costeira acelerada, com recuo de linha de praia de aproximadamente - 50,0 m no intervalo de 40 anos. Essas informações corroboram dados obtidos por Santos (2020) em relação a estudos de recuo de linha de praia nesse trecho de litoral. Os padrões granulométricos são predominantemente constituídos por areia grossa, identificada nos pontos **P1** e **P2**. Verificou-se ausência de sedimentos finos na transição entre a face da praia e pós-praia. Conforme Suguio (2003) e Bird (2008), em geral, os sedimentos mais leves são carregados pelas correntes de retorno “*rip current*” e de deriva litorânea “*longshore current*”, permanecendo *in situ* o material mais grosso. O processo de erosão costeira nesse segmento de litoral deve-se principalmente a alta potência das ondas de sudoeste na zona de arrebentação (Santos, 2020). A dinâmica do transporte longitudinal de sedimentos é preferencialmente de oeste para leste. A remoção dos sedimentos dessas praias pela ação de ondas de tempestade ocorre principalmente durante o inverno e o outono (Muehe et al., 2006; Muehe et al., 2015; Fernandes & Castro, 2020). As intervenções urbanas na orla dos municípios de Maricá e Saquarema potencializam, ainda mais, os processos erosivos aqui identificados (Santos, 2020; Fernandes & Castro, 2024)

Verificou-se estabilidade sedimentar entre as praias de Itaúna (Saquarema) e Pernambuco (Araruama) com taxas de recuo e acreção de sedimentos na ordem de - 0,5 e 0,5 m/ano. Resultados referentes as análises granulométricas entre os pontos **P3** e **P4** sugerem predominância de sedimentos grossos, bem selecionados e assimetria positiva. Conforme Friedman (1961, 1967), Duane (1964) e Folk (1980), a predominância de clastos

moderadamente a bem selecionados com assimetria positiva ocorrem em praias limitadas por promontórios rochosos com a ausência de desembocaduras fluviais. As áreas fontes de sedimentos são, em geral, proximais. Segundo Fernandes & Castro (2020), o retrabalhamento de sedimentos nesse segmento de litoral deve-se a ação de ondas de tempestades (*swell*) muito comum na costa central do Estado do Rio de Janeiro, voltada para o quadrante sul. Ainda nesse trecho de litoral, destaca-se os padrões de assimetria positiva registrados em ambientes caracterizados por alta energia de ondas, como é o caso da área investigada. Os valores de assimetria negativa ocorrem, no geral, em praias com interferência de desembocaduras fluviais (Friedman, 1961, 1967; Duane, 1964; Folk, 1980). Dados obtidos pelo método DSAS corroboram informações referentes as análises dos padrões granulométrica aqui descritas, sugerindo assim, a estabilidade desse trecho de litoral.

Registra-se taxas de erosão em Figueira e Monte Alto, e sucessivamente, processos de acreção de sedimentos ao longo da praia Grande próxima ao Pontal do Atalaia, em Arraial do Cabo. Tal fato deve-se à deriva litorânea de sedimentos predominantemente de oeste para leste que favorece a deposição contínua de sedimentos mais finos nesse trecho de litoral. Realça-se a ocorrência muito ocasional de inundações marinhas devido a ruptura de cordões litorâneos por ondas de tempestade e fortes ressacas na localidade de Monte Alto. Os padrões granulométricos obtidos nos pontos **P5** e **P6** sugerem predominância de sedimentos mais finos, tanto na face da praia quanto na pós-praia. Resultados obtidos pelo LRR e EPR pelo método DSAS corroboram com as informações aqui obtidas, ou seja, forte processo deposicional nesse trecho de litoral.

As distribuições de curtose em todo o segmento de litoral analisado sugerem sedimentos predominantes praias, com tendência de remoção desde os padrões muito baixo (muito platicúrtica) registrados na praia de Jaconé (Maricá) até os valores alto (leptocúrtica) e deposicionais na praia Grande – Arraial do Cabo (Komar, 1976; Folk, 1980). Os valores dos padrões granulométricos relacionados a simetria do grão sugerem aporte sedimentar nas proximidades do Pontal do Atalaia, corroborando assim, com o sentido da deriva litorânea de oeste para leste.

