

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Educação e Humanidades Faculdade de Formação de Professores

Débora Chaves de Araújo

Análise da dinâmica de praias na borda continental do litoral Sul Fluminense

São Gonçalo 2024 Débora Chaves de Araújo

Análise da dinâmica de praias na borda continental do litoral Sul Fluminense

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Natureza e Dinâmica da Paisagem.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Carvalho da Silva

CATALOGAÇÃO NA FONTE UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CEH/D

A658 TESE	Araújo, Débora Chaves de. Análise da dinâmica de praias na borda continental do litoral Sul Fluminense / Débora Chaves de Araújo. – 2024. 121f. : il.
	Orientador: Prof. Dr. André Luiz Carvalho da Silva. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Formação de Professores. 1. Erosão de praias – Rio de Janeiro (Estado) – Teses. 2. Costa - Rio de Janeiro (Estado) – Teses. 3. Gerenciamento costeiro – Teses. I. Silva, André Luiz Carvalho da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Formação de Professores. III. Título.
CRB7 – 6150	CDU 551.3.053(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Débora Chaves de Araújo

Análise da dinâmica de praias na borda continental do litoral Sul Fluminense

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Natureza e Dinâmica da Paisagem.

Aprovada em 08 de agosto de 2024.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. André Luiz Carvalho da Silva (Orientador) Faculdade de Formação de Professores - UERJ

Prof.^a Dra. Isabela Habib Canaan da Silva Faculdade de Formação de Professores - UERJ

Prof. Dr. Luis Felipe Skinner Faculdade de Formação de Professores - UERJ

Prof. Dr. Sérgio Cadena de Vasconcelos Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

> São Gonçalo 2024

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que em sua infinita graça fez em minha vida até aqui. Obrigada Senhor, por proporcionar muito além do que sonhei para mim. Seu amor e amparo nos momentos mais solitários foram primordiais para conquista deste mestrado e conclusão deste trabalho.

Aos meus pais Gilcemar e Daniel, por todo amor, princípios e dedicação concedidos. Nortearam a realização de muitos dos meus sonhos e conquistas; este triunfo também diz respeito a vós. Aos meus irmãos Amanda e Filipe, por alegrarem meus dias e serem os melhores companheiros nessa jornada. Sem a compreensão, apoio e paciência de vocês, família, nada disso seria possível.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. André, por mais essa oportunidade de trabalhar ao seu lado, por sua dedicação e zelo ao me orientar com tamanha sabedoria e profissionalismo. Essa foi sem dúvida uma das maiores e mais desafiadoras experiências que já tive, desempenhada com êxito e de maneira aprazível graças a sua paciência, repreensão e incentivo. Obrigada por todos os sacrifícios feitos em prol de meu crescimento, por enxergar em mim potencial e pelo privilégio de aprender muito além do que concerne à Geomorfologia Costeira. Tamanha honra em ser sua aprendiz e cativar sua amizade, você me tornou uma pessoa melhor.

A UERJ-FFP (Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Faculdade de Formação de Professores), sua direção, terceirizados, corpo docente e discente; por ter me acolhido ao longo dos últimos 9 anos e sido tão importante para meu crescimento pessoal e formação profissional. Ao PPGGEO da UERJ-FFP, pela oportunidade de aprender mais sobre a Geografia através dos grandes profissionais que constituem seu corpo discente.

A FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), por financiar esse projeto através da outorga E-26/201.492/2021, referente a bolsa concedida para o desenvolvimento deste mestrado.

Ao projeto MONITOMAR (UERJ/FAPERJ), pela oportunidade de ser uma das profissionais a fazer parte de uma causa tão grandiosa e por todo conhecimento interdisciplinar obtido através das trocas com os outros profissionais, essencial para a evolução de minha carreira.

Aos laboratórios de Dinâmicas da Natureza da UERJ-FFP, de Dinâmica dos Oceanos e da Terra da UFF e de Geografía Física da PUC-RIO, pela disponibilidade para realização de análises e obtenção de conhecimentos relativos à presente pesquisa. Aos professores Drs. Isabela Habib Canaan da Silva, Luis Felipe Skinner e Sérgio Cadena de Vasconcelos, por aceitarem constituir a banca examinadora desse trabalho e pelas contribuições concedidas para o aprimoramento do mesmo.

Ao Grupo de Estudos Costeiros da UERJ-FFP (GECOST), por todo esforço despendido para tornar esse trabalho possível; desde a disposição em ajudar nos trabalhos de campo, análises de laboratório as conversas enriquecedoras. Em especial a Dra. Ana Beatriz Pinheiro, MScs. Andrea Viana Macedo, Valéria Cristina Silva Dutra, Jessyca Araújo e Letícia Fernandes Silva; pelo auxílio e conselhos recebidos ao longo de todos esses anos.

A turma de 2021 do Programa de Pós-Graduação (UERJ-FFP) na área de concentração em Produção Social do Espaço: Natureza, Política e Processos Formativos em Geografia. Meus amigos, que luta! Foram 8 meses em pandemia tendo aulas remotas, momentos difíceis que só nós sabemos, mas agradeço pelos momentos em que nos reunimos e partilhamos de nossas batalhas e conquistas; sem dúvida, essenciais para não desanimar e desistir.

As amizades que até aqui permaneceram, em especial a Ana Maria, Gabriela Sabatini e Rafaela Carvalho, vocês são incríveis! Obrigada por ouvirem minhas reclamações, me acudirem durante os choros e me fazerem enxergar o lado bom em tudo isso.

Expresso assim, minha eterna gratidão a todos que contribuíram direta ou indireta na realização deste trabalho. Muito obrigada!

RESUMO

ARAÚJO, D. C. *Análise da dinâmica de praias na borda continental do litoral Sul Fluminense*. 2024. 121f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2024.

O presente estudo tem por objetivo analisar a dinâmica de praias localizadas na porção continental do litoral sul fluminense entre 2022 e 2023. Este litoral possui inúmeras ilhas, pequenas enseadas e estreitas planícies costeiras, influenciadas pela presença da escarpa cristalina da Serra do Mar. As praias da Reserva do Sahy (Mangaratiba), do Biscaia, Grande e Brava (Angra dos Reis) e Mambucaba (Paraty) foram selecionadas para o monitoramento, por se tratarem de praias relativamente abrigadas dentro das baías e devido à importância destas para a região. A metodologia consistiu na realização de um total de 5 trabalhos de campo sazonais, realizados em todas as estações de 2022 e no verão de 2023. Foram adquiridos um total de 51 perfis topográficos de praia; coletadas 133 amostras de sedimentos para análise granulométrica e morfoscopia; além de registros acerca das condições de mar e dos geoindicadores relativos à erosão costeira; foi realizado o cálculo do volume de sedimentos emersos das praias, à fim de verificar ganhos ou perdas entre os monitoramentos; e o mapeamento da linha de costa entre 2005 e 2022, para identificação de áreas suscetíveis à erosão. Os resultados obtidos mostram que as praias estudadas exibem uma dinâmica morfológica distinta, como reflexo de sua localização em relação à entrada de ondas nas baías, que atingem com maior energia as praias Brava e de Mambucaba, voltadas diretamente para a entrada oeste da Baía da Ilha Grande. As praias da Reserva do Sahy, do Biscaia e Grande são as menos dinâmicas, com perfis homogêneos entre as estações. A praia Brava apresentou variações na largura entre a máxima de 88 m (verão 2022) e mínima de 50 m (verão 2023). Mambucaba foi a mais dinâmica entre as praias estudadas, com variações na largura entre a máxima de 63 m (primavera) e mínima de 25 m (inverno), ambas em 2022. O cálculo do volume de sedimentos emersos mostra que as praias apresentam um equilíbrio sedimentar, em conformidade aos perfis topográficos de praia adquiridos em 2022 e 2023, com poucas flutuações de ganho e perda de sedimentos resultantes das variações nas condições de mar. O mapeamento da linha de costa entre 2005 e 2022 mostrou que as praias do Biscaia e Grande apresentaram pequenas variações decorrentes da própria dinâmica do ambiente praial; já as praias Brava e de Mambucaba apresentaram variações mais expressivas em função das mudanças nas condições de mar. Na praia da Reserva do Sahy as variações apontam para um recuo de 0,5 metro/ano (setor sul), o que pode indicar um processo erosivo nesse período. Os sedimentos dessas praias são constituídos predominantemente por areia quartzosa média, subangulares a subarredondadas, com brilho vítreo; o grau de selecionamento varia entre muito bom a moderado. O tamanho dos grãos aumenta gradualmente em direção à porção submarina nas praias do Sahy, Biscaia e Grande, o que não ocorre em Brava e Mambucaba. As praias estudadas exibem em geral nível médio de suscetibilidade a ressacas, devido à ausência de dunas, escassez da vegetação e presença de estruturas urbanas próximas à faixa de areia. Esperase que os dados aqui apresentados sejam utilizados pelos gestores locais para a mitigação e resolução de problemas costeiros.

Palavras chave: dinâmica praial; erosão costeira; litoral Sul Fluminense; manejo costeiro.

ABSTRACT

ARAÚJO, D. C. *Analysis of beach dynamics on the continental edge of the southern coast of Rio de Janeiro*. 2024. 121f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2024.

The present study aims to analyze the dynamics of beaches located on the continental portion of the southern coast of Rio de Janeiro between 2022 and 2023. This coastline has numerous islands, small coves and narrow coastal plains, influenced by the presence of the crystalline escarpment of Serra do Mar. The beaches from Reserva do Sahy (Mangaratiba), Biscaia, Grande e Brava (Angra dos Reis) and Mambucaba (Paraty) were selected for monitoring, as they are relatively sheltered beaches within the bays and due to their importance for the region. The methodology consisted of carrying out a total of 5 seasonal fieldworks, carried out in all seasons of 2022 and in the summer of 2023. A total of 51 beach topographic profiles were acquired; 133 sediment samples were collected for particle size analysis and morphoscopy; in addition to records about sea conditions and geoindicators related to coastal erosion; the volume of sediment emerging from the beaches was calculated in order to verify gains or losses between monitorings; and mapping the coastline between 2005 and 2022, to identify areas susceptible to erosion. The results obtained show that the beaches studied exhibit a distinct morphological dynamic, as a reflection of their location in relation to the entry of waves into the bays, which hit Brava and Mambucaba beaches with greater energy, facing directly towards the western entrance of Ilha Bay. Big. The beaches of the Sahy, Biscaia and Grande Reserves are the least dynamic, with homogeneous profiles between the seasons. Brava beach showed variations in width between a maximum of 88 m (summer 2022) and a minimum of 50 m (summer 2023). Mambucaba was the most dynamic among the beaches studied, with variations in width between a maximum of 63 m (spring) and a minimum of 25 m (winter), both in 2022. The calculation of the volume of emerged sediments shows that the beaches present a sedimentary balance, in accordance with the beach topographic profiles acquired in 2022 and 2023, with few fluctuations in sediment gain and loss resulting from variations in sea conditions. The mapping of the coastline between 2005 and 2022 showed that the Biscaia and Grande beaches presented small variations resulting from the dynamics of the beach environment itself; Brava and Mambucaba beaches showed more significant variations due to changes in sea conditions. On the Reserva do Sahy beach, variations point to a retreat of 0.5 meters/year (southern sector), which may indicate an erosion process during this period. The sediments of these beaches are predominantly made up of medium quartz sand, subangular to subrounded, with a glassy shine; the degree of selection varies from very good to moderate. The size of the grains gradually increases towards the underwater portion on the beaches of Sahy, Biscaia and Grande, which does not occur on Brava and Mambucaba. The beaches studied generally exhibit a medium level of susceptibility to hangovers, due to the absence of dunes, scarcity of vegetation and the presence of urban structures close to the sand strip. It is expected that the data presented here will be used by local managers to mitigate and resolve coastal problems.

Keywords: beach dynamics; coastal erosion; South Fluminense coast; coastal management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da área de estudo	15
Figura 2 -	Vista panorâmica das praias selecionadas para monitoramento	16
Figura 3 -	Divisão fisiográfica das baías de Sepetiba e Ilha Grande no litoral Sul	
	Fluminense	17
Figura 4 -	Variação batimétrica do litoral Sul Fluminense	18
Figura 5 -	Distribuição sedimentar da plataforma continental interna ao longo do	
	litoral Sul Fluminense	19
Figura 6 -	Distribuição de correntes ao longo do litoral Sul Fluminense	21
Figura 7 -	Transporte de sedimentos ao longo do litoral Sul Fluminense	23
Figura 8 -	Campo de altura significativa das ondas no Sul Fluminense	24
Figura 9 -	Mapa de áreas prioritárias à conservação na Baía da Ilha Grande	25
Figura 10 -	Parâmetros de uma onda de superfície oceânica	27
Figura 11 -	Formas de arrebentação da onda	28
Figura 12 -	Circulação costeira, correntes de deriva litorânea e de retorno	30
Figura 13 -	Representação da zona de fluxos e refluxos das ondas	30
Figura 14 -	Representação da formação de marés de sizígia e quadratura	31
Figura 15 -	Subdivisão do ambiente praial	33
Figura 16 -	Morfotipos de praias de baixa energia segundo grau de exposição	37
Figura 17 -	Mudanças no perfil praial	41
Figura 18 -	Impacto de obras de engenharia no ambiente praial	45
Figura 19 -	Esquema da metodologia aplicada	47
Figura 20 -	Localização dos pontos de monitoramento em cada uma das praias	
	estudadas	48
Figura 21 -	Aquisição de perfis topográficos com uso de nível e mira topográfica	49
Figura 22 -	Exemplo do cálculo do volume emerso de sedimentos segundo	
	metodologia aplicada por Oliveira Filho et al. (2020)	50
Figura 23 -	Etapas da análise granulométrica das areias	52
Figura 24 -	Etapas da análise granulométrica de lama	54

Figura 25 -	Grau de arredondamento dos sedimentos	54
Figura 26 -	Exemplo de análise morfoscópica dos sedimentos realizada em lupa	
	trinocular	54
Figura 27 -	Seleção de pontos de controle na Reserva do Sahy para o	
	georreferenciamento das imagens do Google Earth Pro no software	
	ArcGIS 10.8	56
Figura 28 -	Vetorização e medição das distâncias entre as linhas de costa utilizando	
	o software ArcGIS 10.8	57
Figura 29 -	Perfis topográficos e dinâmica sedimentar da Praia da Reserva do Sahy	62
Figura 30 -	Perfis topográficos e dinâmica sedimentar da Praia do Biscaia	65
Figura 31 -	Perfis topográficos e dinâmica sedimentar da Praia Grande	67
Figura 32 -	Perfis topográficos e dinâmica sedimentar da Praia Brava	69
Figura 33 -	Perfis topográficos e dinâmica sedimentar da Praia de Mambucaba	72
Figura 34 -	Granulometria da Praia da Reserva do Sahy	75
Figura 35 -	Morfoscopia dos sedimentos da Praia da Reserva do Sahy	76
Figura 36 -	Granulometria da Praia do Biscaia	78
Figura 37 -	Morfoscopia dos sedimentos da Praia do Biscaia	79
Figura 38 -	Granulometria da Praia Grande	81
Figura 39 -	Morfoscopia dos sedimentos da Praia Grande	82
Figura 40 -	Granulometria da Praia Brava	84
Figura 41 -	Morfoscopia dos sedimentos da Praia Brava	85
Figura 42 -	Granulometria da Praia de Mambucaba	87
Figura 43 -	Morfoscopia dos sedimentos da Praia de Mambucaba	88
Figura 44 -	Presença de estruturas de engenharia próximas as praias	90
Figura 45 -	Mapeamento da linha de costa das praias estudadas no Sul Fluminense	93
Figura 46 -	Frequência de eventos de ressaca no Rio de Janeiro entre março (2022)	
	e setembro (2023)	95
Figura 47 -	Altura das ondas de tempestade registradas no Rio de Janeiro entre	
	março (2022) e setembro (2023)	95
Figura 48 -	Dinâmica das praias estudadas com base na variabilidade sazonal dos	
	perfis topográficos	97

Figura 49 -	Classificação das praias analisadas segundo geoindicadores de erosão,	
	com base em Bush et al. (1999)	100
Figura 50 -	Geoindicadores de erosão costeira nas praias estudadas	102
Figura 51 -	Predomínio das frações de areia nas praias estudadas	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Atributos dos morfotipos em praia de ambientes de baixa energia	39
Tabela 2 -	Indicadores de erosão costeira no Brasil	43
Tabela 3 -	Geoindicadores de suscetibilidade à erosão costeira	58
Tabela 4 -	Características das praias escolhidas para monitoramento	63
Tabela 5 -	Geoindicadores de suscetibilidade à erosão nas praias estudadas,	
	adaptados de Bush et al. (1999)	91

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
1	ÁREA DE ESTUDO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1	Processos físicos costeiros	26
2.2	O ambiente de praia	32
2.3	Praias abrigadas	35
2.4	Dinâmica e erosão de praias	40
3	METODOLOGIA	47
3.1	Levantamentos topográficos	48
3.2	Cálculo do volume de sedimentos emersos	50
3.3	Caracterização sedimentar	51
3.3.1	Amostragem de sedimentos nas praias	51
3.3.2	Análise granulométrica dos sedimentos	51
3.3.3	Morfoscopia dos sedimentos	54
3.4	Mapeamento da linha de costa	55
3.5	Identificação dos geoindicadores de erosão	57
3.6	Tratamento e análise dos dados	57
4	RESULTADOS	60
4.1	Variabilidade dos perfis topográficos de praia e dinâmica sedimentar	60
4.2	Textura dos sedimentos	73
4.3	Geoindicadores de erosão costeira	89
4.4	Mapeamento da linha de costa	92
4.5	Ocorrência de ressacas entre março (2022) e setembro (2023)	94
5	DISCUSSÃO	96
	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS	108

INTRODUÇÃO

O litoral é composto por diferentes morfologias resultantes da influência de processos costeiros, das variações do nível do mar e por diversas modificações antrópicas que interferem, por vezes, na resposta dos ambientes litorâneos às variáveis mencionadas. Os litorais têm se tornado cada vez mais lugares críticos em termos de necessidade de gestão, devido à importância econômica, ambiental e social que desempenham para a humanidade (BIRD, 2008; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2020). Contudo, a grande concentração populacional e de atividades turísticas, portuárias e industriais nos municípios litorâneos, a exploração de recursos marinhos, assim como, a ocorrência de fatores naturais tais como o aumento do nível do mar e os impactos das mudanças climáticas sob eventos extremos (tsunamis, tempestades e ciclones tropicais), também têm sido os principais responsáveis por promover mudanças nesse ambiente (MENTASCHI *et al.*, 2018; LUIJENDIJK *et al.*, 2018).

Na medida em que se amplia a ocupação e o desenvolvimento de novas práticas na zona costeira, cresce a possibilidade de impactos financeiros, econômicos e sociais irreparáveis; como a poluição do mar, baías, rios e lagoas, o desmatamento de áreas de restinga, manguezais e remanescentes de Mata Atlântica, a destruição de obras de engenharia inseridas em locais inadequados, entre outros. A combinação entre as diferentes formas de ocupação e intervenções, com os impactos decorrentes das mudanças climáticas em curso, vem alterando a maneira como os sistemas naturais operam. Neste sentido, a ação das ondas, inundações e erosão costeira representam um perigo cada vez maior à população que habita a beira mar (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; LUIJENDIJK *et al.*, 2018).

O litoral sul do estado do Rio de Janeiro, onde se encontram as praias selecionadas para a realização deste estudo, vivencia o aumento de serviços do setor turístico e industrial, iniciado em meados no século XX. Esse desenvolvimento resultou na implantação de inúmeros hotéis, resorts, condomínios e casas de veraneio, terminais portuários e atividades de apoio à indústria naval (OLIVEIRA *et al.*, 2019; BRANCO *et al.*, 2022). Essas transformações exercem forte pressão nos ecossistemas locais, modificando não só a paisagem, mas causando danos aos sistemas costeiros (CREED *et al.*, 2007).

Nesse cenário, a compreensão da dinâmica costeira é essencial para verificar o grau de suscetibilidade a eventos de tempestade e à erosão costeira (BIRD, 2008). A zona costeira do litoral sul do Estado do Rio de Janeiro deve ser considerada prioritária à conservação e utilização sustentável, a fim de que sejam minimizados os impactos das pressões antrópicas;

pois, trata-se de uma região com elevado potencial ecológico e econômico (CREED *et al.*, 2007; INEA, 2011; SKINNER *et al.*, 2016). Cresce assim, a necessidade de compreender e monitorar as alterações e respostas dos ambientes costeiros frente às mudanças no regime de tempestades, decorrentes das alterações climáticas; e a suscetibilidade das praias à erosão, para que se possa implementar medidas voltadas à proteção e mitigação dos impactos que ocorrem nesse litoral.

A maioria dos litorais em âmbito mundial é representada por costas montanhosas, indicando a predominância de praias abrigadas (INMAN e NORDSTROM, 1971). Essas praias caracterizam-se como abrigadas por estarem geralmente protegidas do impacto direto das ondas de tempestade; no entanto, algumas podem apresentar uma dinâmica expressiva, quando localizadas frontalmente à entrada de baías, como ocorre com algumas praias da Baía de Guanabara (SILVA *et al.*, 2016; SILVA e SILVA, 2021), na Ilha Grande (SILVA *et al.*, 2020) e em Paraty (PINHEIRO *et al.*, 2021a, b). Essas praias geralmente revelam baixa ciclicidade na troca de sedimentos, tendendo a preservar por mais tempo características morfológicas adquiridas durante a ocorrência de eventos de maior energia (HEGGE *et al.*, 1996; JACKSON *et al.*, 2002; NORDSTROM e JACKSON, 2012; VILA-CONCEJO *et al.*, 2020).

A baixa topografia, a largura reduzida das planícies costeiras e o clima calmo de ondas dentro de baías são fatores que favorecem a ocupação humana, pois facilitam a construção de obras de engenharia nesses litorais. No entanto, essas mesmas características tornam as orlas em baías facilmente inundadas durante as tempestades, principalmente quando combinadas com marés de sizígia (NORDSTROM, 1989). No litoral do estado do Rio de Janeiro, muitos problemas atrelados aos efeitos das ressacas e à destruição de estruturas urbanas por ondas de tempestades vêm sendo apontados por diversos autores. Esses trabalhos estão concentrados, em grande parte, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro e Região dos Lagos (SILVA *et al.,* 1999; SANTOS *et al.,* 2004; SILVA *et al.,* 2008; SILVA *et al.,* 2009; LINS-DE-BARROS e MUEHE, 2010; SILVA *et al.,* 2014; MUEHE *et al.,* 2015; BULHÕES *et al.,* 2016; ECCARD *et al.,* 2017; DUTRA *et al.,* 2022).