## CONCLUSÕES

Resultados obtidos apresentam contribuições aos estudos de vulnerabilidade e o panorama de erosão costeira no litoral do Estado do Rio de Janeiro. As taxas de variação da linha de praia obtidos em ambiente SIG pela metodologia *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) indicam padrões distintos no transporte e deposição de sedimentos no decorrer dos últimos quarenta anos na zona costeira da região dos Lagos Fluminense.

Taxas de erosão costeira mais significativas foram observadas na praia de Jacocé (Maricá). O recuo de linha de praia deve-se à deriva litorânea de sedimentos que favorece o transporte longitudinal com direção preferencial oeste-leste.

Ações de ondas de tempestade e inundações marinhas foram identificadas através do processo erosivo acelerado entre as praias de Figueira e Monte Alto (Arraial do Cabo). Constatou-se que eventos de inundações marinhas decorrentes de fortes ressacas, proveniente de ondas do quadrante sul, afetam demasiadamente a infraestrutura urbana da orla costeira e impactam com recorrência as praias do litoral sul do Estado do Rio de Janeiro.

Verificou-se estabilidade do estado morfodinâmico entre as praias de Itaúna (Saquarema) e Pernambuco (Araruama), e acreção de sedimentos em praia Grande (Arraial do Cabo), extremo leste da área de estudo. Parâmetros granulométricos referentes ao diâmetro mediano do grão ( $D_{50}$ ), grau de seleção ( $\sigma$ ), assimetria ( $Sk$ ) e curtose corroboram os resultados acerca das taxas de erosão / acreção no segmento estudado.

Como sedimentos unimodais característicos de areias de praia resultam em curvas normais em gráficos de frequência, os valores de assimetria e angulosidade determinam padrões acerca da distribuição e granulometria de sedimentos em ambientes de deposição praias.

Os resultados aqui obtidos contribuem para uma compreensão abrangente da dinâmica do transporte de sedimentos local, fornecendo estratégias eficazes de gerenciamento do processo de recuo de linha de praia e prevenção de riscos geológicos associados à erosão e inundações marinhas na área investigada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos integrantes do Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia & Meio Ambiente – LAGECOST do Museu Nacional – UFRJ e ao Laboratório de Geologia Sedimentar – LAGESED do Departamento de Geologia – UFRJ, por todo o suporte para o desenvolvimento desta pesquisa. Esta pesquisa foi financiada pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