Apesar da diversidade de seus ambientes e de sua importância para os distintos ecossistemas costeiros, o litoral sul fluminense é pouco conhecido quanto à dinâmica e suscetibilidade das praias a eventos de tempestade. Os poucos estudos que existem sobre essa temática foram desenvolvidos em praias da Ilha Grande (SILVA *et al.*, 2020) e do litoral de Paraty (ANDRADE, 2012; PINHEIRO *et al.*, 2021a, b). Diante do exposto, o presente estudo almeja contribuir com conhecimentos acerca da dinâmica e erosão de praias localizadas na porção continental do litoral sul fluminense, e compreender a suscetibilidade desse litoral às ondas de tempestade. Para isso, foram adquiridos perfis topográficos de praia, feitas análises

relativas ao tamanho e morfologia dos sedimentos, identificados os geoindicadores de erosão e realizado mapeamento da linha de costa.

OBJETIVOS

Objetivo geral:

Este estudo tem como objetivo caracterizar a dinâmica costeira nas praias da Reserva do Sahy (Mangaratiba), do Biscaia, Grande e Brava (Angra dos Reis) e Mambucaba (Paraty), localizadas na porção continental do litoral sul fluminense.

Objetivos específicos:

- Caracterizar a variabilidade morfológica sazonal das praias a serem estudadas;
- Caracterizar o tamanho e a morfologia dos sedimentos que compõem as praias estudadas;
- Analisar a variabilidade no volume sedimentar das praias estudadas;
- Identificar o grau de suscetibilidade relativo à ocorrência de processos erosivos;
- Reunir registros acerca das condições de mar durante os levantamentos de campo;
- Caracterizar e analisar as variações espaço-temporais e o comportamento da linha de costa entre 2005 e 2022;
- Análise integrada dos dados a fim de melhor compreender a dinâmica morfossedimentar deste litoral, fornecendo informações que auxiliem na gestão costeira da região.

1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é composta por 5 praias continentais, localizadas no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro, nos diferentes municípios que compõem as Baías de Sepetiba e da Ilha Grande. A Reserva do Sahy, em Mangaratiba, encontra-se localizada no limite entre as Baías da Ilha Grande (oeste) e de Sepetiba (leste); a Praia do Biscaia e a Praia Grande se encontram no município de Angra dos Reis, em sua porção central e de frente para a Ilha Grande; as praias Brava (Angra dos Reis) e Mambucaba (Paraty) se encontram na porção oeste da Baía da Ilha Grande e posicionadas de frente para o Oceano Atlântico (Figuras 1 e 2).





Fonte: A autora, 2024.

O litoral sul do estado do Rio de Janeiro, conhecido como Costa Verde por sua exuberante vegetação de Mata Atlântica, é formado pela Baía de Sepetiba e pela Baía da Ilha Grande, abrangendo os municípios de Itaguaí, Mangaratiba, Angra dos Reis e Paraty (KJERFVE *et al.*, 2021). Esse trecho da costa brasileira compõe parte do macrocompartimento do Litoral dos Cordões Litorâneos (Baía de Sepetiba) e do Litoral das Escarpas Cristalinas Norte (Baía da Ilha Grande), segundo Muehe (1998).

É um litoral de aspecto afogado, composto por pequenas enseadas e ilhas, formando um complexo sistema estuarino (SIGNORINI, 1980; MUEHE, 1998; FRAGOSO, 1999).

Esse litoral é fortemente influenciado pela presença das escarpas da Serra do Mar, o que denota características singulares a região, como a linha de costa recortada, e a formação de pequenas e estreitas planícies costeiras entre promontórios rochosos (MUEHE e LINS-DE-BARROS, 2016). O desenvolvimento das planícies fluviomarinhas ao longo de diferentes setores da costa sul fluminense, é resultado de eventos eustáticos durante o Holoceno (VILLENA *et al.*, 2012).



Figura 2 – Vista panorâmica das praias selecionadas para monitoramento

Fonte: (A e C) SILVA, 2023; (B) EDERSON R., 2023; (D) RAGOZINA, 2016; (E) SILVA, 2019.

As Baías da Ilha Grande e de Sepetiba, juntas, possuem uma área total de 775 km² de espelho d'água e 120 km de extensão no sentido oeste-leste (KJERFVE *et al.*, 2021). Esse sistema estuarino está conectado ao oceano principalmente por duas entradas, dispostas uma em cada lado da Ilha Grande, com água entrando predominantemente pela porção oeste entre a ilha e o continente, misturando-se as águas que saem da baía de Sepetiba, e saindo pela porção

leste da ilha, indicando uma circulação que prevalece no sentido horário (SIGNORINI, 1980; IKEDA e STEVENSON, 1980). A Baía da Ilha Grande representa um corpo d'água separado do oceano frente a presença da Ilha Grande, que a divide em dois corpos menores, interligados por um canal central, formado entre o continente e a ilha (SIGNORINI, 1980; MAHIQUES, 1987; MEDEIROS e DIAS, 2005) (Figura 3). A Baía de Sepetiba é um corpo d'água semiconfinado formado por uma barreira (Restinga da Marambaia). Ela se conecta ao oceano por sua entrada principal a oeste, sendo limitada por um cordão de ilhas, pela ponta da restinga, e pelo Canal de Guaratiba a leste (RONCARATI e CARELLI, 2012; VILLENA *et al.*, 2012).

A Baía de Sepetiba (BS) apresenta as menores profundidades no setor leste e as maiores no setor oeste, entre os 8 e 10 m (BORGES, 1990). A Baía da Ilha Grande (BIG) possui profundidades que variam bastante: na área leste, desde o setor leste da Ilha Grande até à entrada da Baía de Sepetiba, as profundidades variam entre 10 e 25 m; a região do Canal Central, entre a Ilha Grande e o continente, apresenta uma depressão estreita e alongada com orientação lesteoeste, onde as maiores profundidades chegam a 55 m; já a porção oeste, que correspondente ao embaiamento a oeste da Ilha Grande, apresenta profundidades médias variando entre 20 e 10 m (Figura 4) (MAHIQUES, 1987; MUEHE e VALENTINI, 1998; MEDEIROS e DIAS, 2005; MMA, 2006).



Figura 3 – Divisão fisiográfica das baías de Sepetiba e Ilha Grande no litoral Sul Fluminense

Legenda: Localização das praias estudadas inseridas pela autora. Fonte: Adaptado de MAHIQUES, 1987.

Análises do recobrimento sedimentar dessas baías expõem o predomínio de sedimentos arenosos (PONÇANO, 1976; MAHIQUES, 1987; MAHIQUES e FURTADO, 1989; PEREIRA *et al.*, 2003, 2004; MEDEIROS *et al.*, 2005 MEDEIROS e DIAS, 2005). Essas areias variam entre muito fina em quase toda a porção oeste da Baía da Ilha Grande e plataforma continental; areias média e grossa na porção leste da Baía da Ilha Grande e na porção externa da Baía de Sepetiba; e lama siltosa no Canal Central e nas áreas mais abrigadas (Figura 5) (KJERFVE *et al.*, 2021).



Figura 4 – Variação batimétrica do litoral Sul Fluminense

Legenda: Localização das praias estudadas inseridas pela autora.

560000

540000

Fonte: Projeto Baías do Brasil - Baías de Ilha Grande e Sepetiba, 2018. SisBAHIA (COPPE) Engenharia Costeira e Oceanográfica, UFRJ.

580000

600000

620000

640000



Figura 5 – Distribuição sedimentar da plataforma continental interna ao longo do litoral Sul Fluminense

Legenda: Localização das praias estudadas inseridas pela autora. Fonte: Adaptado de KJERFVE *et al.*, 2021.

O clima no sul fluminense é do tipo tropical úmido, com temperaturas entre 19 - 20°C durante o inverno e 26 - 27°C durante o verão (FIGUEIREDO *et al.*, 2016). Os maiores índices pluviométricos se concentram nos meses de verão, com precipitação anual superior a 2.000 mm. A distribuição das chuvas é influenciada pela topografía e densa cobertura vegetal (SALGADO *et al.*, 2007). Os índices pluviométricos são maiores nas áreas litorâneas da Baía da Ilha Grande, e diminuem em direção as áreas topograficamente mais elevadas e afastadas do litoral (SOARES *et al.*, 2014). Os ventos derivam dos subquadrantes nor-noroeste (NNW) e nor-nordeste (NNE), sob condições de tempo bom, e de sudoeste (SW) e sul-sudoeste (SSW), durante eventos de tempestade (SOUZA JUNIOR *et al.*, 2012). Esses ventos variam de moderados a fracos, com velocidade máxima de 7,5 m/s no verão e 9 m/s no inverno (SANTOS *et al.*, 2018). Condições severas e raras de ventos provenientes de sul (S), ou de episódios mais frequentes de sul-sudeste (SSW), podem apresentar velocidades que excedem os 10 m/s (MOREIRA DA SILVA, 1969).

Na área de estudo a maré é do tipo semidiurna e não ultrapassa 1,5 m de amplitude (DHN, 1980; SOUZA JUNIOR *et al.*, 2012; KJERFVE *et al.*, 2021). As ondas são constituídas

pelos processos costeiros predominantes, e variam bastante na forma como incidem sobre as praias. Nas baías, essas ondas podem ser geradas por ventos locais ou oriundas de águas profundas. A propagação dessas ondas é influenciada pela configuração da linha de costa e do relevo submarino que baliza as embocaduras leste e oeste, assim como, pela presença da Ilha Grande (NEVES *et al.*, 2007; MUEHE *et al.*, 2018). Na Baía da Ilha Grande predominam ondas vindas de sul a sudeste, que submetem as praias a alternâncias entre condições de baixa e alta energia (MUEHE *et al.*, 2018), enquanto as oriundas de outros quadrantes são barradas ou parcialmente impedidas de entrar (FERREIRA DA SILVA *et al.*, 1996).

As ondas assumem alturas entre 0,5 - 1,0 m, normalmente não superando os 2 m. No entanto, alturas significativas máximas de até 3 m podem ser registradas (HOMSI, 1978), submetendo as praias a acentuadas alternâncias entre condições de baixa e alta energia (MUEHE e VALENTINI, 1998; MUEHE, 2006; GODOI *et al.*, 2011). O clima de ondas é condicionado pelas modificações nas condições de vento, associadas à passagem eventual de frentes frias, e a constante presença de ondas do tipo "*swell*"; geradas por tempestades extratropicais no oceano, dissociadas do vento local (MELO, 1993; MUEHE *et al.*, 2018).

As correntes que atuam nessas baías são determinadas pela comunicação entre suas entradas e a porção oceânica. A velocidade dessas correntes alcança valores de até 1,8 m/s, cuja direção de circulação é relativa aos movimentos de maré enchente e vazante (DUQUE *et al.,* 2008) (Figura 6). Parte da circulação entre as baías é resultado dos diferentes padrões de vento, efeitos de marés e diferenças de densidade (SIGNORINI, 1980). Uma forte corrente ocorre no canal central da Baía da Ilha Grande, gerando um vigoroso fluxo de sentido oeste-leste, com média de 6.90 cm/s^{-1} . Essa corrente está associada a uma corrente costeira de subsuperfície, vinda de leste, que flui ao longo da costa (RODRIGUES *et al.,* 2022).



Figura 6 - Distribuição de correntes ao longo do litoral Sul Fluminense

Legenda: (A) Distribuição de correntes no verão de 2017; (B) Distribuição de correntes no inverno de 2017. Nota: Localização das praias estudadas inseridas pela autora.
Fonte: Adaptado do Projeto Baías do Brasil – Baías de Ilha Grande e Sepetiba, 2018. SisBAHIA (COPPE) Engenharia Costeira e Oceanográfica, UFRJ. https://www.baiasdobrasil.coppe.ufrj.br/assets/relatorios/rel_ilhagrande_sepetiba.ht ml.

O comportamento hidrodinâmico das baías que compõem o litoral Sul Fluminense é distinto. A Baía de Sepetiba é fortemente influenciada pela descarga de água doce proveniente de canais e rios (SIGNORINI, 1980); nela as marés tendem a ser preponderantes aos ventos locais na geração de correntes (FRAGOSO, 1995). A Baía da Ilha Grande sofre maior influência das águas vindas da plataforma continental, por ser mais profunda e apresentar maior abertura para o oceano (SIGNORINI, 1980; FRAGOSO, 1999; MEDEIROS, 2006).

Este litoral é composto por rios e canais que estão distribuídos entre as escarpas da Serra do Mar, correndo sobre o substrato rochoso, atravessando às estreitas planícies costeiras e desaguando no mar (MMA, 2006; PEREIRA, 2006; GUERRA *et al.*, 2013; INEA, 2015). Esses rios e canais trazem sedimentos das encostas e os depositam nas praias (Figura 7A e B) (CARVALHO *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2021a,b). Destacam-se na região os rios Guandu (Itaguaí), Conceição de Jacareí (Mangaratiba), Mambucaba, Bracuí, Ariró, Japuíba e Jacuacanga (Angra dos Reis), entre outros (MMA, 2006; PEREIRA, 2006, VILLENA *et al.*, 2012, INEA, 2015).

A maioria das praias que compõem a região estão abrigadas entre afloramentos rochosos (MUEHE, 1998; MUEHE *et al.*, 2018; PINHEIRO *et al.*, 2021a), caracterizando-se como "*pocket beaches*", ou seja, praias de pequena extensão, confinadas entre estruturas geológicas ou antrópicas (AMADOR, 1997; DEHOUCK *et al.*, 2009). Elas podem apresentar diferentes níveis de exposição a incidência de ondas de tempestade, a depender da localização e orientação assumida (SILVA *et al.*, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2021a).

Em condições de baixa energia, as ondas adentram a Baía da Ilha Grande sem causar danos; entretanto, as regiões normalmente protegidas dentro da baía podem ser atingidas durante as ressacas (GODOI *et al.*, 2011), danificando estruturas urbanas próximas à costa. Tais danos podem ser ainda maiores quando a incidência de ondas de tempestade ocorre associada à maré de sizígia (GODOI *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2021a,b). O efeito da entrada de ondas de tempestade neste litoral abrigado é sentido mais diretamente sobre as praias de Brava e Mambucaba (Figura 8) (MUEHE e VALENTINI, 1998; MUEHE *et al.*, 2018).



Figura 7 – Transporte de sedimentos ao longo do litoral Sul

Fluminense

Legenda: Localização das praias estudadas inseridas pela autora.

(A) Diagrama esquemático do ciclo de sedimentação;(B) Proveniência de sedimentos litorânea e da plataforma continental.

Fonte: Adaptado de (A) MORTON e HALLSWORTH (1999) e de (B) CARVALHO *et al.*, 2011.



Figura 8 - Campo de altura significativa das ondas no Sul Fluminense

Legenda: Localização das praias estudadas inseridas pela autora. Fonte: Adaptado de GODOI *et al.*, 2011.

Estima-se que aproximadamente 72% dos setores terrestre e marinho da Baía da Ilha Grande são constituídos por Unidades de Conservação (Figura 9), demonstrando a alta diversidade e relevância ambiental dessa zona costeira (BENCHIMOL, 2007; GUERRA *et al.,* 2013; INEA, 2015). As quatro unidades de conservação desta área são: o Parque Nacional da Serra da Bocaina, a Unidade de Conservação Cairuçu, a Área Ecológica da Juatinga e o Parque Estadual Mambucaba. Todas estão incluídas na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, que faz parte de uma rede mundial de áreas protegidas (GUERRA *et al.,* 2013).

Inúmeras atividades industriais, portuárias e de mineração são desenvolvidas na região, com destaque para o Terminal Petrolífero da Baía da Ilha Grande (TEBIG – Petrobrás), o Porto Comercial de Angra dos Reis, Terminal de Minérios (MBR), Estaleiro Verolme (BrasFELS) e as Usinas Nucleares (Angra I, II e III) (CREED *et al.*, 2007; NEVES *et al.*, 2007; LIMA *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2022). Tais atividades oferecem riscos associados ao derramamento de óleo (BAPTISTA *et al.*, 2019; PINHEIRO e SILVA, 2021); contaminação por metais pesados (DE LACERDA *et al.*, 1987; FERREIRA *et al.*, 2010; CASTELO *et al.*, 2021); por resíduos sólidos (MACEDO *et al.*, 2019; RANGEL *et al.*, 2021), entre outros. Acompanhando o desenvolvimento dessas atividades, instauraram-se uma série de empreendimentos imobiliários, que promoveram o desenvolvimento desordenado da região; levando ao descarte inadequado de resíduos sólidos (MACEDO *et al.*, 2019; RANGEL *et al.*, 2019; RANGEL *et al.*, 2021) e trazendo

outros danos ao meio ambiente, que podem interferir no comportamento de fatores sociais e econômicos (SILVA *et al.*, 2003; CREED *et al.*, 2007; GUERRA *et al.*, 2013; CASEMIRO *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2022).





Legenda: Localização das praias estudadas inseridas pela autora. Fonte: INEA, 2015.

As praias escolhidas (Figura 1) podem ser consideradas abrigadas em relação à incidência direta de ondas, por localizarem-se dentro das Baías de Sepetiba e da Ilha Grande. No entanto, podem apresentar dinâmica significativa, quando localizadas frontalmente à entrada de baías. A constatação de áreas mais sensíveis e vulneráveis aos impactos causados por ondas de tempestade minimizará os danos socioambientais decorrentes de desastres dessa natureza, através da identificação das áreas prioritárias e das medidas mais adequadas a serem aplicadas, auxiliando no planejamento ambiental e no gerenciamento da zona costeira.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os litorais são geralmente dinâmicos por estarem sujeitos à influência de processos costeiros e continentais. Esses assumem grande importância na proteção da zona costeira frente à ação destrutiva de ondas de tempestade (CARTER, 1988; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BIRD, 2008; MENTASCHI, 2018). A praia, um dos ambientes costeiros mais diretamente afetados pelas mudanças que ocorrem no litoral, está sujeita a dinâmica de ondas, correntes e marés (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BIRD, 2008; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; MASSELINK *et al.*, 2011).

2.1 Processos físicos costeiros

Os processos físicos costeiros são caracterizados por ondas, correntes e marés, enquanto resultado de forças naturais como ventos, terremotos, gravidade, a força de Coriolis e a tensão superficial. Esses processos estão diretamente responsáveis pela dinâmica e modelagem da zona costeira; levam a modificações sob distintas escalas espaciais e temporais, que podem ocasionar na mobilização de materiais, resultando na construção ou destruição dos ambientes costeiros (DAVIS Jr., 1978; CARTER, 1988; LAING, 1998; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; MÉNDEZ e RUEDA, 2020; JACKSON *et al.*, 2022).

As ondas são formadas mediante perturbações na superfície da água pela ação dos ventos e, por fluxos turbulentos gerados pela transferência de energia de um ponto para outro. Elas são movimentos distintos e multidirecionais que configuram o fundo submarino por efeito do contato estabelecido com ele. Responsabilizam-se pela entrada de energia no litoral e, juntamente com as correntes, selecionam e redistribuem sedimentos, condicionando processos de deposição, transporte e erosão (CARTER, 1988; KOMAR, 1976; LAING, 1998; BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; BRYAN e POWER, 2020).

Ondas admitem parâmetros básicos importantes à compreensão de seu comportamento (Figura 10), são eles: a crista, que compreende o nível máximo (ponto mais alto) atingido pela passagem de uma onda; a cava, o nível mínimo (ponto mais baixo) atingido pela passagem da mesma; a altura da onda (H) definida pela distância vertical entre a cava e a crista da onda; a amplitude (A) equivalente à metade da altura da onda; o período da onda (T) representado pelo

intervalo de tempo entre o decurso de duas cristas ou cavas consecutivas em um único ponto fixo; o comprimento (λ), corresponde à distância horizontal entre duas cristas subsequentes; e a esbeltez (H/λ), relação entre altura e comprimento de onda (KOMAR, 1976; DAVIS Jr., 1978; LAING, 1998; MUEHE, 2020; GODOI e HARARI, 2021).



Figura 10 – Parâmetros de uma onda de superfície oceânica

Fonte: SILVA, 2004; adaptado por ARAÚJO, 2019.

As ondas assumem distintos tamanhos, comprimentos, formas e direções, a depender da velocidade, duração e distância (pista) que percorre o vento na superfície oceânica sob o qual atua (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004). A geração de movimentos oscilantes orbitais/circulatórios, iniciada pelo vento com a superfície do mar em repouso, configura pequenas ondulações de curto período, chamadas ondas capilares. As ondas que permanecem onde foram geradas são denominadas vagas (*wind-sea*), e aquelas que se propagam para áreas mais distantes, para além de onde o vento sopra mantendo mesma trajetória, são chamadas de marulho (*swell*). Em razão da proximidade estabelecida com regiões mais rasas, adjacentes a costa, as ondas começam a interagir com o fundo, refletindo modificações em seu comportamento e parâmetros, como também, na movimentação de sedimentos (LAING, 1998; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

A forma de arrebentação de uma onda varia segundo sua formação e configuração do fundo marinho em que se desenvolve (LAING, 1998; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004). Essa configuração tende a determinar o grau de dissipação da energia das ondas e do transporte de sedimentos que chegam à costa (DAVIDSON-ARNOTT, 2010). As três principais formas de arrebentação das ondas (Figura 11), são: (A) Progressiva ou derramante (*spilling*), característica de fundos marinhos cujo declive é suave; a onda ganha altura, se torna íngreme e quebra gradualmente na zona de surf, gerando uma superfície irregular e espumante. (B) Mergulhante (*plunging*), inerente a fundos inclinados, majoritariamente associado a períodos de

tempestades; a mudança de gradiente eleva sua altura e faz com que se arrebente rapidamente, formando tubos próximo à linha d'água. (C) Ascendente (*surging*), ocorre associada a fundos de gradiente muito íngreme, quando a onda aumenta de altura e se projeta sobre a praia sem se quebrar (LAING, 1998; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; DAVIDSON-ARNOTT, 2010).



Figura 11 – Formas de arrebentação da onda

Fonte: Davis Jr. e Fitzgerald, 2004; adaptado por Silvestre, 2018.

A chegada de ondas a fundos marinhos de baixo gradiente como baías, enseadas ou estuários; ou seu choque com costões rochosos, falésias e estruturas artificiais, gera mudanças em sua direção e distribuição de energia (LAING, 1998; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BRYAN e POWER, 2020). Essas mudanças ocorrem através de três principais fenômenos: (1) refração, consiste na desaceleração da onda, causada pela interação com a morfologia de fundo ao propagar-se em direção à costa; (2) difração, expresso através da mudança de energia, trajetória e altura das ondas ao ser estabelecida interação com barreiras/obstáculos, podendo resultar em deposição de sedimentos em área contígua a essas estruturas; e (3) de reflexão, que ocorre a partir da incidência de uma onda em um meio com características distintas (costão rochoso, falésia, ilha ou estrutura artificial), e retorno de sua energia para o mar, levando a formação de novas ondas, conhecidas como estacionárias (CARTER, 1988; LAING, 1998; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; BRYAN e POWER, 2020; GODOI e HARARI, 2021).