## REFERÊNCIAS

- ANKRAH, D., OKYERE, C., MENSAH, J., OKATA, E. Effect of climate variability adaptation strategies on maize yield in the Cape Coast Municipality, Ghana. *Cogent Food & Agriculture*, v. 9, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2247166>
- AREIAS, C.; SPOTORNO-OLIVEIRA, P.; BASSI, D.; IRYU, Y.; NASH, M.; CASTRO, J. W. A.; TÂMEGA, F. T. S. Holocene sea-surface temperatures and related coastal upwelling regime recorded by vermetid assemblages, southeastern Brazil (Arraial do Cabo, RJ). *Marine Geology*, v. 425, p. 1-14, 2020. DOI: 10.1016/j.margeo.2020.106183
- BIRD, E. C. *Coastal geomorphology: an introduction*. 2ª ed. New York: John Wiley & Sons, 436 p., 2008.
- CABRAL, C. L.; CASTRO, J. W. A.; CUNHA, A. M. Registros das Variações do Nível Relativo do Mar na Península de Armação dos Búzios, Rio de Janeiro: Análise de Dados Faciológicos e Geocronológicos. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 41, p. 130-141, 2018. DOI: 10.11137/2018\_1\_130\_141
- CABRAL, C. L.; CASTRO, J. W. A. Coastal dunes migration over the Itaúnas district - Espírito Santo, humid tropical coast of Southeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 119, 104016, p. 1-11, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104016>
- CHARUKA, B., ANGNUURENG, D. B., BREMPONG, E. K., AGLORT, S. K. M., AGYAKWA, K. T. A. Assessment of the Integrated Coastal Vulnerability Index of Ghana toward Future Coastal Infrastructure Investment Plans. *Ocean & Coastal Management*, v. 244, n. 106804, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106804>
- CANNY, J. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI-8*, v. 6, p. 679-698, 1986. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>
- CARVALHO, B. C.; DALBOSCO, A. L. P.; GUERRA, J. V. Shoreline position change and the relationship to annual and interannual meteorological conditions in Southeastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 235, n. 106582, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106582>
- CARVALHO, B. C. & GUERRA, J. V. Estimates of longshore sediment transport rates along Macumba and Recreio-Barra da Tijuca sandy beaches (Rio de Janeiro, southeastern Brazil). *International Journal of Sediment Research*, p. 1-10, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2024.03.005>
- CASTRO, J. W. A.; FERNANDES, D.; DIAS, F. Monitoramento do Processo de Erosão Costeira na Praia das Tartarugas, Rio das Ostras - Estado do Rio de Janeiro / Brasil: Aplicação de Metodologia Quantitativa. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 11, n. 3, p. 356-368, 2011. DOI: 10.5894/rgci276
- CASTRO, J. W. A.; SUGUIO, K.; SEOANE, J. C. S.; CUNHA, A. M.; DIAS, F. F. Sea Level Fluctuations and Coastal Evolution in the State of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. *Anais da*

- Academia Brasileira de Ciências, v. 86, n. 2 p. 671-683, 2014. DOI: 10.1590/0001-3765201420140007
- CASTRO, J. W. A.; SEOANE, J. C. S.; CUNHA, A. M.; MALTA, J. V.; OLIVEIRA, C. A.; VAZ, E. R.; SUGUIO, K. Comments to Angulo et al., 2016 on “Sea-level fluctuations and coastal evolution in the state of Rio de Janeiro, southeastern - Brazil” by Castro et al., 2014. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90 n. 2, p. 1369-1375, 2018. DOI: 10.1590/0001-3765201820171010
- CASTRO, J. W. A.; SEOANE, J. C. S.; FERNANDES, D.; CABRAL, C. L.; CUNHA, A. M.; MALTA, J. V.; MIGUEL, L. L. J. A.; AREIAS, C. O.; SPOTORNO-OLIVEIRA, P.; TAMEGA, F. T. S. Relative Sea-Level Curve During the Holocene in Rio de Janeiro, Southeastern Brasil: A Review of the Indicators -RSL, Altimetric and Geochronological Data. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 112, n. 103619, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1016/J.SAMES.2021.103619
- CASTRO, J. W. C., FERNANDES, D., GOUVEA JUNIOR, W. C., MIRANDA, F. M. P. S., MIGUEL, L. L. A. J. Comments on Palanisamy et al. (2024) “Spatio-temporal analysis of shoreline changes and future forecast using remote sensing, GIS and Kalman filter model: A case study of Rio de Janeiro, Brazil”. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 137, n. 104844, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104844>
- CUNHA, A. M.; CASTRO, J. W. A.; PEREIRA, F. M. B.; CARVALHO, M. A.; SUGUIO, K. Variações do Nível Relativo do Mar Durante o Holoceno na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Região de Cabo Frio - Rio de Janeiro: Aspectos Sedimentológicos, Faciológicos e Geocronológicos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, n. 1, p. 143-154, 2017. DOI: 10.20502/rbg.v18i1.1039
- DOLAN, R., FENSTER, M. AND HOLMES, S. Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. *Journal of Coastal Research*, v. 7, p. 723-744, 1991.
- DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 34, p. 864-874, 1964. <https://doi.org/10.1306/74D711B8-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- EVADZI, P. I. K., SCHEFFRAN, J., ZORITA, E., HUENICKE, B. Awareness of Sea-Level Response Under Climate Change on the Coast of Ghana. *Journal of Coastal Conservation*, v. 22, p. 183-197, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11852-017-0569-6>
- FERNANDES, D. & CASTRO, J. W. A. Transporte de Sedimentos Induzido por Ondas no Segmento Norte da Enseada da Baía Formosa, Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol. 21, no. 4, pp. 783-795, 2020. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1900>
- FERNANDES, D. & CASTRO, J. W. A. Longshore sediment transport rate in Formosa Bay, Rio de Janeiro State - Southeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 137, 104834, p.1-10, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104834>
- FOLK, R. L. & WARD, W.C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 27, p. 3-26, 1957.
- FOLK, R. L. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Texas: Hemphill Publishing Company, 190 p., 1980.
- FOX-KEMPER, B., H.T. HEWITT, C. XIAO, G. ADALGEIRSDOTTIR, S.S. DRIJFHOUT, T.L. EDWARDS, N.R. GOLLEDDGE, M. HEMER, R.E. KOPP, G. KRINNER, A. MIX, D. NOTZ, S. NOWICKI, I.S. NURHATI, L. RUIZ, J.-B. SALLÉE, A.B.A. SLANGEN, & Y. YU. 2021, ‘Ocean, Cryosphere and Sea Level Change’ in Masson-Delmotte, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S.L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M.I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T.K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU, AND B. ZHOU (eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis - Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1211-1362. <https://dx.doi.org/10.1017/9781009325844>
- FRIEDMAN, G. M. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 31, p. 514-529, 1961. <https://doi.org.ez29.periodicos.capes.gov.br/10.1306/74D70BCD-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- FRIEDMAN, G. M. Dynamic processes and statistical parameters compared for sizefrequency distribution of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 37, p. 327-354, 1967.
- GOUVEA JUNIOR, W. C., FERNANDES, D., CASTRO, J. W. A. Análise das Variáveis Físicas e Dinâmicas do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) na Enseada da Baía Formosa, Região dos Lagos Fluminenses, Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol. 23, no. 4, p. 1812-1833, 2022. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2144>
- HIMMELSTOSS, E. A.; HENDERSON, R. E.; KRATZMANN, M. G.; FARRIS, A. S. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide*. Geological Survey Open-File Report, v. 2018, n. 1179, p. 1-110, 2019. DOI: [doi.org/10.3133/ofr20181179](https://doi.org/10.3133/ofr20181179)
- KOMAR, P. D. *Beach. Processes and sedimentation*. New Jersey, Englewood Cliffs: Prentice – Hall. Inc, 476 p., 1976.
- LAPPE, R., ULLMANN, T., BACHOFER, F. State of the Vietnamese Coast – Assessing Three Decades (1986 to 2021) of Coastline Dynamics Using the Landsat Archive. *Remote Sensing*, v. 14, n. 2476, p. 1-24, 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14102476>
- LINS-DE-BARROS, F. M. Integrated coastal vulnerability assessment: A methodology for coastal cities management integrating socioeconomic, physical and environmental dimensions - Case study of Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. *Ocean & Coastal Management*, v. 149, p. 1-11, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.09.007>
- LUIJENDIJK, A.; HAGENAAERS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the world’s beaches. *Sci Rep* v. 8, n. 6641, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOUT, A. C. S. P. Quaternary Sea-Level History and Variation in Dynamics Along the Central Brazilian Coast: Consequences on Coastal Plain Construction. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 1, p. 163-176, 1996.
- McFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996. DOI: 10.1080/01431169608948714
- MUEHE, D.; LIMA, C. F.; LINS-DE-BARROS, F. M. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. Brasília: MMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 476 p., 2006. ISBN: 85-7738-028-9
- MUEHE, D., FERNANDEZ, G. B., BULHÕES, E. M. R., AZEVEDO, I. F. Avaliação da Vulnerabilidade Física da Orla Costeira em Nível Local, Tomando como Exemplo o Arco Praial entre Rio das Ostras e o Cabo Búzios/RJ. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, n. 2, p. 45-58, 2011. DOI: [dx.doi.org/10.20502/rbg.v12i2.234](https://doi.org/10.20502/rbg.v12i2.234)
- MUEHE, D., LINS-DE-BARROS, F. M., OLIVEIRA, J. F.; KLUMB-OLIVEIRA, L. Pulsos Erosivos e Resposta Morfodinâmica Associada a Eventos Extremos na Costa Leste do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 16, n. 3, p. 369-386, 2015. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i3.728>
- NEELAMANI, S., UDDIN, S. Erosion and Accretion Index for Kuwaiti Coast. *Int. J. Environ. Res.*, v. 7, n. 3, p. 679-684, 2013.
- NOVAK, L. P. & LAMOUR, M. R. Avaliação do Risco à Erosão Costeira em Praias Urbanizadas do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 22, n. 1, p. 163-185, 2021. DOI: 10.20502/rbg.v22i1.1661