O clima de ondas representa o principal indutor dos processos costeiros, responsabilizase pelo transporte de sedimentos longitudinal e transversalmente a linha de costa. Ele varia segundo distintas escalas de tempo, a depender dos processos morfoclimáticos nos quais as ondas estão submetidas. As ondas predominam sob condições de baixa ou moderada energia, características de tempo bom; regime no qual assumem caráter construtivo para os ambientes costeiros, visto que apresentam baixo valor de inclinação e altura, produzindo transporte de sedimentos na direção do continente, ou seja, transportando sedimentos da zona submarina para a parte emersa da praia. Quando submetidas ao efeito das tempestades, essas ondas ganham energia, tornam-se íngremes e apresentam períodos bem longos, provocando acentuada remoção e retrabalhamento de sedimentos na porção emersa da praia; gerando um transporte de sedimentos em direção ao mar e reduzindo a largura da praia. Após o período de tempestade, ondas de baixa energia tendem a reconstruir o ambiente praial através do acúmulo de sedimentos na porção emersa da praia, trata-se da resiliência da praia (DAVIS Jr., 1978; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

A combinação entre condições de vento, variação das marés e ângulo de incidência das ondas ao chegar à praia, leva a formação das correntes costeiras. Suas velocidades e direções são determinadas pela altura, direção e período assumidos pelas ondas, assim como pela configuração do litoral (DAVIS Jr., 1978; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004). Existem três tipos principais de correntes (Figuras 12 e 13): (1) as caracterizadas pelos fluxos (swash) e refluxos (backwash) das ondas, que transportam sedimentos à medida que se movem pela zona de surfe, estabelecendo um padrão do tio "zig-zag"; (2) as de deriva litorânea (longshore *current*), que ocorrem quando fluxos de água na zona de arrebentação são formados com a chegada de ondas obliquamente a costa, transcorrendo paralelamente à praia, movimentando, distribuindo e retrabalhando sedimentos; e (3) as correntes de retorno (rip current), representadas por fluxos estreitos e concentrados de água, transversais à costa, que atravessam a zona de arrebentação das ondas transportando grande quantidade de sedimentos da costa para o mar; essas correntes podem ir além da zona de arrebentação e escavar canais (rip channels), altamente perigosos, capazes de arrastar o que estiver em sua proximidade em direção à águas mais profundas (DAVIS Jr., 1978; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; GALLOP et al., 2020, HOUSER et al., 2020).

A interação estabelecida por correntes litorâneas e de retorno, somadas ao transporte de massas de água em direção à costa, originam as chamadas células de circulação costeira (Figura 12); que também desempenham grande influência no transporte e distribuição de sedimentos no litoral (SHEPARD e INMAN, 1951 *apud* KOMAR, 1976).

Os movimentos oscilatórios de subida e descida da superfície do mar ao longo da costa são chamados de marés. Elas são causadas pela influência gravitacional da Lua e do Sol sobre a Terra (Figura 14). Essas oscilações diárias no nível médio do mar são responsáveis por gerar mudanças cíclicas de curto prazo, como a limitação da ação das ondas na zona de intermaré, a formação de correntes de maré, a diminuição das taxas de transporte de sedimentos e mudanças na morfologia da zona costeira e do fundo marinho (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; CAMARGO e HARARI, 2017).



Figura 12 – Circulação costeira, correntes de deriva litorânea e de retorno

Fonte: Komar, 1976; adaptado por Silvestre, 2018.

Figura 13 – Representação da zona de fluxos (*swash*) e refluxos (*backwash*) das ondas



Fonte: Adaptado de Reguero et al., 2017.

As marés podem variar entre um nível mínimo, (baixa-mar) e um nível máximo (preamar), dentro de um período de 12 ou 24 horas, dividindo-se em três tipos: (1) diurna, cuja forma e frequência da onda de maré é marcada por 1 período de preamar e 1 de baixa-mar, aproximadamente iguais; (2) semidiurna, caracterizada por 2 períodos de preamar e 2 de baixa-mar, aproximadamente iguais e (3) mista, quando há dois ciclos de preamar e baixa-mar desiguais (diferença significativa de altura) ao longo de um dia lunar. As oscilações das marés podem atingir picos de amplitude devido ao alinhamento entre o Sol, Lua e a Terra. Esses picos podem ser de alta (maré de sizígia), em períodos de Lua Nova e Cheia, ou de baixa (maré de quadratura), em Lua Minguante e Crescente (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010).



Figura 14 - Representação da formação de marés de sizígia e quadratura

Fonte: Garrison, 2010; adaptado por Alves, 2022.

A depender da latitude e das características do litoral no qual atuam, distinguem-se em: (A) micromarés, com amplitudes menores que 2 m; (B) mesomarés, com amplitudes variando entre 2 e 4 m; (C) macromarés, com amplitudes maiores que 4 m, (DAVIES, 1964; CARTER, 1988; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010). As oscilações de maré podem produzir ao longo da costa as chamadas correntes de maré, que são fluxos bidirecionais que podem ter força suficiente para transportar sedimentos, reforçar e amortecer as correntes de deriva litorânea através dos movimentos das marés (DAVIS Jr., 1978).

2.2 O ambiente de praia

Por definição, praias são acumulações de sedimentos inconsolidados, como areia e cascalho, depositados ao longo de costas marinhas, lacustres ou estuarinas; que protegem ecossistemas, atividades turísticas, recreativas ou habitacionais (SOUZA *et al.*, 2005; BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; MASSELINK *et al.*, 2011; SHORT, 2020; GÓMEZ-PUJOL e ORFILA, 2020). São ambientes altamente dinâmicos e sensíveis as mudanças sazonais na energia das ondas e nas condições de maré; fatores que influenciam a configuração do perfil praial, controlam a sedimentação, tamanho, densidade, forma e movimentação de partículas, perpendicularmente e paralelamente ao longo do arco praial, sob condições de tempo bom ou de tempestade (MASSELINK e SHORT, 1993; BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; GÓMEZ-PUJOL e ORFILA, 2020).

A delimitação continental de uma praia compreende a área sujeita ao alcance máximo das ondas de tempestade, como um penhasco/falésia, um campo de dunas, ou onde a vegetação permanente é estabelecida. Em casos de praias urbanas, esse limite interno pode ser uma estrutura rígida de engenharia, como o calçadão ou uma avenida. O limite marinho é geralmente definido pela área mais externa da zona de arrebentação das ondas na maré baixa. A praia está compartimentada em 3 subambientes (Figura 15): pós-praia (*backshore*), frente de praia (*foreshore*) e face de praia (*beachface*) desenvolvida por Friedman e Sanders (1978), adaptada por Silva *et al.*, (1999); que variam no espaço e no tempo em função da energia das ondas e do aporte sedimentar (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004, 2020; DAVIDSON-ARNOTT, 2010).



Figura 15 – Subdivisão do ambiente praial

Fonte: Silva, 2021; adaptado de Friedman e Sanders, 1978.

O pós-praia, (*backshore*), ou região de supramaré (Figura 15), é a área compreendida acima do nível médio das marés e que permanece geralmente seca, exceto em condições de maré alta combinada a eventos de tempestade. Esse subambiente é geralmente horizontal ou pouco inclinado, cuja largura varia amplamente a depender do estado morfodinâmico da praia (BOGGS Jr., 2006; DAVID Jr. e FITZGERALD, 2004, 2020).

A frente de praia (*foreshore*), ou região de intermaré (Figura 15), corresponde à porção submetida ao espraiamento e refluxo das ondas e as variações diárias da maré, cuja largura e ângulo de inclinação podem variar segundo a dinâmica das ondas. Nesse subambiente, o transporte e o retrabalhamento de sedimentos ocorrem incessantemente, paralela ou sinuosamente à linha d'água, graças à incidência oblíqua de ondas (FRIEDMAN e SANDERS, 1978; DAVID Jr. e FITZGERALD, 2020).

A face de praia (*beachface*), ou região de submaré (Figura 15), compreende ao segmento submerso onde geralmente se desenvolve a arrebentação das ondas e a zona de surfe, além da formação de bancos de areia e canais submersos (BIRD, 2008; DAVID JR. e FITZGERALD, 2004, 2020). Caracteriza-se pela presença de barras e valas submersas; a posição e quantidade dos bancos de areia existentes são controlados pela inclinação do fundo, pelo nível de energia das ondas e sedimentos disponíveis (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2020). A ação contínua de ondas e correntes gera consecutivo transporte de sedimentos, que podem assumir movimentos lineares alternados em um sentido preferencial ao longo da praia, ocasionando áreas de deposição efetiva e áreas de perda de sedimentos (FRIEDMAN e SANDERS, 1978).

A variabilidade espacial e temporal na morfologia da praia está relacionada aos processos costeiros e suas transformações, a partir do momento em que atuam sobre a costa

(DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BIRD, 2008, DAVIDSON-ARNOTT, 2010). Eles resultam na inclinação e largura do perfil praial, na variação nas características dos sedimentos e na formação de feições secundárias, como bermas, barras, escarpas e cúspides de praia (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004, 2020; BIRD, 2008; MASSELINK *et al.*, 2011; RUESSINK e RANASINGHE, 2014; SHORT, 2020).

A berma é uma feição deposicional formada pelo movimento de fluxo (*swash*) das ondas, que geralmente se desenvolve na parte do perfil praial superior ao nível médio das marés. (BIRD, 2008; RUESSINK e RANASINGHE, 2014; LÓPEZ-RUIZ *et al.*, 2020; HUGHES e BALDOCK, 2020). As barras costeiras compreendem a uma única e extensa barra de areia ou por várias barras menores, encontradas perto da costa, ao longo da zona de arrebentação ou até mesmo em águas mais profundas, enquanto resultado do equilíbrio do transporte de sedimentos. Estão geralmente orientadas paralelamente ao litoral, mas podem estar oblíquas ou transversalmente a ele (DAVIDSON-ARNOTT, 2010; RUESSINK e RANASINGHE, 2014; COCO *et al.*, 2020).

As escarpas de praia são feições íngremes, resultantes da perda de sedimentos das bermas devido ao aumento da energia das ondas, induzidas por tempestades. Elas recortam o perfil praial deixando-os mais inclinados e côncavos. Os sedimentos removidos são espalhados na porção submarina próxima à costa ou depositados enquanto barras costeiras. Com o retorno as condições de tempo bom, vão sendo devolvidos pelas ondas e reconstruindo a praia com a formação de novas bermas (BIRD, 2008; RUESSINK e RANASINGHE, 2014; HUGHES e BALDOCK, 2020).

Cúspide de praia consiste em duas elevações topográficas e, interposto a elas, uma baixa côncava. Sua distribuição ao longo da costa representa padrões rítmicos, proporcionais à extensão horizontal do movimento de fluxo (*swash*) e refluxo (*backwash*) das ondas; que atua juntamente as correntes de retorno, geralmente associada a incidência de ondas paralelas à praia (BAGNOLD, 1940; BIRD, 2008; RUESSINK e RANASINGHE, 2014; LÓPEZ-RUIZ *et al.*, 2020, MURRAY *et al.*, 2020).

A composição, o tamanho e a textura dos sedimentos de uma praia reflete seu material de origem; geológica e/ou biológica, os processos de transporte e retrabalhamento pelas ondas e correntes, como também, influências do clima de ondas (DAVIDSON-ARNOTT, 2010; NORDSTROM e JACKSON, 2012; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2020; SHORT, 2020). A proveniência de sedimentos de origem geológica está vinculada ao processo de intemperismo e erosão do continente e litoral (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BIRD, 2008); sedimentos de origem biológica provêm da abrasão de corais, conchas, carapaças e esqueletos de
organismos, dentre outros (DAVIDSON-ARNOTT, 2010; FLEMMING, 2020). Dependendo da geologia local, pode constituir-se predominantemente por quartzo, devido à durabilidade física e química deste mineral (PETTIJOHN, 1975; TUCKER, 2003; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004, 2020; FLEMMING, 2020).

Algumas praias são dominadas por sedimentos arenosos, outras por zonas contrastantes de materiais mais grossos ao longo do arco praial (BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010). O maior tamanho dos grãos e seu acúmulo na zona de intermaré leva ao aumento da inclinação do perfil praial; sedimentos mais grossos costumam produzir praias mais íngremes (DAVIDSON-ARNOTT, 2010; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2020; HUGHES e BALDOCK, 2020). Esses sedimentos assumem formas angulares e subangulares quando recém-chegados ao litoral, mas geralmente adquirem forma arredondada frente à abrasão durante um maior tempo de retrabalhamento pela ação das ondas e correntes (TUCKER, 2003; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; BIRD, 2008, BOGGS Jr., 2009). A textura das areias está relacionada ao tamanho, morfologia, distribuição e características da superfície dos grãos (TUCKER, 2003). A maioria dos sedimentos de uma praia pode apresentar uma pequena proporção de minerais pesados, que tendem a ficar enterrados abaixo deles (DAVIDSON-ARNOTT, 2010).

2.3 Praias abrigadas

Praias podem estar localizadas em costas expostas diretamente ao oceano ou mares agitados, assim como em costas parcialmente ou completamente abrigadas dentro de baías, enseadas e estuários (BIRD, 2008; SEMENIUK e BROCX, 2016). Elas podem ser classificadas segundo as variações locais e regionais na condição das ondas incidentes, na amplitude das marés e no tamanho e textura dos sedimentos (BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; SHORT, 2020).

Praias localizadas em costas semifechadas como enseadas, baías e estuários, estão sujeitas à uma baixa energia hidrodinâmica (HEGGE *et al.*, 1996; JACKSON *et al.*, 2002; TRAVERS *et al.*, 2010; VILA-CONCEJO *et al.*, 2020). Na maioria dessas praias predomina a ação de ondas geradas pelas condições dos ventos locais, que apresentam curtos períodos e alturas sujeitas à velocidade e duração do vento. Ondas do tipo "*swell*" eventualmente podem adentrar nesses litorais; a energia dessas ondas depende do clima de ondas e da exposição das praias, determinada pela proximidade e orientação frente a enseada, baía ou estuário

36

(NORDSTROM, 1989; JACKSON e NORDSTROM, 1992; JACKSON, 1995; JACKSON *et al.*, 2002; VILA-CONCEJO *et al.*, 2020). Sob condições de tempo bom essas ondas apresentam alturas geralmente inferiores a 0,25 m, quando sujeitas ao efeito de rápidas mudanças nas condições de vento podem alcançar cerca de 0,5 m (JACKSON *et al.*, 2002).

A presença de afloramentos rochosos como recifes e ilhas, dentro de ambientes de baixa energia, restringe mais a extensão da pista (*fetch*), atenuando a arrebentação de ondas locais e induzindo a uma maior refração das ondas oceânicas (SHORT e MASSELINK, 1999; LOUREIRO *et al.*, 2013; SHORT, 2020; HARRIS *et al.*, 2020). Nos locais onde a ação das ondas é pouco eficiente e naqueles onde há suprimento abundante de areia, as correntes de maré desempenham grande importância no transporte de sedimentos (NORDSTROM, 1977a, 1989; JACKSON *et al.*, 2002; VILA-CONCEJO *et al.*, 2020).

A orientação da linha de costa difere muito em curtas distâncias, causando grandes variações no nível de energia das ondas (JACKSON *et al.*, 2002), na mobilidade da praia (JACKSON e NORDSTROM, 1992), na exposição aos ventos dominantes (HARDAWAY Jr. *et al.*, 2016), no isolamento de segmentos da praia; provocando expressivas mudanças em sua morfologia e na redução ou eliminação de trocas sedimentares entre praias (NORDSTROM, 1989). Mudanças no volume de sedimentos são ainda maiores quando obstáculos perpendiculares ao litoral interferem no padrão de transporte, resultando em grandes taxas de variação da linha de costa (JACKSON *et al.*, 2017; COLAÇO *et al.*, 2021).

As praias abrigadas são geralmente estreitas e de altimetria baixa (< 20 m) (NORDSTROM, 1989; JACKSON *et al.*, 2002), que podem exibir configurações retilíneas ou suavemente curvadas (NORDSTROM e JACKSON, 2012), condicionadas à geologia do ambiente em que estão inseridas (SHORT, 2010; VILA-CONCEJO *et al.*, 2020). O limitado potencial de energia das ondas resulta em uma face de praia estreita, zona de intermaré geralmente íngreme e estreita, pós-praia pouco desenvolvido, zona de surf discreta ou inexistente e dunas pouco desenvolvidas ou inexistentes (NORDSTROM, 1989; HEGGE *et al.*, 1996; JACKSON *et al.*, 2002; NORDSTROM e JACKSON, 2012; TON *et al.*, 2021).

Essas praias são comumente conhecidas como: (1) praias de baixa energia; (2) praias limitadas (*fetch-limited*); (3) praias abrigadas (*sheltered beaches*); (4) praias estuarinas; (5) praias de baía; (6) praias modificadas e/ou dominadas pela maré (JACKSON e NORDSTROM, 1992; HEGGE *et al.*, 1996; JACKSON *et al.*, 2002; TRAVERS *et al.*, 2010; NORDSTROM e JACKSON, 2012; VILA-CONCEJO *et al.*, 2010, 2020). No entanto, nem todas as praias abrigadas são de baixa energia, algumas podem exibir processos e características morfológicas

de praias de alta e baixa energia, a depender da sua localização no interior de uma baía (GOODFELLOW e STEPHENSON, 2005).

Os distintos graus de proteção à incidência direta das ondas implicam em uma variedade de configurações geomorfológicas em uma determinada região (JACKSON *et al.*, 2002; HARDAWAY Jr. *et al.*, 2016). A variedade de configurações apresentadas por praias em ambientes de baixa energia foi classificada por Hegge *et al*, (1996), Makaske e Augustinus (1998) e por Travers *et al.* (2007) considerando seu grau de exposição, dimensão, inclinação, curvatura e características sedimentares, frente as mudanças nas condições de energia das ondas (Figura 16, Tabela 1).

Praias abrigadas apresentam tendência de aumento no tamanho dos grãos da porção emersa para submersa, em decorrência da remobilização de areias e cascalhos por ondas de tempestade. Areias são movidas para costa, enquanto cascalhos acumulam na porção inferior da frente de praia e face de praia, não sendo removidos pela baixa energia das ondas póstempestade (NORDSTROM, 1989; NORDSTROM e JACKSON, 1993).



Figura 16 - Morfotipos de praias de baixa energia segundo grau de exposição

Legenda: Tradução feita pela autora. Fonte: Adaptado de Ton *et al.*, 2021.

Quando confinadas ou limitadas entre promontórios rochosos ou estruturas antrópicas, essas praias são chamadas de "*pocket beaches*" ou praias de bolso (AMADOR, 1997; DEHOUCK *et al.*, 2009; RUESSINK e RANASINGHE, 2014). "*Pocket beaches*" são praias curtas quanto ao comprimento, e apresentam forma tipicamente curva (SHORT e MASSELINK, 1999; SHORT, 2010). São ambientes singulares que exibem grande variação em termo de exposição de ondas, tamanho dos grãos e inclinação (DEHOUCK *et al.*, 2009).

Essas praias podem ser expostas à alta energia de ondas devido à uma baixa dissipação do fundo marinho, geralmente inclinado (BOWMAN *et al.*, 2014).

Praias abrigadas podem estar parcialmente vegetadas ou sem vegetação (NORDSTROM e JACKSON, 2012). Elas são constituídas por sedimentos geralmente grossos e mal selecionados, provenientes do intemperismo de rochas; transportadas de pequenas bacias hidrográficas pelos riachos locais (IZUMI *et al.*, 1999; PRANZINI *et al.*, 2013; BOWMAN *et al.*, 2014; VILA-CONCEJO *et al.*, 2020; CAPPADONIA *et al.*, 2023); pela migração de barras litorâneas entre praias (SHORT e MASSELINK, 1999) e entrada de ondas de grande energia na baía durante períodos de tempestade (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004).

Autor	Atributos dos morfotipos de praia										
Hegge <i>et al.</i> (1996)	Côncavo	Moderadamente côncavo	Moderadamente íngreme	Escalonado							
	 Perfil estreito e plano Frente de praia e zona de espraiamento íngreme Zona de arrebentação com fundo côncavo Diminuição uniforme da concavidade costa a fora Berma moderada (altura > 0,5 m) Sedimentos de mal a muito bem selecionados 	 Perfil com dimensão semelhante à de côncavo, com declive e concavidade inferior Sedimentos mais homogêneos que os de morfotipo côncavo, de moderadamente a bem selecionados 	 Perfil linear Mais estreito que os de morfotipo côncavo e moderadamente côncavo Declive acentuado Bermas altas Ampla face de praia, comparada as demais Sedimentos moderadamente a bem selecionados 	 Perfil muito estreito Zona de arrebentação relativamente íngreme, marcada por degrau proeminente Sedimentos bem selecionados 							
Makaske e Augustinus (1998)	Reto	Côncavo	Côncavo Convexo								
	 Face com inclinação igual ou superior a 3° Perfil de praia estreito, com declive acentuado 	 Face com inclinação inferior a 3° Perfil intermediário entre reto e côncavo-convexo 	 Face com inclinação inferior a 3° Perfil longo e plano, com parte inferior convexa 								
Travers <i>et al.</i> (2007)	Exponencial	Segmentado	Côncavo Curvilíneo	Convexo-Curvilíneo							
	 Perfil longo e planos Declive (0.2 - 0.8°) Porção submarina côncava (12-18 m - 1.8-2.1°) Altura de onda 0.5 e 2 m Sedimentos de fração fina NE (< 1) 	 Perfil estreito e íngreme (9-11 m - 3-5.9°) Porção submarina longa e plana (89-100 m - 0.1-2.8°) Altura de onda 0,4 m Sedimentos de fração fina NE (1 - 1.25) 	 Perfil côncavo (32-45 m - 2.1-2.7°) Porção submarina convexa (43-63m - 1-2°) Altura de onda 0.7 m Sedimentos de fração fina NE (1.75 - 2) 	 Face de praia convexa com declive acentuado (41-57 m – 3.3-4.2°) Altura de onda 0.7 m Sedimentos de fração média NE (<2) 							

Tabela 1 – Atributos dos morfotipos em praia de ambientes de baixa energia

Fonte: Adaptado de Hegge et al., 1996; Makaske e Augustinus, 1998 e Travers et al., 2007.

Praias abrigadas geralmente tendem a ser extremamente sensíveis aos efeitos das mudanças climáticas, como o aumento do nível do mar, inundações e mudanças na direção e intensidade de ondas, frente à passagem de tempestades (GOODFELLOW e STEPHENSON, 2005; TRAVERS *et al.*, 2010; NORDSTROM e JACKSON, 2012; PRANZINI *et al.*, 2013; VILA-CONCEJO *et al.*, 2020; FELLOWES *et al.*, 2022). Essas praias tendem a assumir características morfológicas herdadas em eventos de tempestade (JACKSON *et al.*, 2002). A baixa energia das ondas dispõe poucos sedimentos para repor as perdas entre os eventos de tempestade (NORDSTROM, 1989; JACKSON *et al.*, 2002, TRAVERS, 2007; NORDSTROM e JACKSON, 2012; PRANZINI *et al.*, 2013; BOWMAN *et al.*, 2014). Normalmente praias mais abrigadas apresentam recuperação gradual, mas constante, e aquelas mais expostas, interrupções e reversões significativas na recuperação, devido a um evento subsequente de tempestade (CASTELLE e HARLEY, 2020).