- OSILIERI, P. R. G.; SEOANE, J. C. S.; DIAS, F. B. Coastal Vulnerability Index Revisited: A Case Study from Maricá, RJ, Brazil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72, n. 1, p. 81-99, 2020. DOI: 10.14393/revbrascartogr
- OZTURK, D. & MARAS, E. E. Investigation of the effects of small fishing ports on the shorelines: a case study of Samsun, Turkey. *Journal of Coastal Conservation*, v. 28, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11852-023-01012-3>
- PARENTE, C. E.; NOGUEIRA, I. C. M.; MARTINS, R. P.; RIBEIRO, E. O. Climatologia de Ondas. In: MARTINS, R. P.; MATHESON, G. S. G. (Ed.). *Caracterização Ambiental Regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste: Meteorologia e Oceanografia*. Rio de Janeiro: Elsevier, in press (Série Habitats), 2014. p. 136-189. DOI: 10.1016/B978-85-352-6208-7.50001-5
- PASCUAL-PARDO, J. E., ALMONACID-CABALLER, J., RUIZ, L. A., PALOMAR-VÁZQUEZ, J. Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETM+ multi-temporal images with subpixel precision. *Remote Sensing of Environment*, v. 123, p. 1-11, 2012. 10.1016/j.rse.2012.02.024
- ROCHA, C., ANTUNES, C., CATITA, C. Coastal indices to assess sea-level rise impacts – A brief review of the last decade. *Ocean & Coastal Management*, v. 237, n. 106536, p. 1-23, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106536>
- SANTOS, A. L. S. G. O Impacto Ambiental no Processo de Erosão Costeira em Áreas Urbanas de Cordões Litorâneos Frontais Holocênicos em Saquarema – RJ. 2020. 44 p. Defesa de Monografia ao Programa de Pós-graduação em Geologia do Quaternário, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SANTOS, C. L.; SILVA, M. A. M.; SALVADOR, M. V. S. Dinâmica Sazonal e os Efeitos das Ressacas nas Praias de Niterói/RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 33, p. 335-360, 2005.
- SILVEIRA, I. R. L.; FERNANDES, D.; CABRAL, C. L.; OLIVEIRA, D. M. V.; GOUVEA JUNIOR, W. C.; CASTRO, J. W. A. Dinâmica das Dunas Escalonares Transgressivas Sobre a Região do Peró – Cabo Frio, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 22, n. 4, p. 986-1000, 2021. DOI: 10.20502/rbg.v22i4.2041
- SUGUIO, K. *Geologia Sedimentar*. São Paulo: Blucher, 400 p., 2003.
- WALT, S. V., SCHONBERGER, J. L., NUNEZ-IGLESIAS, J., BOULOGNE, F., WARNER, J. D., YAGER, N., GOILLART, E., YU, T. Scikit-image: image processing in Python. *PeerJ*, v. 2, n. 543, p. 1-18, 2014. DOI 10.7717/peerj.453
- WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, v. 30, p. 377-392, 1922.
- XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int J Remote Sens*, v. 27, n. 14, p. 3025–3033, 2006. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

*Submetido em 12 de outubro de 2024*

*Aceito para publicação em 18 de novembro de 2024*