2.4 Dinâmica e erosão de praias

As praias estão entre os ambientes costeiros mais dinâmicos e respondem rapidamente as mudanças nas condições de mar, com a ocorrência de tempestades, eventos meteorológicos extremos, a elevação do nível do mar e a intervenções antrópicas (CARTER, 1988; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; MENTASCHI *et al.*, 2018; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2020). A praia apresenta mudanças de curto prazo causadas pela alternância entre ondas construtivas associadas às condições de tempo bom e destrutivas durante às tempestades, com ganhos e perdas sedimentares, respectivamente (BIRD, 2008).

O perfil praial tende a apresentar-se mais largo em sua porção emersa, quando da predominância de condições de tempo bom, mais comuns no período do verão. Esse mesmo perfil tende a um estreitamento devido à remoção de sedimentos da porção emersa para a porção submersa da praia, diante do aumento na energia das ondas durante eventos de tempestade, mais frequentes no inverno (Figura 17). O retorno às condições normais após o evento de tempestade leva a reconstrução do perfil praial, com a devolução de sedimentos e a formação de novas bermas (DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004, 2020; BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; SHORT, 2020). Esse ciclo faz parte de uma tendência natural de equilíbrio dinâmico, marcado por sucessivas mudanças na morfologia e largura da praia (CARTER, 1988; BIRD, 2008).



Figura 17 – Mudanças no perfil praial

Fonte: Adaptado de Fletcher et al., 2012.

Nos litorais sul e sudeste do Brasil o aumento da energia das ondas está atrelado a eventos de tempestade, associados à passagem eventual de frentes frias provenientes do sul do país. Essas ressacas, como também são conhecidas, ocorrem principalmente entre os meses de abril e setembro (LINS-DE-BARROS *et al.*, 2018).

Diferentemente da dinâmica acima descrita, entende-se por erosão costeira o processo caracterizado pelo déficit no balanço sedimentar em um determinado segmento da linha de costa, frente a remoção de sedimentos, sem que haja uma posterior reposição destes, levando à uma perda efetiva (DAVIS, 1985). Luijendijk *et al.* (2018) apontam que 24% das costas arenosas mundiais sofrem recuo a taxas superiores a 0,5 m/ano (1984 - 2016), 28% progradaram e 48% estão estáveis. Uma variedade de mecanismos e características particulares a cada região pode contribuir para a erosão costeira, como: instabilidades tectônicas e subsidência, elevação do nível do mar, mudanças climáticas (especialmente o aumento da frequência e magnitude de tempestades), um litoral naturalmente deficitário em termos sedimentares, além das inúmeras modificações humanas (CARTER, 1988; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; CASTELLE e HARLEY, 2020). Intervenções antrópicas no balanço sedimentar em diversos litorais, seja

através da dragagem/extração de sedimentos, urbanização da orla e implantação de estruturas rígidas transversais à linha de costa, geram perdas e interrupção da redistribuição e do aporte de sedimentos das fontes contribuintes (CARTER, 1988; DAVIS Jr. e FITZGERALD, 2004; SOUZA *et al.*, 2005; BIRD, 2008; LUIJENDIJK *et al.*, 2018).

Processos de erosão costeira ocorrem em diferentes escalas espaço-temporais, como a intersecular, a interdecadal e a interanual/sazonal (STIVE *et al.*, 2002; ROCHA *et al.*, 2021). A linha de costa passa por ciclos de erosão e recuperação, podendo até mesmo ser acometida por eventos de tempestade durante o processo de recuperação, o que resulta em subciclos menores de erosão e recuperação na praia subaérea. As escalas temporais desses ciclos vão de sub à plurianuais, sendo até multidecadais ou mais longas, no caso de praias adjacentes a estuários e enseadas (CASTELLE *et al.*, 2018; CASTELLE e HARLEY, 2020). Eles reduzem a proteção oferecida a eventos subsequentes, de maior intensidade e frequência, resultando em erosão costeira mais severa (ALBUQUERQUE *et al.*, 2018).

As consequências da erosão costeira para o litoral são mais perceptíveis quando ameaçam aspectos relacionados a humanidade. Por conseguinte, destacam-se: (1) a redução na largura da praia ou recuo da linha de costa; (2) o desaparecimento do pós-praia com a destruição de dunas, manguezais e da vegetação de restinga à retaguarda; (3) o aumento na frequência de inundações decorrentes de ressacas, que ultrapassam o limite interno da praia; (4) a destruição de estruturas urbanas construídas paralela e transversalmente à costa, causadas por ressacas; (5) a perda de bens públicos ou privados, (6) do valor/potencial paisagístico, imobiliário e turístico da região (SOUZA *et al.*, 2005; SOUZA, 2009).

Avaliações rápidas, de baixo custo e confiáveis do risco e mitigação de danos relativos à erosão costeira, utilizam processos e fenômenos geológicos enquanto indicadores qualitativos denominados geoindicadores. Os principais geoindicadores são: a morfologia praial, a posição da linha de costa, a configuração das dunas, a ocorrência do processo de transposição de ondas, a distância da foz de rios, a elevação do terreno, a presença de estruturas urbanas, o percentual de ocupação de permeabilidade do solo (BUSH *et al.*, 1999; SOUZA *et al.*, 2005; SOUZA, 2009). A sintetização de muitos estudos sobre causas e efeitos de erosão costeira no litoral brasileiro, feita por Souza *et al.* (2005), determinou os indicadores de erosão costeira no Brasil (Tabela 2).

INDICADORES DE EROSÃO COSTEIRA							
Ι	Pós-praia muito estrito ou inexistente devido à inundação permanente durante marés altas de sizígia (praias urbanizadas ou não).						
II	Retrogradação da linha de costa nas últimas décadas, com diminuição da largura da praia em toda sua extensão, ou acentuadamente em determinados trechos (praias urbanizadas ou não).						
III	Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos, pleistocênicos à atuais, que bordejam as praias sem o desenvolvimento de falésias ou escarpamentos em dunas e terraços marinhos (praias urbanizadas ou não).						
IV	Presença de falésias com alturas de até dezenas de metros em rochas sedimentares mesozoicas, sedimentos terciários (formação de barreiras) e rochas de praia pleistocênicas e holocênicas, presença de escarpamentos em depósitos marinhos e/ou eólicos, pleistocênicos à atuais, que bordejam as praias (urbanizadas ou não).						
V	Destruição de faixas frontais de vegetação de "restinga" ou de manguezal e/ou presença de raízes e troncos, em posição de vida, soterrados na praia devido a erosão e soterramento causados pela retrogradação/migração da linha de costa ou por processos de sobrelavagem (ilhas barreiras).						
VI	Exumação e erosão de depósitos paleolagunares, turfeiras, arenitos de praia ou terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, sobre o estirâncio e/ou face litorânea atual, devido à remoção das areias praiais por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não).						
VII	Frequente exposição de "terraços ou falésias artificiais", apresentando pacotes de espessura até métrica, formados por sucessivas camadas de aterros soterrados por lentes de areias praiais/dunares (contato entre a praia e a área urbanizada).						
VIII	Destruição de estruturas artificiais erguidas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos que bordejam a praia, o pós-praia, o estirâncio, a face litorânea e/ou a zona de surf.						
IX	Retomada erosiva de antigas plataformas de abrasão marinha, elevadas de +2 a +6m, formadas sobre rochas do embasamento ígneo-metamórfico pré-cambriano à mesozoico, rochas sedimentares mesozóicas, sedimentos terciários (formação de barreiras) ou arenitos praiais pleistocênicos, em épocas cujo nível do mar se encontrava acima do atual, durante o final do Pleistoceno e Holoceno (praias urbanizadas ou não).						
Х	Presença de concentrações de minerais pesados em determinados trechos da praia, em associação com outras evidências erosivas (praias urbanizadas ou não).						
XI	Presença de embaiamentos formados pela atuação de correntes de retorno concentradas associadas a zonas de barlamar ou centros de divergência celular de deriva litorânea localizadas em local mais ou menos fixo da praia, podendo ocorrer também processos de sobrelavagem (ilhas e praias-barreiras)						

Tabela 2 - Indicadores de erosão costeira no Brasil

Fonte: Adaptado de Souza et al., 2005.

Na costa brasileira de modo geral, os fenômenos erosivos estão distribuídos ao longo de toda a sua extensão, de maneira irregular e por muitas vezes associados a desembocaduras fluviais (MUEHE, 2009). As variações das ondas, marés e vazões fluviais causam alta mobilidade dos sedimentos na costa, que geram zonas de erosão intermitentes, mas por vezes de grande intensidade (GOYA e TESSLER, 2022). O avanço de cidades em direção ao mar, impulsionado pelo turismo ou pelo desenvolvimento de atividades como moradia, comércio, recreação, dentre outras, têm sido cada vez mais responsáveis pelo aumento no número de intervenções, controle e modificações no balanço de sedimentos da praia (LINS-DE-BARROS *et al.,* 2020; BULHÕES, 2020). Alterações até mesmo no curso de rios, como o desmatamento e a construção de represas, podem afetar diretamente no aporte sedimentar para a zona costeira (GOYA e TESSLER, 2022).

Quando estruturas rígidas de engenharia como avenidas, quiosques, postes, casas, calçadões e ciclovias são introduzidas dentro do perfil de equilíbrio dinâmico da praia, tendem a ser diretamente alcançadas por ondas de tempestade (Figura 18). Essas estruturas refletem a energia das ondas, aumentando sua capacidade de mover sedimentos para o mar, causando danos como a destruição dessas estruturas e de outros bens públicos, interrompendo o reabastecimento natural da praia, diminuindo o estoque sedimentar e podendo causar erosão (GRIGGS, 2005). A tentativa de estabilizar a linha de costa através da construção de muros ou enrocamentos tende a levar à perda da praia no local da intervenção ou à jusante (MUEHE, 2022). Se o déficit sedimentar persistir por longo período de tempo é possível que a praia apresente um estado de erosão persistente (LUIJENDIJK *et al.*, 2018; LUIJENDIJK e VRIES, 2020).

A intensificação de eventos extremos e as mudanças climáticas em vigor amplificam a vulnerabilidade e os riscos relacionados à elevação do nível do mar e o aumento da frequência e intensidade de tempestades (WEBSTER *et al.*, 2005; IPCC, 2022). A elevação média do nível do mar global aumentou para $4,72 \ mm/ano^{-1}$ entre 2013 e 2022, e os efeitos do El Niño, tem sido um dos maiores impulsionadores das variabilidades dos padrões climáticos em todo mundo (WMO, 2023). Nos litorais sul e sudeste do Brasil, a ocorrência de fortes ressacas ao longo dos últimos 30 anos tem provocado significativo avanço do mar sobre o continente, ampliando os processos erosivos atuais na maioria das praias arenosas (POLETTE e LINS-DE-BARROS, 2012; GOYA e TESSLER, 2022). No Rio de Janeiro, a chegada de ciclones extratropicais com ondulações vindas de sul-sudoeste caracteriza intensos eventos de tempestade, que podem causar danos principalmente no litoral Sul Fluminense, mais exposto a ondulações de tempestades vindas de sul (MUEHE, *et al.*, 2018). De modo geral, os processos erosivos na costa brasileira estão mais relacionados às alterações da dinâmica sedimentar atual, por causas naturais e/ou antropogênicas (GOYA e TESSLER, 2022).



Figura 18 – Impacto de obras de engenharia no ambiente praial

Fonte: Adaptado de Griggs, 2019.

O sistema praial apresenta distinta capacidade de recuperação, que pode levar anos ou décadas, ou até mesmo não se recuperar (CASTELLE e HARLEY, 2020). Alguns dos fatores que influenciam na taxa e grau de recuperação da praia subaérea são o nível de danos causados pelas tempestades, o subsequente histórico de condições energéticas da hidrodinâmica e de tempestades no inverno, a disponibilidade de sedimentos, a mobilidade da praia a longo prazo e a continuidade de alterações antrópicas (MORTON *et al.*, 1994; DODET *et al.*, 2018; CASTELLE e HARLEY, 2020; BASTOS *et al.*, 2022).

O suprimento e o volume do estoque de sedimentos são os fatores chave para a sua recuperação (MORTON *et al.*, 1994; LOUREIRO *et al.*, 2009; BASTOS *et al.*, 2022). Existem 4 formas de recuperação pós-tempestade: recuperação completa, recuperação parcial, recuperação excessiva em relação às condições pré-tempestade ou nenhuma recuperação, com erosão contínua (MORTON *et al.*, 1994; CASTELLE e HARLEY, 2020). Uma recuperação completa consistiria na substituição do volume erodido e a restauração das posições da linha de costa; a parcial, no retorno de algumas feições pré-tempestade, mas sem que a praia recupere todo o volume de areia erodido pela tempestade; a excessiva envolve uma maior existência de feições morfológicas e a superação das taxas volumétricas da praia pós-tempestade, e no caso de nenhuma recuperação e erosão contínua, ciclos de perda e deposição de curto prazo continuaram a fazer com que haja o recuo da linha de costa (MORTON *et al.*, 1994).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consistiu nas seguintes etapas: (1) levantamento bibliográfico; (2) trabalhos de campo sazonais entre os anos de 2022 e 2023 para a aquisição de perfis topográficos de praia, coleta de sedimentos, identificação dos geoindicadores de erosão costeira e registro das condições de mar; (3) análises em laboratório (granulometria e morfoscopia dos sedimentos); (4) análises em gabinete (cálculo do volume emerso de sedimentos; mapeamento da linha de costa; registro das ocorrências de ressaca entre março de 2022 e setembro de 2023); e (5) integração, análise e interpretação dos dados adquiridos.





Fonte: A autora, 2024.

3.1 Levantamentos topográficos

Foram estabelecidos ao todo quatorze pontos de monitoramento, distribuídos em 5 praias (Figura 20) com base na localização e extensão do arco praial, com o intuito de representar a variabilidade morfológica em diferentes contextos ao longo do litoral sul fluminense.

Figura 20 - Localização dos pontos de monitoramento em cada uma das praias estudadas



Fonte: A autora, 2023; com imagens do Google Earth Pro.

Os trabalhos de campo para a aquisição dos perfis topográficos de praia foram realizados ao final das quatro estações do ano de 2022 e no verão de 2023, totalizando 5 monitoramentos, nas praias de Brava e Mambucaba. Nas praias da Reserva do Sahy, Biscaia e Grande foram realizados apenas 3 monitoramentos, no inverno e primavera (2022), e verão (2023), em função da posterior incorporação das mesmas ao trabalho. No caso da praia da Reserva do Sahy, os monitoramentos foram feitos em razão dos problemas de erosão sinalizados pelo condomínio da Reserva do Sahy. As demais praias foram incluídas a partir da participação no projeto MONITOMAR (Susceptibilidade ambiental, social e econômica da Baía da Ilha Grande ao derramamento e à presença de óleo no mar).

Os perfis topográficos de praia foram realizados utilizando nível topográfico convencional acoplado a um tripé, mira para leitura das variações altimétricas e trena para aferir a distância horizontal (Figura 21). Foram definidos pontos de controle por meio do estabelecimento de piquetes e registro fotográfico de estruturas rígidas para cada início de perfil de praia (Tabela 2).



Figura 21 – Aquisição de perfis topográficos com uso de nível e mira topográfica

Fonte: Gomes, 2023.

A realização dos monitoramentos ocorreu sob condição de maré de quadratura, a fim de que não houvesse grande interferência das variações diárias do nível do mar. Foram obtidos um total de 51 perfis topográficos de praia, partindo sempre do mesmo ponto de início do perfil, representado por estruturas urbanas ou limite da vegetação, situadas na porção mais interna das praias estudadas; indo sempre que possível até a porção submarina. Esses perfis foram georreferenciados através do GPS GARMIM 64ST, pelo sistema de coordenadas geográficas Datum WGS 84. A declividade dos perfis de praia foi obtida através da medição de todos os subambientes praiais emersos, por meio do medidor de ângulos "*Starrett*".

3.2 Cálculo do volume emerso de sedimentos

O cálculo do volume emerso de sedimentos da praia foi realizado a partir dos dados topográficos de altimetria e distância horizontal, com base em metodologia aplicada por Oliveira Filho *et al.* (2020), utilizando-se o mesmo princípio elaborado por Birkemeier (1984). O princípio consiste em estabelecer valores de cota inicial e cota final através da área do trapézio, para representar uma sessão transversal à praia (Figura 22).





Fonte: Oliveira Filho et al., 2020.

O nível médio do mar é considerado o marco altimétrico zero; a partir de então, calculase o volume acima da cota altimétrica para obter o volume total (BIRKEMEIER, 1984; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2020). O acompanhamento do estoque de sedimentos permite a verificação dos ganhos ou perdas, com base nos registros topográficos de cada perfil de praia, em relação às mudanças sazonais ao longo do período de monitoramento.

3.3 Caracterização sedimentar

3.3.1 Amostragem de sedimentos nas praias

Concomitante ao levantamento topográfico foi realizada a coleta de amostras de sedimentos nos três subambientes de praia (pós-praia, frente de praia e face de praia), nos mesmos locais de realização dos perfis topográficos. Em alguns casos, como na Praia do Sahy e na Praia Grande, foram realizadas duas coletas de face de praia a fim de caracterizar diferenças nos sedimentos da porção submarina. Registros inerentes às condições de mar como forma de arrebentação, direção de incidência, altura e período das ondas, foram feitos com base em Laing (1998).

3.3.2 Análise granulométrica dos sedimentos

A análise granulométrica de 133 amostras de sedimentos superficiais de praia foi realizada no Laboratório de Dinâmica da Natureza (LABDIN) da UERJ-FFP. Para quantificar as frações presentes nas amostras de areia foram realizadas as seguintes etapas: (A) lavagem ao longo de três dias consecutivos para a remoção de sais nas areias das praias; (B) secagem em temperatura média de 50°C na estufa laboratorial; (C) selecionamento aleatório de 100 gramas de cada amostra, com o uso de um quarteador tipo Jones; (D) fracionamento das amostras a partir do peneiramento em malhas (4.00, 2.00, 1.00, 0.500, 0.250, 0.125 e 0.062 milímetros), levadas ao agitador por 10 minutos, para a separação das frações correspondentes; e (E) pesagem de cada fração na balança de precisão (Figura 23). Os dados foram processados e

classificados utilizando-se do programa *Gradistat 8.0*, que calcula o grau de selecionamento com base em Folk e Ward (1957) e a classificação granulométrica de acordo com Wentworth (1992) (BLOTT e PYE, 2001).



Figura 23 – Etapas da análise granulométrica das areias

Fonte: A autora, 2023.

A fim de analisar as amostras compostas por areia e lama, foi feita a pesagem de aproximadamente 100g de sedimento e posteriormente realizadas as seguintes etapas: (A) separação das frações por meio de lavagem dos sedimentos sob peneira de 0,063mm; (B) decantação e remoção do excesso de água da amostra; (C) secagem a 60°C em chapa aquecedora, destorroamento e pesagem de 3g do sedimento <0,063mm; (E) adição de 20ml de solução defloculante, preparada em 45g de hexametafosfato de sódio diluídos em 1 litro de água destilada, à amostra e agito das mesmas por 24h; (F) granulometria no Granulômetro Malvern Mastersizer 2000, realizada por difração a laser, no laboratório de Sedimentologia da UFF; além de nova secagem e pesagem do sedimento retido na peneira para determinar a

porcentagem de lama presente na amostra (onde a quantidade de lama = peso inicial + peso final da areia) (Figura 24).



Figura 24 – Etapas da análise granulométrica de lama

Fonte: (A) Pimentel, 2023; (B) Macedo, 2023; (C, D, E) Araújo, 2023 e (F) Vasconcelos, 2016.

3.3.3 Morfoscopia dos sedimentos

A morfoscopia foi realizada no Laboratório de Dinâmica da Natureza (LABDIN) da UERJ-FFP, através da contagem e análise de 100 grãos de quartzo correspondentes a fração areia média (0,250 mm), em cada uma das 70 amostras de sedimentos coletadas no verão (2022 e 2023) e inverno (2022). A classificação dos grãos foi feita com base em Tucker (2003) (Figura 25), por meio de lupa binocular, no software *Image View* (Figura 26).

Esse tipo de análise consiste em caracterizar os grãos de quartzo através da observação de sua forma (variações na proporção), arredondamento (grau de curvatura dos cantos) e textura superficial (polida ou fosca) (BOGGS, 2006). A forma é uma característica herdada da natureza de cada grão; assim como pela intensidade do transporte, que os desgasta e altera suas formas

originais (BOGGS, 2006; NICHOLS, 2009). O arredondamento se dá em função da composição e do tamanho do grão, como da distância e tipo de transporte sofrido (BOGGS, 2006). As diferentes texturas se originam pela abrasão durante o transporte, por corrosão química ou polimento das irregularidades atribuído ao contato entre os grãos (FOLK, 1980; BOGGS, 2006).

Figura 25 - Grau de arredondamento dos sedimentos



Fonte: Tucker, 2003; adaptado por Pinto, 2018.

Figura 26 – Exemplo de análise morfoscópica dos sedimentos realizada em lupa trinocular



Fonte: A autora, 2023.

3.4 Mapeamento da linha de costa

O mapeamento da linha de costa consistiu no georreferenciamento de imagens de satélite disponibilizadas no Google Earth Pro, dos anos de 2010, 2012, 2016, 2018, 2020 e 2022, no software *ArcGIS 10.8*, com erro residual de até 1 m; utilizando-se como base o ortofotomosaico do IBGE (2005). Para as praias Brava e Mambucaba foram encontradas imagens para representação das variações até o ano de 2021. Feições comuns nas imagens de satélite, como estruturas urbanas de destaque na área de estudo, ilhas e canais, foram escolhidos como pontos de controle das coordenadas através da ferramenta "Georreferencing", localizada na barra de ferramentas do software *ArcGIS 10.8* (Figura 27).

A definição do limite da linha de costa é realizada através da interpretação espacial e temporal de indicadores, ou seja, características visualmente discerníveis ou dados de maré (BOAK e TURNER, 2005). A fim de atender às especificidades fisiográficas e morfodinâmicas das praias estudadas, o contato úmido/seco na areia emersa da praia foi o indicador escolhido para representar a linha de costa. Especificamente na praia localizada na Reserva do Sahy, o limite da vegetação com a praia foi o indicador de linha de costa utilizado, em função da estreita faixa de areia e pelo fato de representar as mudanças facilmente observadas pelos moradores da região ao longo dos últimos 14 anos. A vetorização da linha de costa em diferentes anos, a partir das imagens de satélite e ortofotomosaico, foi realizada através de "*Shapefiles*" em escala 1:500, com o intuito de estabelecer as mudanças na posição da praia (Figura 28A).

Figura 27 – Seleção de pontos de controle na Reserva do Sahy para o georreferenciamento das imagens do Google Earth Pro no software ArcGIS 10.8



Fonte: A autora, 2023.

A análise do grau de mobilidade da linha de costa foi realizada através da ferramenta *"Measure"*, a fim de mostrar a distância entre os extremos das linhas de costa (Figura 28B). Com o objetivo de caracterizar as variações da linha de costa, o total das diferenças entre as linhas vetorizadas foi dividido pelo período de tempo analisado (16-17 anos), gerando assim uma média da movimentação anual da linha de costa (m/ano). Os critérios de mobilidade foram baseados na classificação proposta por Luijendijk *et al.* (2018) para praias arenosas, que estabelece as seguintes categorias: acreção (> 0,5 m/ano); estabilidade (-0,5 a 0,5 m/ano); erosão (-1 a -0,5 m/ano); erosão intensa (-3 a -1 m/ano); erosão severa (-5 a -3 m/ano); e erosão extrema (< - 5 m/ano).

Figura 28 – Vetorização e medição das distâncias entre as linhas de costa utilizando o software ArcGIS 10.8



Fonte: A autora, 2023.

3.5 Identificação dos geoindicadores de erosão

Para a identificação das áreas mais suscetíveis à erosão costeira foram observados em campo os geoindicadores de erosão, desenvolvidos por Bush *et al.*, (1999). Esses indicadores são dispostos em sete categorias e classificados em três níveis de suscetibilidade (baixa, média e alta). A cada categoria é atribuído um valor, e a identificação da suscetibilidade, por classes: alta (17 a 21), média (12 a 16) e baixa (7 a 11), conforme adaptado por Pinheiro *et al.*, (2021b) (Tabela 3).

3.6 Tratamento e análise dos dados

Os dados de topografia adquiridos foram processados em uma planilha no *Microsoft Excel*, para consecutiva geração de gráficos representativos dos perfis no programa *Grapher 7*. Cada gráfico possibilita a visualização das mudanças ocorridas na morfologia das praias a cada monitoramento realizado e ao longo das estações do ano. Fora estabelecida cota altimétrica para os locais de início dos perfis, com base na média aritmética obtida a partir do nível médio do mar por ocasião de cada monitoramento.

SUSCETIBILIDADE A EROSÃO									
Geoindicador	Peso 3 - Alta	Peso 2 - Media	Peso 1 - Baixa						
Grau de exposição	Exposta	Semi-Exposta	Protegida						
Vegetação	Árvores estéreis, escassas e caídas	Arbustos e gramíneas bem estabelecidos, sem árvores caídas	Vegetação bem desenvolvida, nenhuma evidência erosiva						
Elevação	3 m	3 - 6 m	> 6 m						
Dunas	Ausentes ou removidas	Baixas ou descontínuas, ocasionalmente destruídas	Altas e vegetadas						
Sobrelavagem	Frequente	Ocasional	Ausente						
Estruturas de engenharia	Numerosas estruturas	Poucas estruturas próximas a praia	Nenhuma						
Características da praia	Estreita e íngreme, déficit de sedimentos	Largura moderada a estreita, com potencial para interrupção do fornecimento de sedimentos	Ampla e plana, bem desenvolvida, com oferta de sedimentos						

Tabela 3 - Geoindicadores de suscetibilidade à erosão costeira

Fonte: Adaptado de Bush et al., 1999.

A realização do cálculo do volume emerso dos sedimentos foi feita através do lançamento dos valores de distância horizontal acumulada e variação vertical ajustada em tabela do *Microsoft Excel*, que expressa o volume total, as perdas e ganhos entre os perfis.

O processamento dos dados granulométricos foi realizado no *Microsoft Excel* e no programa *Gradistat 8.0*, a fim de identificar o grau de selecionamento e a classificação granulométrica de cada amostra. O processamento dos dados de morfoscopia foi desenvolvido através da estruturação de tabelas de análise, referentes ao grau de arredondamento e

composição textural, cuja localização de cada amostra foi representada, seguida de sua classificação.

Os resultados obtidos por meio do mapeamento da linha de costa, realizado no *software ArcGIS 10.8*, foram editados no programa *CorelDraw 2019* para melhor apresentação das variações observadas. Já a identificação dos geoindicadores de erosão costeira, foi devidamente realizada e organizada em tabela no *Microsoft Word*.

4 RESULTADOS

4.1 Variabilidade dos perfis topográficos de praia e dinâmica sedimentar *Praia da Reserva do Sahy*

A praia da Reserva do Sahy (Figuras 1 e 2A) tem cerca de 560 metros, ela está limitada pela via férrea Ramal de Mangaratiba (Estrada de Ferro Central do Brasil) a nordeste e, por afloramentos rochosos a sul. Essa praia está situada dentro do Condomínio Reserva do Sahy, onde existem cerca de 300 construções, dentre elas casas, prédios, restaurantes, pequenos comércios e uma pousada.

Apesar de estar localizada dentro da Baía de Sepetiba, a praia apresenta variações em sua morfologia em função da dinâmica de ondas que entram na baía. As ondas que atingem essa praia são formadas predominantemente pela ação dos ventos locais, com poucos centímetros de altura sob condição de tempo bom, geralmente não ultrapassam 1 metro de altura sob condições de tempestade. Durante momentos de ressaca, associadas à preamar de sizígia, as ondas podem alcançam toda a extensão da faixa de areia emersa da praia, chegando ao limite com a vegetação.

Uma escarpa de tempestade proeminente é observada ao longo de toda a extensão do arco praial, com 1,70 metro de altura e declividade entre 20 e 25° marcando o limite máximo de alcance das ondas de tempestade (Figura 29). A crista da vegetação junto a escarpa erosiva possui uma altura de cerca de 2,5 a 3,2 metros em relação ao nível médio do mar. A largura média da praia foi de 12 metros até a linha d'água, com a mínima de 6 metros e máxima de 17 metros, ambas no inverno (2022), variando 11 metros entre as estações. O perfil praial emerso apresenta declividades entre 3° e 9°, com uma ligeira diminuição do pós-praia para à frente de praia (Figura 29; Tabela 4).

Os perfis topográficos obtidos entre o inverno (2022) e o verão (2023), apontam para um comportamento estável, com variações discretas na largura e na morfologia do perfil em resposta a dinâmica de ondas que entram pelo setor leste da Baía da Ilha Grande. Um recuo de 0,8 metro da escarpa de tempestade foi observado neste período, na área do perfil 3. Com base nos perfis topográficos, Sahy apresenta uma morfologia do tipo côncavo (HEGGE *et al.*, 1996), reto (MAKASKE e AUGUSTINIS, 1998) ou exponencial (TRAVERS, 2007). O volume emerso de sedimentos aponta para um ganho na primavera (2022), com mínima de 6 e máxima de 7 m³/m; sucedido por perdas > 1 m³/m no verão (2023); com destaque para o perfil 3, que apresentou maior perda de areias, com 3,06 m³/m na primavera (2022), seguida por recuperação de 5,30 m³/m no verão (2023) (Figura 29).



Figura 29 – Perfis topográficos e dinâmica sedimentar da Praia da Reserva do Sahy

Fonte: A autora, 2023.

		Localização Latitude / Longitude		Condições de mar			Morfologia				Sedimentologia						
Praias	Perfis		Orientação	H (m) ¹	T (s) ²	Direção	Arrebentação ³	Altura (m)	Largura (m)	Inclinação (P. P.)	Inclinação (F. P.)	Fração j	predominante ⁴	Classificação Wentworth (1922)	Composição ⁵	Morfoscopia	Grau de selecionamento ⁶
Reserva do Sahy	P1	22°56'10.6''S 43°59'24.3''O	N - S	-	-	-	-	2.5	10	4° - 5°	5° - 9°	P.P. F.P. FACE A FACE B	AM/AF AM / AG AG SMG/SF	Areia / Lama Arenosa	Q/MP/F	Subangular/ subarredondado	MBS BS MOS MS
	Р2	22°56'14.3''S 43°59'25.4''O	N - S	-	-	-	-	3	10	5° - 7°	6° - 8°	P.P. F.P. FACE A FACE B	AM / AF AM AG SM/SF	Areia / Areia Lamosa	Q/MP	Subangular/ subarredondado	MBS MBS MBS MS
	Р3	22°56'18.1''S 43°59'23.6''O	N - S	-	-	-	-	2.5	15	4° - 9°	3° - 7°	P.P. F.P. FACE A FACE B	AF AM AM SM/SG/SMG	Areia / Lama	Q/MP/F	Subangular/ subarredondado	MBS MOS MOS MS
Praia do Biscaia	P1	23°01'51.0''S 44°14'08.2''O	N - S	-	-	-	-	1.4	13	6° - 7°	4° - 7°	P.P. F.P. FACE	AF / AM AG / AM AG	Areia	MP/Q/F	Subangular/ subarredondado	MOS MS MS
	Р2	23°01'48.8''S 44°14'08.2''O	N - S	-	-	-	-	1.3	16	3° - 7°	4° - 6°	P.P. F.P. FACE	AM / AF AM AG	Areia	Q/MP/F	Subangular/ subarredondado	MBS MBS MS
	Р3	23°01'45.6''S 44°14'09.1''O	NO - SE	-	-	-	-	1.6	15	4° - 11°	5° - 7°	P.P. F.P. FACE	AM AG AMG	Areia	Q/MP/F/FC	Subangular/ subarredondado	MOS MOS MOS
Praia Grande	P1	23°01'20.7''S 44°20'15.9''O	E - O	-	-	-	-	1.4	22	0° - 4°	6°	P.P. F.P. FACE	AM / AF AM /AG AG / AMG	Areia	Q/MP/F/FC	Subangular/ subarredondado	MOS MBS MS
	Р2	23°01'19.7''S 44°20'21.6''O	E - O	-	-	-	-	1.3	15	0° - 5°	7°	P.P. F.P. FACE	AF / AM AF/AM AG	Areia	Q/MP/F	Subangular/ subarredondado	MOS MBS MS
	Р3	23°01'21.7''S 44°20'30.4''O	NE - SO	-	-	-	-	1.5	13	4° - 7°	6°	P.P. F.P. FACE	AM AF AG	Areia	Q/MP	Subarredondado/ subangular	MS MBS MOS
Praia Brava	P1	23°00'20.9''S 44°28'43.3''O	NE - SO	0,40 - 1,09	11,37 - 19,46	S - SE	P - M	5.2	68	0° - 11°	2° - 12°	P.P. F.P. FACE	AG / AM AF / AM AF / AM	Areia	Q/MP/F/FC	Subangular	MBS MBS MBS
	P2	23°00'26.9''S 44°28'59.2''O	NE - SO	0,50 - 1,15	11,04 - 11,81	S - SE	P - M	5.5	63	0° - 7°	3° - 8°	P.P. F.P. FACE	AM / AG AF AF	Areia	Q/MP/F/FC/O M	Subangular	MBS MBS MOS
Praia de Mambucaba	P1	23°01'37.4''S 44°31'48.3''O	NE - SO	0,65 - 1,25	9,81 - 13,99	S -SE	P - M	4.1	46	3° - 21°	3°- 13°	P.P. F.P. FACE	AM AM AM	Areia	Q/MP/OM	Subangular	BS MBS MBS
	Р2	23°01'50.4''S 44°32'23.0''O	NE - SO	0,62 - 0,96	9,7 - 13,12	S - SE	P - M	4.8	50	0° - 11°	1° - 15°	P.P. F.P. FACE	AM / AG AM / AG AG / AM	Areia	Q/MP/F/FC	Subangular	MBS MBS MBS
	Р3	23°02'06.0''S 44°32'55.1''O	NE - SO	0,48 - 0,91	10,29 - 14,15	S - SE	P - M	3.5	23	0° - 9°	2° - 9°	P.P. F.P. FACE	AM / AF AM AM	Areia	Q/MP	Subangular	BS MBS MOS

Tabela 4 - Características das praias escolhidas para monitoramento

Legenda: ¹ Altura das ondas na zona de arrebentação (em metros); ² Período das ondas (em segundos), ³ Forma de arrebentação predominante, observada nos monitoramentos de campo: M - Mergulhante; P - Progressiva; A - Ascendente. ⁴ Fração Predominante: P.P. - Pós-Praia; F.P. - Frente de praia; FACE - Face de praia; AF - Areia Fina; AM - Areia Média; AG - Areia Grossa; AMG - Areia muito Grossa ⁵ Composição dos sedimentos das praias: Q - Quartzo; F - Feldspato; MP - Mineral pesado; FC - Fragmento de concha; OM - Outros minerais ⁶ Grau de selecionamento: BS - Bem selecionado; MBS - Moderadamente bem selecionado; MOS - Moderadamente selecionado; MS - Mal selecionado. Fonte: A autora, 2023.

Praia do Biscaia

A praia do Biscaia (Figuras 1 e 2B), com aproximadamente 530 metros de extensão, pode ser classificada como "*pocket beach*", pois está limitada por afloramentos rochosos (noroeste e sul); com seu limite interno marcado pela presença de casas e pousadas.

Biscaia está abrigada da dinâmica de ondas que entram na Baía da Ilha Grande, devido a sua localização à retaguarda da Ilha Grande. Nessa praia as ondas também apresentam altura de poucos centímetros sob condição de tempo bom; sob condições de tempestade e associadas a momentos de maré alta de sizígia, essas ondas podem alcançar toda a extensão da faixa de areia emersa, atingindo as estruturas de engenharia localizadas a sua retaguarda, principalmente no setor sul. Essa praia apresenta uma significativa troca de sedimentos entre a porção emersa e submersa da praia, que ocorre de maneira mais expressiva na porção sul da praia; onde ocorre o estreitamento total da faixa de areia emersa em alguns momentos ao longo dos anos, como observado em séries temporais de imagens do Google Earth Pro.

A praia do Biscaia está a uma altura de cerca de 1,4 a 1,6 metro em relação ao nível médio do mar. A largura média da praia é de aproximadamente 14 metros até a linha d'água; com mínima de 12 metros no verão (2023) e máxima de 16 metros na primavera (2022), variando 5 metros entre a mínima e a máxima (Figura 30). A porção emersa da praia apresenta um perfil inclinado para o mar, com declividade entre 4° e 11° (Figura 30; Tabela 4).

Os perfis topográficos mostram um comportamento de estabilidade, são bem homogêneos na porção emersa e apresentam variações discretas na morfologia da face de praia, em função da baixa dinâmica das ondas. A classificação da morfologia utilizada em praias de baixa energia não se aplica a esta praia, devido ao elevado grau de alteração da mesma.

O volume emerso de sedimentos aponta para uma condição de equilíbrio, com média de volume total de 12,5 m³/m. O ganho de sedimentos foi predominante em todos os perfis, com mínima de 0,01 m³/m (verão 2023) e máxima de 0,84 m³/m (primavera 2022); perda foi observada apenas no perfil 2, de 0,06 m³/m (primavera 2022), seguida por ganho de 0,72 m³/m (verão 2023) (Figura 30).



Figura 30 – Perfis topográficos e dinâmica sedimentar da Praia do Biscaia

Fonte: A autora, 2023.

Praia Grande

A praia Grande (Figuras 1 e 2C) é a menor dentre as praias estudadas, com apenas 510 metros de extensão. Essa praia também pode ser classificada enquanto "*pocket beach*", pois está entre afloramentos rochosos (sudoeste e leste). O limite interno da praia é marcado pela presença de pousadas, casas e clubes. Esta praia está abrigada da dinâmica de ondas que entram na Baía da Ilha Grande, graças à proteção ocasionada pela presença da Ilha Grande (Figura 1). Tal qual observado nas praias da Reserva do Sahy e do Biscaia, na praia Grande as ondas atingem poucos centímetros de altura sob condição de tempo bom, e geralmente não ultrapassam1 metro de altura sob condições de tempestade.

O início do perfil da praia está a uma altura de cerca de 1,4 a 1,5 metro em relação ao nível médio do mar. A largura média da praia foi de aproximadamente 17 metros até a linha d'água, com largura mínima de 10,7 metros (verão 2023) e máxima de 24 metros (inverno 2022), um total de 13 metros de diferença entre as estações. O perfil emerso da praia está suavemente inclinado em direção ao mar, apresentando declividade entre 0° e 7° (Figura 31; Tabela 4).

Os perfis topográficos são homogêneos entre as estações, com poucas variações em direção a porção submersa da praia; com destaque apenas para o perfil 1, onde pode se observar variações entre o inverno e a primavera de 2022 (Figura 31). Os resultados obtidos com o cálculo do volume emerso de sedimentos mostram uma tendência de estabilidade, com uma média de 25 m³/m no perfil 1 e de 15m³/m nos perfis 2 e 3. O ganho de sedimentos apresentou mínima de 0,84 m³/m (primavera 2022) e máxima de 3,35 m³/m (verão 2023). A variação morfológica observada no setor leste da praia Grande foi elucidada através da perda de 6,64 m³/m na primavera (2022), seguida pelo ganho de 3,35 m³/m no verão (2023) (Figura 31).





Fonte: A autora, 2023.

Praia Brava

A praia Brava (Figuras 1 e 2D) tem cerca de 1 quilômetro de extensão; é limitada por afloramentos rochosos (nordeste e sudoeste), e por calçadão junto ao seu limite interno. Ela está localizada dentro da Vila Residencial de Praia Brava, pertencente à Eletronuclear, onde residem os trabalhadores da Usina Nuclear, instalada na década de 1970, em Angra dos Reis.

A praia está situada dentro da Baía da Ilha Grande e posicionada de frente para o Oceano Atlântico, sendo, portanto exposta às ondas que entram na baía entre a borda oeste da Ilha Grande e a Ponta de Juatinga em Paraty. A altura das ondas na arrebentação atingiu média geral de 0,7 metro; sob condição de mar calmo essas ondas apresentam altura média de 0,5 metro, e de 1,5 metro quando associadas à condição de tempestade (Tabela 4). A forma de arrebentação predominante é do tipo progressiva (*spilling*), seguida por mergulhante (*plunging*). As ondas incidem quase sempre dos quadrantes sul e sudeste sob condição de tempo bom, com período médio entre 11 e 19 segundos (Tabela 4). Correntes de retorno vigorosas são facilmente observadas na praia e podem estar associadas às depressões existentes na zona submarina perpendicular à linha d'água (Figura 32). A corrente de deriva litorânea parece predominar para nordeste, como observado nos 5 monitoramentos realizados entre 2022 e 2023.

A praia está a uma altura de cerca de 5,2 a 5,5 metros em relação ao nível médio do mar. A largura média da praia variou de 63 metros (setor sudoeste) a 68 metros (setor nordeste) até o alcance médio das ondas, com mínima de 50,5 metros (verão 2023) e máxima de 88 metros (verão 2022). Uma extensa berma marca o pós-praia, com declive entre 0° e 11°, enquanto a frente de praia exibiu um perfil inclinado com cerca de 2°-12° (Tabela 4). Os perfis topográficos mostram que o setor nordeste da praia Brava apresentou variações significativas, tanto na largura quanto na morfologia; no entanto, mostrou-se mais estável quando comparado ao setor sudoeste. Essas variações, no entanto, estão mais diretamente restritas à zona de intermaré; no pós-praia, os perfis são homogêneos e apontam para uma estabilidade nos primeiros 25 metros de faixa de areia (Figura 32).

O volume emerso de sedimentos mostrou uma tendência de estabilidade, com média de 213,72 m³/m. O perfil 1, sofreu perdas no outono e inverno (2022) de 33,64 e 30,51 m³/m, respectivamente, seguidas por ganhos na primavera (2022) e verão (2023) de 21,53 e 19,01 m³/m, respectivamente. No perfil 2, perdas foram observadas no outono e inverno (2022), de 4,56 e 18,90 m³/m, respectivamente; seguidas por ganho de 20,14 m³/m na primavera (2022), e nova perda de 34,06 m³/m no verão (2023) (Figura 32).





Fonte: A autora, 2023.

Praia de Mambucaba

Mambucaba é a maior praia estudada na região, com cerca de 3 quilômetros de extensão, sendo limitada pelo Rio Mambucaba (nordeste), por afloramentos rochosos (sudoeste) e um calçadão no limite interno da praia (Figuras 1 e 2E). Essa praia está situada dentro da Vila Operária de Mambucaba, onde também residem trabalhadores da Usina Nuclear de Angra dos Reis.

O arco praial de Mambucaba, apesar de localizado dentro da Baía da Ilha Grande, é o mais exposto à dinâmica de ondas, devido a sua localização frontal à entrada na baía de ondulações formadas ao largo e sob diferentes condições de mar, inclusive de tempestades. Na praia, as ondas apresentaram altura média de 0,7 metro sob condições normais, e cerca de 2 ou mais metros sob condição de mar agitado. O período médio das ondas registrado foi de 12,11 segundos, provenientes principalmente do quadrante S/SE, com forma de arrebentação do tipo progressiva (*spilling*), seguida de mergulhante (*plunging*) (Tabela 4). Nessa praia foram observadas correntes de retorno e de deriva litorânea proeminentes, no verão, outono e primavera (2022), em direção ao setor nordeste do arco praial.

A praia apresenta altura média de 3,5 a 4,8 metros em relação ao nível médio do mar. A largura média da praia emersa foi de cerca de 46 metros (setor nordeste), 50 metros (meio do arco praial) e 23 metros (setor sudoeste) até o alcance médio das ondas. O pós-praia é marcado por uma extensa berma no setor nordeste (21-32 metros) e no meio do arco praial (24 metros), com aumento da declividade em direção à frente de praia (1-15°), onde ocorrem as maiores variações na morfologia (Tabela 4).

Os perfis topográficos obtidos mostram que a praia de Mambucaba apresenta dinâmica mais acentuada que as demais praias estudadas (Figura 29). O setor nordeste (perfil 1), apresentou às maiores variações na largura da praia entre as estações com cerca de 27 metros entre a mínima de 36 metros (outono 2022) e máxima de 62,7 metros (primavera 2022). A porção central (perfil 2) variou 19 metros entre a mínima de 39,5 metros (outono 2022) e máxima de 58,5 metros (verão 2022). O setor sudoeste da praia (perfil 3) foi o que apresentou a menor largura da praia, com uma média de apenas 23 metros entre o início da faixa de areia e a linha d'água; variando 17 metros entre a mínima de 15 metros (inverno 2022) e máxima de 32 metros (verão 2022). Este setor mostrou-se mais susceptível às variações decorrentes da entrada de ondas na baía, responsáveis pela rápida redução na largura e altura do perfil, quando associadas à condição de tempestade; como observado principalmente no outono (2022). As correntes de deriva litorânea vindas de sudoeste, como observado por ocasião dos
monitoramentos, podem também ser responsáveis pela largura reduzida na área do perfil 3, com concomitante aumento da largura para nordeste.

O volume emerso de sedimentos ao longo do arco praial mostrou uma tendência de variações expressivas entre a mínima de 60,5 m³/m e a máxima de 192,13 m³/m. A praia apresentou perdas durante o outono (2022), cuja mínima foi de 26,12 m³/m e máxima de 42,25 m³/m, com posterior recuperação no inverno e primavera (2022). Tais variações supriram as perdas do perfil 1, mas não aquelas identificadas na área dos perfis 2 e 3 (Figura 33).



Figura 33 – Perfis topográficos e dinâmica sedimentar da Praia de Mambucaba

Fonte: A autora, 2023.

4.2 Textura dos sedimentos

Praia da Reserva do Sahy

Os sedimentos da praia da Reserva do Sahy são predominantemente arenosos, com presença significativa de lama na porção submarina (Tabela 4; Figura 34). No pós-praia dos perfis 1 e 2 predominam areias média (44-74%) a fina (20-51%); no perfil 3 predomina areia fina (31-81%), seguida por areia média (14-31%). Na frente de praia dos perfis 1 e 2, predominam areia média (16-88%) a grossa (7-42%), com menores quantidades de areia muito fina e muito grossa. No perfil 3 o predomínio é de areia média (35-61%), seguida por areia fina (11-56%) e areia grossa (7-29%), com presença de areia muito grossa (0,8-6,3%) em todas as estações analisadas (Tabela 4; Figura 34).

Na face de praia (A) dos perfis 1 e 2, até cerca de 12 metros da linha d'água e a profundidades inferiores a 1,2 metro, predominam areia grossa (15-65%), com areia média (5-54%) e areia muito grossa em menores quantidades (2-27%). Na área do perfil 3 predomina areia média (20-55%), seguida por areia fina (26-28%); presença de areia grossa (60%) e muito grossa (18%) teve destaque no inverno (2022). A partir de 12-15 metros da linha d'água (face de praia B), constatou-se uma alternância entre sedimentos finos e grossos. No perfil 1 foi encontrada lama arenosa (73% de finos e 27% de areia), com o predomínio de silte médio a fino, na primavera (2022); areia (92%) predominantemente grossa com presença de lama (8%) foi encontrada no verão (2023). No perfil 2, há presença de areia lamosa, com o predomínio de areia (51%) variando entre a fração média e muito fina, e de lama (49%) variando entre silte médio a fino, na primavera (2022); areia (94%), predominantemente grossa com presença de lama (6%), indo de silte médio a fino, foi encontrada no verão (2023). No perfil 3 também houve o predomínio de areia (96%) de média a fina, com presença de lama (4%) entre silte muito grosso e médio, na primavera (2022) (Tabela 4; Figura 34).

Quanto ao grau de selecionamento dos grãos, segundo a classificação de Folk e Ward (1957), os sedimentos são muito bem a moderadamente selecionados (perfil 1 e 3) e muito bem selecionados (perfil 2); com mal selecionamento da face de praia (B), em todos os setores. Os resultados da análise morfoscópica dos grãos de areia média (WENTWORTH, 1922) mostraram predomínio de brilho vítreo (70-86%) e grau de arredondamento majoritariamente subangular (38-55%) a subarredondado (25-50%) (Tabela 4, Figura 35). As observações quanto à composição dos sedimentos apontam para o predomínio de grãos de

quartzo, com presença de feldspato, fragmentos de concha e de minerais pesados, mais facilmente observados na face de praia (Tabela 4; Figura 35).



Fonte: A autora, 2023.





Fonte: A autora, 2023.

Praia do Biscaia

Na praia do Biscaia a granulometria dos sedimentos expôs um gradativo aumento do pós-praia em direção à porção submarina (Tabela 4; Figura 36). Nessa praia a contribuição fluvial desempenha um papel importante, principalmente em sua porção sul, onde deságuam pequenos riachos que formam pequenos deltas junto a faixa de areia da praia.

No pós-praia do perfil 1 predominam areias fina (35-48%) a média (29-50%); no perfil 2, areias média (56-64%) a fina (24-35%) com presença significativa de areias grossa (3-9%) e muito fina (2-4%); enquanto no perfil 3, areia média (41-46%) a grossa (17-37%), com presença de areia fina (13-33%) e muito grossa (1-8%) em menores quantidades (Tabela 4; Figura 36).

Na frente de praia dos perfis 1 e 3 há o predomínio de areias grossa (24-69%) a média (5-40%), com significativa presença de areia muito grossa (3-26%) e cascalho (2-11%). O perfil 2 é composto predominantemente por areia média (56-62%); marcado por grande presença de areia grossa (35%) no inverno (2022), e de areia fina (31%) na primavera (2022) (Tabela 4; Figura 36).

Na face de praia do perfil 1 predomina areia grossa (11-50%), seguida de areia muito grossa (18-23%), com presença de areia média (9-15%) e cascalho (1-8%); um expressivo surgimento de areia muito fina (34%) e de frações < 0,063 mm (5%), foi observado no verão (2023). No perfil 2 predomina areia grossa (31-50%) seguida de areia muito grossa (13-23%), com presença marcante de areia média (9-35%) e de cascalho (1-7%); areia fina (10%) foi encontrada na primavera (2022). No perfil 3 predomina areia muito grossa (36%) a grossa (20-44%), com grande quantidade de cascalho (11-30%) (Tabela 4; Figura 36).

As areias da praia do Biscaia apresentam grau de selecionamento moderado no póspraia e pobremente selecionado na frente e face de praia no perfil 1; muito bom no pós-praia e na frente de praia, mas pobremente selecionado na face de praia no perfil 2; e grau moderado de seleção em todos os subambientes de praia no perfil 3. A morfoscopia destacou o predomínio de grãos com brilho vítreo (71-87%), com grau de arredondamento subangular (39-56%) a subarredondado (29-46%) (Tabela 4; Figura 37). Seus grãos são majoritariamente quartzosos, porém há substancial predomínio de minerais pesados, principalmente na face de praia (perfil 1); feldspatos, fragmentos de concha e outros minerais foram observados em todos os subambientes e em todos os setores da praia (Tabela 4; Figura 37).



Fonte: A autora, 2023.



Figura 37 – Morfoscopia dos sedimentos da Praia do Biscaia

Fonte: A autora, 2023.



Praia Grande

A Praia Grande é constituída por sedimentos com tamanhos distintos ao longo de sua extensão (Tabela 4; Figura 36). No pós-praia dos perfis 1 e 3 predomina areia média (37-66%) a fina (18-37%); no perfil 2, areia fina (53-58%) a média (32-34%). Em todos os perfis há presença de menores quantidades de areia grossa (15-38%) e de areia muito fina (3-8%) (Tabela 4; Figura 38).

Na frente de praia do perfil 1 predomina areia média (34-71%) a grossa (2-57%), com menor quantidade de areia muito grossa (5-7%); areia fina (13%) e muito fina (10%) foram observadas no inverno (2022), assim como cascalho (2%) no verão (2023). Na frente de praia dos perfis 2 e 3 predomina areia fina (33-81%) a média (11-61%); areia muito fina (3-8%) aparece no inverno (2022) e verão (2023) e, areia grossa (58-63%), muito grossa (4-28%) e cascalho (4%) na primavera (2022) (Tabela 4; Figura 36).

Na face de praia dos perfis 1 e 3 o predomínio é de areia grossa (41-56%) a muito grossa (18-38%), com marcante presença de cascalho (2-10%) e de areia média (5-24%). No perfil 2 predomina areia grossa (55-61%), seguida por areia média (17-31%), com menor quantidades de areia muito grossa (5-8%) e fina (2-11%). Areia muito fina aparece na primavera (2022) do perfil 2 (7%) e no verão (2023) do perfil 1 (12%) (Tabela 4; Figura 38).

O selecionamento dos grãos é moderado no pós-praia, muito bom na frente de praia e pobre na face de praia (perfis 1 e 2). No perfil 3 o pós-praia é pobremente selecionado, a frente de praia muito bem selecionada e a face de praia apresenta selecionamento moderado. A morfoscopia revelou o predomínio de brilho vítreo (75-88%), com grau de arredondamento de subangular (42-59%) a subarredondado (23-49%) nos perfis 1 e 2; e de subarredondado (40-51%) a subangular (29-47%) no perfil 3 (Tabela 4; Figura 39). Os sedimentos que compõem essa praia são predominantemente quartzosos, mas também são encontrados feldspatos, fragmentos de concha e outros minerais (Tabela 4; Figura 39).



Fonte: A autora, 2023.



Figura 39 – Morfoscopia dos sedimentos da Praia Grande

Fonte: A autora, 2023.

Praia Brava

Na praia Brava, o pós-praia do perfil 1 é predominado por areias grossa (5-52%) a média (38-54%) e o perfil 2, por areia média (40-60%) a grossa (28-49%). Areias fina (7-9%) e muito grossa (1-3%) aparecem em menor quantidade, em ambos os perfis, por todas as estações analisadas (Tabela 4; Figura 40).

Na frente de praia dos dois perfis predominou areia fina (13-67%) a média (17-65%), com expressiva presença de areia grossa (5-21%) no outono e inverno (2022); e de areia muito fina (2-14%) no verão e primavera (2022). Uma menor quantidade de areia muito grossa (1-4%) foi encontrada em ambos os perfis, no outono e inverno (2022) (Tabela 4; Figura 40).

Na face de praia do perfil 1 predomina areia média (41-54%) a fina (14-62%), com significativa presença de areia muito fina (7-18%) no verão e primavera (2022) e de areia grossa (9-25%) no outono e primavera (2022). No perfil 2 a face de praia tem predomínio de areia fina (47-54%) a média (20-31%), com expressiva presença de areia muito fina (4-22%) e menor de areia grossa (2-6%) (Tabela 4; Figura 40).

O grau de selecionamento dos grãos é muito bom no pós-praia e na frente de praia; enquanto na face de praia é muito bom (perfil 1) e moderado (perfil 2). A análise morfológica destacou o predomínio de sedimentos com brilho vítreo (72-95%) e grau de arredondamento subangular (45-60%) em todos os setores (Tabela 4, Figura 41). Nessa praia foi encontrada a maior diversidade de sedimentos, cujo predomínio foi de areia quartzosa, seguida por minerais pesados, feldspatos, fragmentos de concha e outros minerais em todas as divisões do ambiente praial (Tabela 4; Figura 41).





Fonte: A autora, 2023.



Fonte: A autora, 2023.

Praia de Mambucaba

Na praia de Mambucaba há um predomínio de areia média (47-78%) a grossa (3-47%) no pós-praia e na frente de praia dos perfis 1 e 2, com menor quantidade de areia fina (2-48%) em todas as estações do ano. O perfil 3 é caracterizado pelo predomínio de areia média (45-77%) a fina (4-47%) no pós-praia e na frente de praia. Areia muito fina (4-6%) foi encontrada na frente de praia dos perfis 1 e 3, no verão (2022).

A face de praia apresentou predomínio distinto ao longo do arco praial. No perfil 1 predomina areia média (19-78%) a grossa (12-29%), com presença de areia fina (11-33%) e menor quantidade de areia muito grossa (1-4%). No perfil 2 o predomínio é de areia grossa (13-66%) a média (19-57%). No perfil 3 as frações vão de areia média (43-67%) a fina (16-35%), com presença de areia grossa (7-14%). Quantidade expressiva de areia muito grossa (14%) foi observada no outono (2022) e de areia fina (27%) na primavera (2022), na face de praia do perfil 2; durante a primavera (2022) areia muito fina (13%) foi encontrada na face de praia do perfil 3 (Tabela 4, Figura 42).

As areias da praia de Mambucaba são muito bem a bem selecionados no pós-praia; muito bem selecionados na frente de praia e foram de muito bem (perfis 1 e 2) a moderadamente selecionadas na face de praia (perfil 3). A análise morfoscópica destacou o predomínio de sedimentos com brilho vítreo (81-95%) e grau de arredondamento subangular (39-56%) em todos os setores (Tabela 4, Figura 43). Os sedimentos são predominantemente compostos por grãos de quartzo, seguidos por minerais pesados e outros minerais, no pós- praia e na frente de praia (Tabela 4; Figura 43).



Figura 42 – Granulometria da Praia de Mambucaba

Fonte: A autora, 2023.

Figura 43 – Morfoscopia dos sedimentos da Praia de Mambucaba



Fonte: A autora, 2023.

88

4.3 Geoindicadores de erosão costeira

Os geoindicadores de erosão costeira refletem os processos que vêm atuando em escalas temporais distintas nas praias estudadas (Bush *et al.*, 1999). A aplicação dos geoindicadores de erosão permitiu identificar, em termos gerais, que as praias estudadas apresentam um nível de suscetibilidade à erosão costeira que varia de: médio (12-16 pontos), atribuído às praias da Reserva do Sahy, Biscaia, Grande, Brava e Mambucaba (área dos perfis 1 e 2); a alto, considerando-se a área do perfil 3 de Mambucaba (17-21 pontos) (Tabela 5).

No tocante ao grau de exposição, três das praias estudadas podem ser consideradas protegidas em relação à incidência direta de ondas de tempestades, são elas as praias da Reserva do Sahy (à retaguarda da Ilha da Marambaia), Biscaia e Grande (à retaguarda da Ilha Grande). As praias Brava e de Mambucaba são consideradas semi-expostas pois, embora localizadas dentro da Baía da Ilha Grande, estão posicionadas de frente para o Oceano Atlântico, na entrada oeste da baía.

Árvores de pequeno porte, arbustos e gramíneas constituem a vegetação observada na praia da Reserva do Sahy (Figura 44A). Nas demais praias, essa vegetação é inexistente ou introduzidas (exóticas). O maior grau de elevação frente ao nível médio do mar está entre 3,5 a 5,5 metros, correspondendo às praias Brava (Figura 32) e de Mambucaba (Figura 33), respectivamente. Nas demais praias, a altura de início do perfil praial está entre 1,4 e 3,2 metros em relação ao nível médio do mar (Figuras 29 a 31). Em todas as praias estudadas há ausência de dunas. Não foram verificadas evidências do processo de sobrelavagem por ondas.

A praia da Reserva do Sahy é a que apresenta a menor quantidade de estruturas rígidas próximas da praia, nela estão dispostos um píer, um abrigo com bancos e dois enrocamentos (Figura 44A). Nas praias Brava (Figura 44D) e de Mambucaba (Figura 44E) muitas construções estão dispostas no limite da praia e a poucos metros de distância do mesmo, tais como um abrigo com mesa e bancos, casas, escola, clubes, etc. Nas praias do Biscaia (Figura 44B) e Grande (Figura 44C) inúmeras estruturas podem ser encontradas junto ao limite da praia e/ou mesmo dentro da faixa de areia, como por exemplo pousadas, restaurantes e casas.

No tocante às características das praias, a praia Brava é a mais extensa (50 - 80 metros) e exibe uma morfologia predominantemente plana na área do pós-praia. As praias do Biscaia e Grande são estreitas (cerca de 13 e 24 metros, respectivamente) e de baixa energia, sujeitas a baixa troca de sedimentos entre a porção emersa e submersa. A praia da Reserva do Sahy é a mais estreita (10 - 15 metros) e mais íngreme (3 - 30°), e apresenta déficit de sedimentos evidenciado pela tendência erosiva e recuo da linha de costa no setor sul da praia. A praia de Mambucaba exibiu uma largura média de 46 e 50 metros nos perfis 1 e 2, respectivamente, e 23 metros na área do perfil 3; com declividades que variam entre 1 e 15° nos perfis 1 e 2, e 9° no perfil 3. Tais características permitem classificar a praia de Mambucaba (perfis 1 e 2) como moderadamente susceptível à erosão, exceto no setor sudoeste (perfil 3) onde a suscetibilidade à erosão foi considerada como elevada.



Figura 44 – Presença de estruturas de engenharia próximas às praias

Fonte: (A) Pousada da Reserva do Sahy, 2022; (B) Expedia, 2024; (C) SILVA, 2023; (D) 123Viagem, 2024 e (E) O Dia, 2023.

GRAU DE SUSCETIBILIDADE A EROSÃO						
Geoindicador	Reserva do Sahy	Praia do Biscaia	Praia Grande	Praia Brava	Praia de Mambucaba (Perfis 1 e 2)	Praia de Mambucaba (Perfil 3)
Grau de exposição	Protegida (1 ponto)	Protegida (1 ponto)	Protegida (1 ponto)	Semi-Exposta (2 pontos)	Semi-Exposta (2 pontos)	Semi-Exposta (2 pontos)
Vegetação	Arbustos e gramíneas bem estabelecidos, sem árvores caídas (2 pontos)	Árvores estéreis, escassas e caídas (3 pontos)	Árvores estéreis, escassas e caídas (3 pontos)	Árvores estéreis, escassas e caídas (3 pontos)	Árvores estéreis, escassas e caídas (3 pontos)	Árvores estéreis, escassas e caídas (3 pontos)
Elevação	3 m (3 pontos)	3 m (3 pontos)	3 m (3 pontos)	3 - 6 m (2 pontos)	3 - 6 m (2 pontos)	3 - 6 m (2 pontos)
Dunas	Ausentes ou removidas (3 pontos)	Ausentes ou removidas (3 pontos)	Ausentes ou removidas (3 pontos)	Ausentes ou removidas (3 pontos)	Ausentes ou removidas (3 pontos)	Ausentes ou removidas (3 pontos)
Sobrelavagem	Ausente (1 ponto)	Ausente (1 ponto)	Ausente (1 ponto)	Ausente (1 ponto)	Ausente (1 ponto)	Ausente (1 ponto)
Estruturas de engenharia	Poucas estruturas próximas a praia (2 pontos)	Numerosas estruturas próximas a praia (3 pontos)	Numerosas estruturas próximas a praia (3 pontos)	Numerosas estruturas próximas a praia (3 pontos)	Numerosas estruturas próximas a praia (3 pontos)	Numerosas estruturas próximas a praia (3 pontos)
Características da praia	Estreita e íngreme, déficit de sedimentos (3 pontos)	Largura moderada a estreita, com potencial para interrupção do fornecimento de sedimentos (2 pontos)	Largura moderada a estreita, com potencial para interrupção do fornecimento de sedimentos (2 pontos)	Ampla e plana, bem desenvolvida, com oferta de sedimentos (1 ponto)	Largura moderada a estreita, com potencial para interrupção do fornecimento de sedimentos (2 pontos)	Estreita e íngreme, déficit de sedimentos (3 pontos)
Total de pontos:	15 pontos	16 pontos	16 pontos	15 pontos	16 pontos	17 pontos

Tabela 5 - Geoindicadores de suscetibilidade à erosão costeira nas praias estudadas, adaptados de Bush et al. (1999)

Fonte: A autora, 2023.

4.4 Mapeamento da linha de costa

Praia da Reserva do Sahy

O mapeamento da linha de costa na praia da Reserva do Sahy permitiu observar as principais mudanças ocorridas entre 2005 e 2022 (Figura 45A). Esse período coincide com uma fase de expansão imobiliária da Reserva do Sahy (com base em imagens do Google Earth Pro). Ao longo dos anos analisados, a porção nordeste da praia mostrou-se mais estável, com as menores variações na linha de costa, geralmente inferiores a 1 metro (Figura 45A).

Nas comparações temporais entre 2005 e 2022, a porção central da praia da Reserva do Sahy parece ter aumentado cerca de 10 metros na área proximal ao píer, com taxa de variação de (+) 0,6 m/ano, exibindo uma tendência de acreção. Nos anos entre 2010 e 2022, no setor centro-sul da praia, próximo ao enrocamento, foi observado o maior recuo da linha de costa desta porção da praia, que corresponde a 15 metros, em 12 anos, com uma taxa de (-) 1,25m/ano, o que sugere uma tendência erosiva (Figura 45A). A porção sul da praia expôs uma sequência de recuos entre 2005 e 2022, intercalados por momentos de estabilidade, que totalizaram uma perda de cerca de 9 metros, com uma taxa de (-) 0,5 m/ano, o que sugere o predomínio de uma tendência erosiva nesse setor (Figura 45A).

Praia do Biscaia

O mapeamento da linha de costa em Biscaia mostrou momentos de avanço e recuo ao longo desses 17 anos, que são aqui interpretados como resultado da dinâmica natural desse ambiente (Figura 45B). Ao comparar a posição inicial da linha de costa (2005) e a registrada em 2022, observou-se que as porções noroeste e sul foram acrescidas 6 metros, em 17 anos, com uma taxa de acreção de (+) 0,3 m/ano. A porção central aumentou 8 metros a uma taxa em torno de (+) 0,4 m/ano, mostrando uma tendência de estabilidade para essa praia, segundo a classificação proposta por Luijendijk *et al.* (2018) (Figura 45B).

Praia Grande

Assim como na praia do Biscaia, o avanço e recuo da linha de costa na praia Grande ao longo de todo período analisado, faz parte da dinâmica natural desse ambiente. De 2005 à 2022 a configuração da linha de costa passou por acreção aproximada de 11 metros a leste, 5 metros na porção central e 7 metros a sudoeste; com taxa de variação entre (+) 0,3 e (+) 0,6 m/ano, exibindo tendências de estabilidade e acreção (Figura 45C).



Figura 45 – Mapeamento da linha de costa das praias estudadas no Sul Fluminense

Fonte: A autora, 2024.

Praia Brava

A comparação entre as posições da linha de costa ao longo dos anos entre 2005 e 2021 permitiu observar um aumento de 10 metros no setor nordeste da praia, a uma taxa de variação de cerca de (+) 0,6 m/ano. O aumento na largura da praia, de aproximadamente 14 metros, foi também observado na porção sudoeste, a uma taxa de variação de (+) 0,8 m/ano, mostrando uma tendência de acreção da praia (Figura 45D).

Praia de Mambucaba

O mapeamento da linha de costa em Mambucaba entre 2005 e 2021 aponta para um acréscimo de 15 metros no setor sudoeste e, de 8 metros na porção central; assim como, a perda de 4 metros no extremo nordeste (Figura 44E). As taxas de variação da linha de costa foram de (+) 0,9 m/ano na porção sudoeste, (+) 0,5 m/ano na porção central, exibindo uma tendência de acreção nesses setores. No extremo nordeste a taxa de variação é de (-) 0,2 m/ano, que pode estar associada à variabilidade natural da praia (Figura 45E).

4.5 Ocorrência de ressacas entre março (2022) e setembro (2023)

Aproximadamente 33 eventos de ressaca marcaram o período entre março (2022) e setembro (2023) no litoral do estado do Rio de Janeiro. Esses registros foram obtidos através dos avisos de mau tempo, emitidos pelo Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil. O inventário desses eventos mostra uma maior quantidade de ressacas entre os meses de março a maio e de agosto a setembro de 2022 e entre abril e agosto de 2023 (Figura 46), com duração média de 1 a 3 dias. A análise dos dados mostrou um predomínio de altura das ondas ao largo entre 2,5 e 3 metros (Figura 47), com direções provenientes principalmente de sudoeste-sudeste e atingindo majoritariamente o litoral entre Santos (SP) e Arraial do Cabo (RJ).



Figura 46 – Frequência de eventos de ressaca no Rio de Janeiro entre março (2022) e setembro

Fonte: A autora, 2024; com dados do Centro de Hidrografía da Marinha do Brasil.

Figura 47 – Altura das ondas de tempestade registradas no Rio de Janeiro entre março (2022) e setembro (2023)



Fonte: A autora, 2024; com dados do Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil.

5 DISCUSSÃO

Dentre os principais processos que ocorrem na área de estudo destacam-se a entrada de ondas que atingem algumas praias no interior das baías; as correntes de maré, que podem também assumir um importante papel na dinâmica de transporte de materiais; além, da influência de pequenos riachos que desaguam diretamente nas praias, contribuindo para o aporte sedimentar (GODOI *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2021a). Tais processos interferem diretamente na resposta morfológica e sedimentação de praias situadas no litoral Sul Fluminense (SILVA *et al.*, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2021a).

A diferença no nível de energia das ondas que atingem as praias estudadas está diretamente associada à localização e orientação de cada praia dentro da baía, assim como pela direção das ondas incidentes e a forma como essas entram nas baías de Sepetiba e Ilha Grande, como destacado anteriormente por Silva *et al.* (2020) e Pinheiro *et al.* (2021a) para as praias abrigadas na Ilha Grande e Paraty, respectivamente. A entrada de ondas nas baías ocorre principalmente pelos setores oeste e leste da Ilha Grande, quando são influenciadas pela Ilha da Marambaia e por um conjunto de ilhas menores. Essas ondas alcançam as praias localizadas no interior das baías de forma diferenciada, incidindo com maior energia naquelas localizadas frontalmente a entrada de ondas pelos flancos leste e oeste da Ilha Grande.

Entre as praias estudadas, a dinâmica, com base na variabilidade sazonal na morfologia e na largura, aponta para níveis distintos de susceptibilidade às mudanças nas condições de mar: as praias da Reserva do Sahy, Biscaia e Grande exibiram variações sazonais discretas; a praia Brava apresentou variações consideradas moderadas; Mambucaba exibiu as maiores variações entre as estações do ano (Figura 48). Os diferentes níveis de variabilidade morfológica observados tem por base a comparação entre as praias monitoradas e àquelas estudadas por Silva *et al.* (2020) na Ilha Grande e por Pinheiro *et al.* (2021a) no setor oeste da Baía da Ilha Grande, em Paraty.

No setor oeste da Baía da Ilha Grande, as praias abrigadas de Paraty são em grande parte submetidas a uma baixa hidrodinâmica; porém, algumas delas, como a Prainha, Taquari e São Gonçalo apresentam registros de tempestades em decorrência da transposição de ondas de alta energia durante as ressacas (PINHEIRO *et al.*, 2021a). Na Ilha Grande, as praias abrigadas na face norte da ilha também exibem comportamento semelhante: baixa hidrodinâmica, porém com algumas praias susceptíveis à incidência de ondas de tempestade, como observado em Pouso e Abraão (SILVA *et al.*, 2020).



Figura 48 – Dinâmica das praias estudadas com base na variabilidade sazonal dos perfis topográficos

Fonte: A autora, 2023.

Entre as praias estudadas a Reserva do Sahy, Biscaia e Grande são consideradas as mais geograficamente abrigadas da incidência de ondas, e isso se deve à presença da restinga da Marambaia (no caso do Sahy) e da Ilha Grande (em relação às demais). A semelhança entre perfis topográficos de praia obtidos em diferentes momentos (estações do ano) reflete uma condição de baixa hidrodinâmica, com poucas trocas sedimentares entre a praia e as áreas adjacentes, incluindo a porção submarina (JACKSON *et al.*, 2002; VILA-CONCEJO *et al.*, 2020). Mesmo abrigadas e quase sempre sujeitas a uma baixa energia, praias com tais características podem também ser atingidas por ondas de tempestade, como ocorre também com algumas praias na Baía de Guanabara (SILVA *et al.*, 2016), na borda sul da Ilha Grande (SILVA *et al.*, 2020) e na praia de Jabaquara em Paraty (PINHEIRO *et al.*, 2021a). O recuo de 0,8 metro da escarpa de tempestade da praia na Reserva do Sahy (perfil 3) entre o inverno (2022) e o

verão (2023), pode ser resultado da dinâmica de ondas e de eventos de ressaca, sendo necessário um maior tempo de observação para investigação desse processo.

A maior dinâmica, observada nas praias Brava e Mambucaba (Figura 48) se deve principalmente à localização frontal à entrada de ondas entre a Baía da Ilha Grande e a Ponta da Juatinga. As variações topográficas e na largura dessas praias (entre 50 e 88 metros, Brava; entre 15 e 62 metros, Mambucaba) foram as maiores, quando comparadas as demais praias. O mesmo se observa em relação ao volume emerso de sedimentos (considerando o volume total), onde os resultados apontam para a estabilidade dos setores monitorados, em conformidade aos resultados obtidos com os perfis topográficos de praia. As maiores perdas ocorreram no outono (2022), em ambas as praias, com posterior recuperação do pacote sedimentar nas estações subsequentes. A perda máxima (42 m³/m); representando cerca de aproximadamente 22% do estoque sedimentar, e o ganho máximo (36 m³/m); equivalente a 29% dos sedimentos previamente perdidos, encontrados na praia de Mambucaba, apontam para o equilíbrio da relação entre ganhos e perdas do volume de sedimentos emersos, em relação a dinâmica e ao nível de exposição da praia.

O setor nordeste da praia Brava (perfil 1 - figura 32) responde bem as variações sazonais nas condições de mar, com maior largura registrada no verão (88 metros) e a menor no inverno (58 metros). Essa sazonalidade faz parte da dinâmica característica da maioria das praias no litoral fluminense, como é o caso das praias Vermelha e de Fora, na Baía de Guanabara (SILVA *et al.*, 2016); das praias oceânicas de Niterói (ECCARD *et al.*, 2017); de Itaipuaçu, em Maricá (SILVA *et al.* 2008), entre outras. No setor sudoeste da praia Brava (perfil 2 - figura 32), as variações sazonais restritas à zona de intermaré, evidenciam uma diminuição na largura e o aumento da inclinação do perfil entre o primeiro e o último levantamento (verão 2022 e 2023).

A incidência perpendicular das ondas na praia Brava tende a produzir uma zona de intermaré com maior declividade e fortes correntes de retorno; correntes de deriva litorânea, que transportam sedimentos paralelamente a praia com fluxo preferencial para nordeste, contribuem para a maior largura da praia neste setor (perfil 2 - Figura 32), assim como observado por Silva *et al.* (2016) na praia de Icaraí, em Niterói. O transporte longitudinal de areias pela corrente de deriva litorânea tende a produzir diferenças na largura das praias, com a maior remobilização associada às áreas mais estreitas do arco praial, com concomitante acúmulo de areias na extremidade oposta (KOMAR, 1976; BIRD, 2008; DAVIS e FITZGERALD, 2009).

O setor nordeste da praia de Mambucaba (perfil 1 - Figura 33) apresentou as maiores variações sazonais, em resposta a maior exposição desse trecho da praia às mudanças nas

condições de mar. O setor sudoeste do arco praial (perfil 3 - figura 33), mais estreito (15 - 32 metros), mostrou-se mais suscetível a ação direta das ondas de tempestade. A predominância da corrente de deriva litorânea em direção a nordeste parece contribuir para a menor largura da faixa de areia na área do perfil 3, resultando no acúmulo de areias em direção ao perfil 1 (36 -62 metros). A largura reduzida e o menor volume de sedimentos emersos observados no perfil 3 da praia de Mambucaba, principalmente no outono (2022), reflete às mudanças na direção e intensidade de ondas de tempestade. Dinâmica semelhante a essa foi constatada por Nordstrom e Jackson (2012) ao analisar o recuo do perfil praial em praias abrigadas nos Estados Unidos. Para os autores trata-se do resultado da ação de ondas de tempestade e/ou da ação prolongada de correntes litorâneas unidirecionais. Praias no interior de baías, quando suscetíveis às ressacas, podem apresentar tendência erosiva, com recuperação parcial ou nenhuma recuperação entre tempestades (VILA-CONCEJO et al., 2010; FELLOWES et al., 2021). Maiores perdas podem impactar significativamente no volume de areias presentes no setor sudoeste de Mambucaba e, consequentemente, no equilíbrio da praia, como destacou Pinheiro et al. (2021a) acerca do setor sul da praia do Jabaquara, em Paraty, onde a faixa de areia desapareceu devido a erosão ocorrida entre 2016 e 2019.

A distribuição de eventos de ressaca no litoral do Estado do Rio de Janeiro foi observada entre março (2022) e setembro (2023), com base no aplicativo Boletim ao Mar da DHN (http://rumar.org.br/boletimaomar). Os registros indicam uma maior recorrência de ressacas entre os meses de abril e setembro (no outono e inverno, respectivamente), frente o predomínio de ondas do quadrante sul, associadas a maior frequência de passagens de frentes frias e atuação de ciclones extratropicais, comuns nessa época do ano para o litoral fluminense conforme padrão já constatado pelos trabalhos de Lins-de-Barros *et al.* (2018) e Lima *et al.* (2021) ao avaliarem as ocorrências de ressacas marinhas no litoral do Rio de Janeiro. O aumento de ressacas nessas estações tende a provocar uma redução na largura das praias como observado nas praias Brava e Mambucaba.

Quando adentram o litoral sul fluminense e estão associadas a picos de maré de sizígia, as ondas de tempestade costumam alcançar uma maior extensão da praia (SILVA *et al.*, 2020). As ressacas podem causar danos mesmo em praias abrigadas, como o rompimento de tubulações, destruição de casas e de outros bens; tais problemas são comuns nas praias de Icaraí e Flechas em Niterói (SILVA *et al.*, 1999) e na praia do Flamengo no Rio de Janeiro (SILVA *et al.*, 2016).

Com base nos geoindicadores de erosão propostos por Bush et al. (1999), as praias estudadas apresentam diferentes graus de suscetibilidade à erosão: as praias da Reserva do

Sahy, Biscaia, Grande e Brava tem grau de suscetibilidade média a erosão, enquanto a praia de Mambucaba apresentou suscetibilidade média (setores 1 e 2) a alta (setor 3) (Figura 49).

Figura 49 – Classificação das praias analisadas segundo geoindicadores de erosão, com base em Bush *et al.* (1999)



Fonte: A autora, 2023.

A Reserva do Sahy apresentou suscetibilidade média à erosão. Nessa praia, uma escarpa de tempestade íngreme (20-25°), com cerca de 1,7 metros de altura, vem sendo constantemente alcançada durante as ressacas. Essa escarpa recuou cerca de 15 metros, com base no mapeamento da linha de costa (2010 a 2022), e aproximadamente 7 metros em cerca de 15 anos, tomando como referência a estrutura construída perpendicularmente a tubulação de águas pluviais (Figura 50A, B e C). O deslocamento da linha de costa na direção do continente geralmente ocorre em resposta à ocorrência de eventos de alta energia, baixa taxa de transporte sedimentar e intervenções realizadas na praia e áreas adjacentes, alterando a hidrodinâmica e a disponibilidade de sedimentos na área (NORDSTROM, 1989; JACKSON *et al.*, 2002). Perdas

sedimentares podem se tornar mais expressivas pela ação de correntes de maré, como observado por Fellowes *et al.* (2021) em praias dentro de um estuário na Austrália; ou por intervenções nos sistemas de drenagem, como afirmaram Pinheiro *et al.* (2021) considerando a praia de Jabaquara, em Paraty. O setor nordeste e o central adjacente ao píer (perfil 1) da praia da Reserva do Sahy são mais estáveis em virtude, possivelmente, da presença de um riacho que deságua na praia, contribuindo, ainda que de forma discreta, com o aporte sedimentar.

As praias do Biscaia e Grande expõem grau de suscetibilidade média à erosão. Apesar de estarem situadas à retaguarda da Ilha Grande, a maior parte da faixa de areia emersa dessas praias é inundada pela combinação entre as ressacas (com ondulações centimétricas) e a preamar de sizígia, com amplitude máxima de 1,5 metro (DHN, 1980). A baixa elevação do perfil praial em relação ao nível médio do mar identificado pelos levantamentos realizados nessa pesquisa (1,4-1,6 metro - Figura 50D e E) também contribui para a inundação da praia.

A degradação das áreas de restinga e dunas, que são barreiras naturais para as ressacas e para erosão costeira (LIMA *et al.*, 2011; AZEVEDO *et al.*, 2014), frente a especulação imobiliária é preocupante, principalmente diante do atual contexto de mudanças climáticas e intensificação de eventos extremos (IPCC, 2022) que tendem a submeter esse litoral a eventos muito mais intensos e frequentes, com consequentes danos costeiros. Costa *et al.* (2024) evidenciaram uma relação entre danos associados a impactos costeiros e o aumento do número de ressacas e de eventos extremos decorrentes da passagem ocasional de sistemas frontais em praias abrigadas no litoral sul do Rio de Janeiro. As intervenções humanas, nesse sentido, tendem a potencializar a erosão costeira e, consequentemente, a diminuição da diversidade de espécies costeiras e o desaparecimento de áreas marítimas e linhas de costa (CAO *et al.*, 2022).

A praia Brava e a praia de Mambucaba obtiveram média suscetibilidade a erosão costeira em função da sua posição geográfica, presença de estruturas de engenharia dentro e no limite interno das praias, ausência de dunas e a introdução de vegetação exótica na faixa de areia da praia (Figura 50F e G). A susceptibilidade à erosão é maior (alta) no setor sudoeste de Mambucaba (perfil 3) em virtude da menor largura da praia e da presença de enrocamentos com o intuito de conter a ação das ondas neste trecho (Figura 50G).



Figura 50 - Geoindicadores de erosão costeira nas praias estudadas

Fonte: (A), (B), (C), (D), (E) e (G) A autora, 2024; (F) Autor desconhecido, 2019.

A construção de "obras rígidas" (quebra-mares, muros, paredões, etc.) e de "obras naturais" (engordamento da praia, criação de dunas, etc.) a fim de mitigar os impactos adversos da erosão, muitas vezes não leva em consideração suas causas (BULHÕES, 2020). Embora tenham elaborado diretrizes necessárias para um gerenciamento costeiro local, os municípios do sul fluminense carecem de dados para a implementação de planos de ação e manejo, que proporcionem um eficiente gerenciamento costeiro.

As praias do Biscaia, Grande, Brava e Mambucaba (perfis 1 e 2) exibem variações na linha de costa que sugerem uma ligeira acreção entre 2005 e 2022. Tais mudanças são aqui interpretadas como consequências da dinâmica natural desse ambiente, a diferenças de nível das marés e condições de ondas. A menor exposição a incidência das ondas, assim como, ao transporte dos sedimentos fluviais para a costa, são fatores que podem ser responsáveis por essa acreção, como destacado por Fellowes *et al.* (2021) e Pinheiro *et al.* (2021). Esses autores afirmam que mesmo em praias dentro de baías, expostas a mudanças rápidas nas condições das ondas, existem setores mais estáveis, assim como observado na praia Brava e de Mambucaba (perfis 1 e 2).

O setor sudoeste da praia de Mambucaba (perfil 3), especificamente, apresentou um recuo de cerca de 4 metros entre 2005 e 2021, o que merece ser melhor investigado. Este setor apresenta um maior grau de exposição à entrada de ondas, presença de estruturas de engenharia próximas à praia, ausência de vegetação nativa e dunas, morfologia estreita e íngreme do perfil praial.

O padrão granulométrico exibe grandes diferenças no tamanho dos grãos entre as praias estudadas, envolvendo diferentes setores da mesma praia e entre a porção emersa e submarina (Figura 51). Essa diversidade no tamanho dos sedimentos também foi observada em praias abrigadas na Baía de Guanabara (SILVA *et al.*, 2016), na Ilha Grande (SILVA *et al.*, 2020) e em Paraty (PINHEIRO *et al.*, 2021a), enquanto resultado de suprimento sedimentar predominantemente fluvial, mas também proveniente da plataforma continental interna.

A praia da Reserva do Sahy mostrou um aumento no tamanho dos grãos de sul (areia média a fina) para norte/nordeste (areia média a grossa) (Figura 51A), que pode ser resultado da incidência de ondas de maior energia e do aporte fluvial na porção nordeste da praia (perfil 1). Na praia do Biscaia também ocorre um aumento no tamanho médio dos grãos de sul (areia fina a grossa) para noroeste (areia média a muito grossa). Uma ligeira tendência de aumento de sudoeste (areia fina a média) para nordeste (areia média a grossa) foi verificada na praia de Mambucaba (Figura 51 E). Essas variações longitudinais são resultantes da interação entre os processos costeiros e fluvial foi igualmente observada na praia do Abraão, na Ilha Grande (SILVA *et al.*, 2020).

Grandes variações foram observadas entre a porção emersa e submersa da praia na Reserva do Sahy, com um aumento da granulometria do pós-praia para frente de praia, com uma alternância entre sedimentos grossos (areia) e finos (lamas) na face de praia (Figura 51A). A proximidade de sedimentos finos com o ambiente de praia foi também observada na praia de Jabaquara (PINHEIRO *et al.*, 2021a), onde os autores associaram a oferta de finos à proximidade com um manguezal, o que não parece ser o caso da Reserva do Sahy. A sobreposição de sedimentos arenosos e lamosos na face praial pode estar relacionada a diferenças no fornecimento de sedimentos e no transporte hidrodinâmico, com influências distintas da amplitude das marés e do clima das ondas (ZHAO, 2020). Praias com compartimentos marcados pela transição areia-lama ainda são mal compreendidos (VILA-CONCEJO *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2024).



Figura 51 – Predomínio das frações de areia nas praias estudadas

Fonte: A autora, 2023; com imagens do Google Earth.

Na praia Brava, a diminuição no tamanho dos grãos da porção emersa (areia média a grossa) para a porção submarina (areia média a fina) (Figura 51 D) pode estar relacionada as intervenções junto ao limite interno da mesma. Nas praias do Biscaia e Grande o aumento no tamanho dos grãos do pós-praia (areia média a fina) para a porção submersa (areia grossa a

muito grossa) (Figura 51B e C), pode ser explicado pela maior dificuldade de remobilização das frações mais grossas por ondas de baixa energia, o que facilita a acumulação dessas frações (NORDSTROM,1977; NORDSTROM e JACKSON, 1993). Esse mesmo padrão foi observado por Pinheiro *et al.* (2021a) em algumas praias abrigadas de Paraty e por Silva *et al.* (2020) na praia de Pouso, Ilha Grande.

A composição dos sedimentos das praias estudadas consiste basicamente em quartzo, minerais pesados, feldspatos e fragmentos de conchas, pela eventual contribuição de sedimentos da plataforma continental interna e pela erosão de fontes geológicas locais, com a deposição dos sedimentos por rios que levam materiais diretamente para a faixa de areia das praias (CARVALHO *et al.*, 2011). A composição das praias aqui estudadas é semelhante às praias estudadas na região por Silva *et al.* (2020) e Pinheiro *et al.* (2021a). A contribuição fluvial, ao que tudo indica, é relevante nas praias estudadas, que exibem grãos de quartzo subangulares e subarredondados, como resultado da baixa maturidade desses materiais, comum em litorais sujeitos à oferta de sedimentos a partir de rios e córregos locais, que desaguam próximo ou na faixa de areia das praias (CARVALHO *et al.*, 2021a,b). O brilho vítreo predominante nos grãos de quartzo aponta para a predominância de processos subaquosos no retrabalhamento dos grãos.

CONCLUSÃO

As praias da Reserva do Sahy, Biscaia e Grande foram as que se mostraram mais estáveis, com variações sazonais discretas nos perfis topográficos, entre o inverno (2022) e o verão (2023), por estarem situadas à retaguarda da Restinga da Marambaia (Reserva do Sahy) e da Ilha Grande (Biscaia e Grande). As praias Brava e Mambucaba apresentaram as maiores variações na largura e na morfologia quando comparadas as demais praias estudadas, frente as mudanças nas condições de mar; mais expressivas no outono e inverno, período de maior recorrência de ressacas no litoral do Estado do Rio de Janeiro. O setor sudoeste da praia de Mambucaba (perfil 3), especificamente, expôs as variações sazonais mais expressivas na morfologia e na largura, em decorrência da maior suscetibilidade a ação das ondas de tempestade.

Os dados de volume emerso dos sedimentos apontam para uma estabilidade dos setores monitorados, em conformidade aos perfis topográficos de praia.

A aplicação dos geoindicadores de erosão costeira evidenciou uma suscetibilidade média das praias estudadas a erosão, com exceção do setor sudoeste de Mambucaba; cuja suscetibilidade é maior devido a menor largura da praia e a presença de enrocamentos para conter a ação das ondas. Com base no mapeamento da linha de costa, as praias do Biscaia, Grande, Brava e Mambucaba (perfís 1 e 2) exibem variações na linha de costa (entre 2005 e 2022) característica da dinâmica natural desse ambiente a diferenças de nível das marés e condições de ondas. O setor sudoeste de Mambucaba (perfíl 3), apresentou um recuo de cerca de 4 metros, em 16 anos, que merece ser melhor investigado. A praia da Reserva do Sahy sofreu recuo em torno de 15 metros da escarpa de tempestade (entre 2010 e 2022), que caracteriza seu limite interno; tomando como referência a estrutura construída perpendicularmente à tubulação de águas pluviais, esse recuo é de aproximadamente 7 metros em pouco mais de uma década.

Os sedimentos são predominantemente compostos por grãos de quartzo, subangulares a subarredondados, com brilho vítreo. A variação longitudinal encontrada no tamanho dos grãos das praias da Reserva do Sahy, Biscaia e Mambucaba, pode ser resultado da incidência direta de ondas de maior energia em um determinado setor. A diminuição no tamanho dos grãos da porção emersa para a porção submarina, observada na praia Brava, pode estar relacionada às intervenções junto ao limite interno da mesma. O aumento no tamanho dos grãos para a porção submersa, em Biscaia e Grande pode ser explicado pela dificuldade de remobilização das frações mais grossas por ondas de baixa energia. A variação no tamanho dos sedimentos na
praia da Reserva do Sahy, com alternância entre sedimentos arenosos e lamosos na face de praia, pode estar relacionada a variações temporais no fornecimento de sedimentos e no transporte hidrodinâmico, com influências distintas da amplitude das marés e do clima das ondas.

A caracterização morfossedimentar dessas praias é uma importante ferramenta para a proteção do litoral Sul Fluminense frente às mudanças climáticas em curso, a elevação no nível do mar e a intensificação de eventos extremos. Praias abrigadas podem apresentar processos erosivos, proporcionais ou maiores do que os observados em praias oceânicas, com tendência de uma lenta recuperação após eventos de tempestade. Espera-se que os dados aqui apresentados possam auxiliar os gestores municipais na elaboração de planos de ação voltados para o gerenciamento costeiro local.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. G. *et al.* Determining shoreline response to meteo-oceanographic events using remote sensing and Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Case study in Southern Brazil. Journal of Coastal Research, 85, 2018. p. 766 - 770.

AMADOR, E. S. Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: Homem e Natureza. 1. ed. Rio de Janeiro: Reporte Gráfica e Editora LTDA. 1997.

ANDRADE, F. C. Uma abordagem morfodinâmica e caracterização da comunidade de macrofauna das praias abrigadas da região de Paraty, RJ. Dissertação de Mestrado submetida a Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha pela Universidade Federal Fluminense. 2012.

AZEVEDO, N. H. *et al.* Ecologia na restinga: uma sequência didática argumentativa (1a ed.). São Paulo: Petrobras, USP, IB, LABTROP/BIOIN. 2014.

BAGNOLD, R. A. Beach formation by waves: some model experiments in a wave tank. In: PETHICK, J. An introduction to coastal geomorphology. London: Edward Arnold. 1984. p. 112 - 119.

BAPTISTA, E. C. S. *et al.* Sensibilidade ambiental do litoral da Ilha Grande (Angra dos Reis, RJ) a potenciais desastres causados por derramamento de óleo. Revista Brasileira de Geografia Física, 12 (07), 2019. p. 2470-2488.

BASTOS, A. P., *et al.* A punctuated equilibrium model for storm response of geologically controlled beaches: Application to western Portuguese beaches. Geomorphology. 404, 108184. 2022.

BENCHIMOL, M. F. Gestão de unidades de conservação marinhas: um estudo de caso da área de proteção ambiental da Baía de Paraty - RJ. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia. Niterói, Brasil. 2007.

BLOTT, S. J. e PYE, K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Technical communication. Earth Surface Processes and Landforms, nº 26, 2001. p. 1237 - 1248.

BIRD, E. C. F. Coastal Geomorphology: An Introduction. 2nd ed. John Wiley e Sons Ltd. England, 2008.

BIRKEMEIER, W. A. A user's guide to ISRP: The interactive survey reduction program. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, 1984. 118 p.

BOAK, E. H. e TURNER, I. L. 2005. "Shoreline definition and detection: a review". Journal of Coastal Research. Vol 21, n 4, 2005, p. 688 - 703.

BOGGS Jr., S. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. New Jersey: Pearson Prentice Halt. 4 ed. 2006. 676 p.

BOGGS Jr. Petrology of Sedimentary Rocks. Cambridge University Press. 2 ed. 2009. 612 p.

BORGES, H. V. Dinâmica Sedimentar da Restinga da Marambaia e Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, 1990. 110 p.

BUSH, D. M. *et al.* Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal – hazard risk and mitigation. Ocean and Coastal Management. v. 42, 1999. p. 647 - 670.

BOWMAN, D., ROSAS, V. e PRANZINI, E. Pocket beaches of Elba Island (Italy) - Planview geometry, depth of closure and sediment dispersal. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 138, 2014. p. 37 - 46.

BRANCO, T. L., ALMEIDA, C. M. e FRANCISCO, C. N. Modelagem Dinâmica Espacial das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande-RJ: um Enfoque Sobre Comunidades Tradicionais e Unidades de Conservação. Revista Brasileira de Cartografia. v. 74, n. 1. 2022. 22 p.

BRYAN, K. e POWER, H. E. Wave behaviour outside the surf zone. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science, 2020. p. 61 - 86.

BULHÕES, E. M. R. Erosão costeira e soluções para a defesa do litoral. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 655 - 688.

BULHÕES, E. M. R. *et al.* Coastal Impacts induced by storm waves between Cape Frio and Cape Buzios, Rio de Janeiro, Brazil. Journal of Coastal Research, Special Issue. n. 75, 2016. p. 1047 - 1051.

BUSH, D. M. *et al.* Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal – hazard risk and mitigation. Ocean and Coastal Management. v. 42, 1999. p. 647 - 670.

CÂMARA, I. F. C. da, HOLANDA, T. F. e COSTA, M. B. Erosão e gestão costeira em praias protegidas por recifes no litoral sul de Pernambuco. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 24, nº1. 2023.

CAMARGO, R. e HARARI, J. Marés. In: CASTELLO, J. P. e KRUG, L. C. Introdução às ciências do mar. Pelotas: Ed. Textos. 2017. p. 226 - 255.

CAPPADONIA, C. *et al.* Analysis of the Rockfall Phenomena Contributing to the Evolution of a Pocket Beach Area Using Traditional and Remotely Acquired Data (Lo Zingaro Nature Reserve, Southern Italy). Remote Sensing. 15, 1401. 2023. 19 p.

CARTER, R. W. G. Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. 1st ed., Academic Press. London, 1988.

CARVALHO, C. *et al.* Application of radiometric analysis in the study of provenance and transport processes of Brazilian coastal sediments. Journal of Environmental Radioactivity. 102, 2011. p. 185-192.

CASEMIRO, I. P. C., SIMÕES, B. F. T. e MORAES, C. M. S. Ilha Grande (Rio de Janeiro): Estudos e interesses de pesquisa sobre um refúgio da Natureza. Revista Brasileira de Meio Ambiente. v. 10, n. 1, 2022. p. 23 - 47.

CASTELO W. F. L. *et al.* Long-term eutrophication and contamination of the central area of Sepetiba Bay (SW Brazil). Environ Monit Assess. 2021 Jan 29;193(2):100.

CASTELLE, B. *et al.* Spatial and temporal patterns of shoreline change of a 280-km highenergy disrupted sandy coast from 1950 to 2014: SW France. Estuar. Coast. Shelf Sci. 200, 2018. p. 212 - 223.

CASTELLE, B. e HARLEY, M. Extreme events: impact and recovery. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science, 2020. p. 533 - 556.

CAO C. *et al.* Vulnerability Evolution of Coastal Erosion in the Pearl River Estuary Great Bay Area Due to the Influence of Human Activities in the Past Forty Years. Front. Mar. Sci. 9:847655. 2022. DOI: 10.3389/fmars.2022.847655.

COCO, G., MURRAY, B. e ASHTON, A. D. Rhytmic Patterns in the Surfzone. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science, 2020. p. 297 - 316.

COLAÇO, G. *et al.* Mid-long-term characterization and short-term modelling of a semiprotected pocket sandy beach in the Southern Coast of Brazil. Regional Studies in Marine Science. 41. 101593. 2021. p. 1 - 12.

COSTA, C. E. S., VASCONCELOS, S. C. de; ARMOND, N. B. Sistemas frontais e os impactos de eventos extremos na zona costeira do Rio de Janeiro - RJ: Análise dos últimos 30 anos. Geo UERJ, Rio de Janeiro, n.45, e80393, 2024 | DOI: 10.12957/geouerj.2024.80339.

CREED, J. C., PIRES, D. O. e FIGUEIREDO M. A. O. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. MMA/SBF. Brasília, 2007. 417 p.

DAVIDSON-ARNOTT, R. Introduction to Coastal processes and Geomorphology. 1. ed. Londres: Cambridge University Press, 2010. 442 p.

DAVIES, J. L. A morphogenic approach to world shorelines. Zeitschrift fur Geomorphologie, 8, 1964. p. 27-42.

DAVIS Jr., R. A. Coastal Sedimentary Environments. Springer-Verlag, New York, 1978.

DAVIS, Jr., R. A. e FITZGERALD, D. M. Beaches and Coasts. 1. ed. United Kingdom: Blackwell Publishing, 2004. 433 p.

_____. Beaches and Coasts. 2. ed. United Kingdom: Blackwell Publishing, 2020. 521 p.

DAVIS, R.A. Beach and nearshore zone. In: DAVIS, R.A. (ed.), Coastal Sedimentary Environments. New York: Springer-Verlag, 1985.

DE LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C., FISZMAN, M. Heavy metal distribution, availability and fate in Sepetiba Bay, S.E. Brazil, Science of The Total Environment, Volume 65, 1987, p. 163-173.

DEHOUCK, A., DUPUIS, H. e SÉNÉCHAL, N. Pocket beach hydrodynamics: The example of four macrotidal beaches, Brittany, France. Marine Geology, 266. 2009. p. 1 - 17.

DHN. FOLHA DE BORDO, FB-1500-001/79. Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. 1980.

DODET, G. *et al.* Beach recovery from extreme storm activity during the 2013–14 winter along the Atlantic coast of Europe. Earth Surface Processes and Landforms. 44, 2018. p. 393 - 401.

DUQUE, M. M. S., GIACOMINI, J. e WASSERMAN, J. C. Modelagem hidrodinâmica bidimensional da baía da Ilha Grande e baía de Sepetiba visando a subsidiar o plano local de desenvolvimento da maricultura. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha - Universidade Federal Fluminense. 2008.

DUTRA, V. C. S. *et al.* Caracterização morfológica e sedimentar do sistema praia-barreira arenosa e os efeitos das ondas de tempestade no litoral de Jaconé-Saquarema (RJ), Sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 23, n. 2. 2022. p. 1 - 20.

ECCARD, L. R., SILVA, A. L. C. e SILVESTRE, C. P. Variações Morfológicas nas praias oceânicas de Niterói (RJ, Brasil) em resposta a incidência de ondas de tempestades. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, n. 01, 2017. p. 206 - 218.

FELLOWES, T. E. *et al.* Decadal shoreline erosion and recovery of beaches in modified and natural estuaries. Geomorphology. 390: 107884. 2021.

FELLOWES, T. E. *et al.* Wave shadow zones as a primary control of storm erosion and recovery on Embayed Beaches. Geomorphology. 399: 108072. 2022. 10p.

FERREIRA, A. P., HORTA, M. A. P., DA CUNHA, C. L. N. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de Nycticorax (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. Revista da Gestão Costeira Integrada 10(2), 2010, p. 229-241.

FERREIRA DA SILVA, L. C. *et al.* Litoral Sul Fluminense: síntese do conhecimento das condições climatológicas e da dinâmica costeira. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Relatório Técnico para Furnas Centrais Elétricas. 1996.

FIGUEIREDO, J. B. A. *et al.* Climatologia no entorno da Central Nuclear de Angra dos Reis, RJ. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 31, n. 3, 2016. p. 298 - 310.

FLEMMING, B. Beach sand and its origins. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. p. 15 - 37.

FOLK, R. L. Petrology of sedimentary rocks. Austin: Hemphill Publishing Company. 1980.

FOLK, R. L. e WARD, W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, n. 27, 1957. p. 3-26.

FONTÁN-BOUZAS, A. *et al.* The role of the Cíes Islands on the wave regime and morphodynamics of the pocket beaches (Vigo Ria, Northwestern Iberian Peninsula). XI Jornadas de Geomorfología Litoral. Galicia. Universidade de Santiago de Compostela, 2022. p. 85-89.

FONTÁN-BOUZAS, A. *et al.* Morphodynamic response of open and embayed beaches to winter conditions: Two case studies from the North Atlantic Iberian Coast. J. Mar. Sci. Eng. 2024, 12, 168. https://doi.org/10.3390/jmse12010168.

FRAGOSO, M. R. Estudo numérico da Circulação Marinha da região das baías de Sepetiba e Ilha Grande (RJ). Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. São Paulo, Brasil. 1999.

FRAGOSO, M. R. Estimativa do Padrão de Circulação da Baía de Sepetiba (RJ) Através de Modelagem Numérica. Monografia de Graduação, Depto. Oceanografia - UERJ, Rio de Janeiro, 1995. 84 p.

FRIEDMAN, G. M. e SANDERS, J. E. Principles of sedimentology. New York, John Wiley e Sons. 1978. 792 p.

GALLOP, S. L., BRYAN, K. R. e WINTER, G. The surf zone. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. p. 131 - 153.

GARRISON, T. Fundamentos de Oceanografia. Ed. Cengage Learning Nacional Brasil, 2010. p. 191-261.

GODOI, S. S. e HARARI, J. Ondas no mar. In: Noções de Oceanografia. São Paulo: Instituto Oceanográfico. 2021. p. 255 - 273.

GODOI, V. A. *et al.* Evento extremo de ondas na baía da Ilha Grande: um estudo de caso. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego. v. 5, Rio de Janeiro. Brasil. 2011.

GOODFELLOW, B. W. e STEPHENSON, W. J. Beach morphodynamics in a strong-wind bay: a low-energy environment? Marine Geology. v. 214, 2005. p. 101 - 116.

GÓMEZ-PUJOL, L. e ORFILA, A. Reflective-dissipative continuum. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. p. 420 - 437.

GRIGGS, G. B. The Impacts of Coastal Armoring. Shore and Beach 73 (1), 2005. p. 13-22.

GUERRA, A. J. T. *et al.* The Geomorphology of Angra dos Reis and Paraty Municipalities, Southern Rio de Janeiro State. Revista GEONORTE, v.9, n.1, 2013. p.1-21.

HARDAWAY Jr., C. S., MILLIGAN, D. A. e VARNELL, L. Estuarine Beaches. In: KENNISH, M. Encyclopedia of Estuaries. Springer Dordrecht, Heidelberg, New York, London. 2016. p. 55 - 71.

HARRIS, D. L. *et al.* Multi-scale morphodynamics of an estuarine beach adjacent to a floodtide delta: Assessing decadal scale erosion. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 241. 106759. 2020. 12 p. HEGGE, B. J., ELIOT, I. e HSU, J. Sheltered sandy beaches of Southwestern Australia. Journal of Coastal Research, 12, 1996. p. 748 - 760.

HOMSI, A. Wave Climate in some zones off the Brazilian Coast. Coastal Engineering Proceedings, 1 (16), 5. 1978.

HOUSER, C. *et al.* Rip Currents. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. p. 255 - 276.

HUGHES, M. G. e BALDOCK, T. E. The swash zone. JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. p. 154 - 186.

INEA, Proposta de Criação da Área de Proteção Ambiental Estadual Marinha da Baía da Ilha Grande. Rio de Janeiro, 2011. 30 p.

_____ Diagnóstico do setor costeiro da Baía da Ilha Grande. Subsídios à elaboração do zoneamento ecológico-econômico costeiro. v. 1. Rio de Janeiro, 2015. 242 p.

INMAN, D. L. e NORDSTROM, C. E. On the Tectonic and Morphologic classification of Coasts. The Journal of Geology. v. 79, n. 1, 1971. 21 p.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC. Geneva, Switzerland, 2022.

IKEDA, Y. e STEVENSON, M. Determination of circulation and short period fluctuation in Ilha Grande Bay (RJ), Brazil. Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, v. 29, n. 1, 1980. p. 89-98.

IZUMI, N., SHUTO, N. e TANAKA, H. Instability of River Mouth locations in pocket beaches. Am. Soc. Civil Eng. Coast. Sed., 1999. p. 628 - 643.

JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. 814 p.

JACKSON, D. W. T. *et al.* Beach morphodynamic classification using high-resolution nearshore bathymetry and process-based wave modelling. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 268, 107812, 2022. p. 1 - 13.

JACKSON, N. L. Wind and waves: influence of local and non-local waves on meso-scale beach behavior in estuarine environments. Annals of the Association of American Geographers 85, 1995. p. 21 - 37.

JACKSON, N. L. e NORDSTROM, K. F. Site Specific Controls on Wind and Wave Processes and Beach Mobility on Estuarine Beaches in New Jersey, U.S.A. Journal of Coastal Research, Fort Lauderdale, Florida, 8, 1, 1992. p. 88 - 98.

JACKSON, N. L. *et al.* Low energy sandy beaches in marine and estuarine environments: A review. Geomorphology. Vol 48. p. 147-162. Jornal de Radioatividade Ambiental. São Paulo. v. 1, 2002. p. 1 - 13.

JACKSON, N. L., NORDSTROM, K. F. e FARRELL, E. J. Longshore sediment transport and foreshore change in the swash zone of an Estuarine Beach. Marine Geology. v. 386, 2017. p. 88 - 97.

KJERFVE, B. *et al.* Oceanographic and environmental characteristics of a coupled coastal bay system: Baía de Ilha Grande-Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brazil. Regional Studies in Marine Science. 41. 101594. 2021.

KOMAR, P. D. Beach Processes and Sedimentation. Prentice-Hall, New Jersey, 1976. p. 429.

LAING, A. K. An Introduction to Ocean Waves. In: Secretariat of The World Meteorological Organization. Guide To Wave Analysis and Forecasting. World Meteorological Organization. Geneva - Switzerland, Second Edition, Wmo - n. 702. 1998. p. 1 - 14.

LI et al. Equilibrium configurations of sandy-muddy transitional beaches on South China coasts: Role of waves in formation of sand-mud transition boundary. Coastal Engineering. 187. 104401. 2024

LIMA, R. A. *et al.* Structure, diversity, and spatial patterns in a permanent plot of a high Restinga forest in Southeastern Brazil. Acta Botanica Brasilica, 2011. 25(3): 633-645.

LIMA, R. F. *et al.* Análise das Condições Meteoceanográficas em eventos de ressaca do mar no litoral do Estado do Rio de Janeiro, Brasil no período de 1948 a 2008. Anuário do Instituto de Geociências, 2021, v. 44, 41726.

LIMA, R. G. *et al.* As especificidades dos ambientes insulares: meio ambiente e cultura - Estudo de caso do Ecomuseu Ilha Grande - UERJ. In: BASTOS M. e CALLADO, C.H. (Orgs.). O Ambiente da Ilha Grande, CEADS/UERJ, Rio de Janeiro. v. 9. 2009. p. 11 - 18.

LINS-DE-BARROS, F. M. e MUEHE, D. C. E. H. Avaliação local da Vulnerabilidade e riscos de Inundação na Zona Costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. Quaternary and Environmental Geosciences, v. 2 (1), 2010. p. 55 - 66.

LINS-DE-BARROS, F. M., KLUMB-OLIVEIRA, L. e LIMA, R. F. Avaliação histórica da ocorrência de ressacas marinhas e danos associados entre os anos de 1979 e 2013 no litoral do estado do Rio de Janeiro (Brasil). Revista de Gestão Costeira Integrada, 18(2), 2018. p. 85-102.

LINS-DE-BARROS, F. M., PAULA. D. P. de, SOUSA, P. H. G. Vulnerabilidade costeira: conceitos, abordagens e aplicações. In: MUEHE, D. C. E. H..; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 631-654.

LÓPEZ-RUIZ, A., ORTEGA-SÁNCHEZ, M. e LOSADA, M. A. Mixed sand and gravel beaches. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science, 2020. p. 317 - 341.

LOUREIRO, C., FERREIRA, O. e COOPER, J. A. G. Contrasting Morphologic Behaviour at Embayed Beaches in Southern Portugal. Journal of Coastal Research, SI 56, 2009. p. 83 - 87.

LOUREIRO, C., FERREIRA, O. e COOPER, J. A. G. Applicability of parametric beach morphodynamic state classification on embayed beaches. Marine Geology, 346, 2013. p. 153 - 164.

LUIJENDIJK, A. *et al.* The State of the World's Beaches. Nature Scientific Reports., vol 8, 6641, 2018. 11 p.

LUIJENDIJK, A. e VRIES, S. Global Beach Database. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. p. 641 - 658.

MACEDO, A. V. *et al.* Poluição por resíduos sólidos em praias da baía da Ilha Grande: Angra dos Reis e Paraty (RJ). Revista Mares. Revista de Geografia e Etnociências. v. 1, n. 2. 2019.

MACEDO, R. J. A. de *et al.* Transporte de Sedimentos e Variação da Linha de Costa em Curto Prazo na Praia de Maracaípe (PE), Brasil. Revista da Gestão Costeira Integrada 12(3):343-355, 2012.

MAHIQUES, M. M. de. Considerações sobre os sedimentos de superfície de fundo da Baía da Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. São Paulo, Brasil, 1987.

MAHIQUES, M. M. de e FURTADO, V. V. Utilização da análise dos componentes principais na caracterização dos sedimentos de superfície de fundo da Baía da Ilha Grande (RJ). Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, v. 37, n. 1, 1989. p. 1 - 19.

MAHIQUES, M. M., TESSLER, M. G. e FURTADO, V. V. Characterization of energy gradient in Enclosed Bays of Ubatuba Region, South-Eastern Brazil. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 47, 1998. p. 431 - 446.

MASSELINK, G. e SHORT, A. D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach model. Journal of Coastal Research, Fort Lauderdale, Florida, 9, 3, 1993. p. 785 - 800.

MASSELINK, G. HUGHES, M. e KNIGHT, J. Coastal Processes e Geomorphology. 2 ed. Routledge. London, 2011. 432 p.

MEDEIROS, M. F. Estudos da sequência sedimentar holocênica das baías da ribeira e parati (Baía Ilha Grande - RJ) através de métodos sísmicos e análise de testemunhos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. Departamento de Geologia e Geofísica. Niterói, Brasil, 2006.

MEDEIROS, M. F., DIAS, G. T. M., SPERLE, M. Sísmica de alta resolução da parte oeste da baía da Ilha Grande - RJ: resultados. Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil. 2005. p. 1 - 6.

MEDEIROS, M. F., DIAS, G. T. M. Cartas sedimentológicas da Baia de Ilha Grande. Anais do X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, v. 1, 2005. p. 1 - 6.

MELO, E. The sea sentinel project: watching waves in Brazil. In: Proceedings of the Symposium on Coastal and Ocean Management, 8., Coastal Zone, New Orleans, USA, v. 93, 1993. p. 19 - 23.

MMA. Plano de Manejo da Estação Ecológica de Tamoios - Fase 1. Fundação de Apoio a Pesquisa Científica e Tecnologia. UFRJ. Encarte 5.2esec. Rio de Janeiro, 2006.

MÉNDEZ, F. e RUEDA, A. Wave climates: deep water to shoaling zone. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. p. 39 - 59.

MENTASCHI, L. *et al.* Global long-term observations of coastal erosion and accretion. SCIENTIFIC REPORTS. 2018.

MORTON, R. A., PAINE, J. G. e GIBEAUT, J. C. Stages and Durations of Post-Storm Beach Recovery, Southeastern Texas Coast, USA. Journal of Coastal Research, 10 (4), 1994. p. 884 - 908.

MOREIRA DA SILVA, P. C. Wave penetration at Sepetiba bay. [S.l.]: Cia. Internacional de Engenharia e Construções, Relatório interno. 1969.

MUEHE, D. C. E. H. O Litoral brasileiro e sua compartimentação. In: CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil. 2 ed., Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1998.

_____. Erosão e progradação do litoral brasileiro. 1 ed., Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006.

_____. A Zona Costeira do Brasil e sua Vulnerabilidade face à ocupação e as mudanças climáticas. Conferência ENANPEGE. 2009. p. 1 - 16.

. O sistema praial: formas, termos, processos e medição. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 27-55.

MUEHE, D. C. E. H. e KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):121-124. 2014.

MUEHE, D. C. E. H. e LINS-DE-BARROS, F. M. The Beaches of Rio de Janeiro. In: SHORT, A. D. e KLEIN, A. H. F. Brazilian Beach Systems. Coastal Research Library. v. 17. Springer. 2016. p. 363 - 396.

MUEHE, D. C. E. H e VALENTINI, E. O litoral do Estado do Rio de Janeiro. Uma caracterização físico-ambiental. Secret. Est. Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro - SEMA. Proj. PLANAGUA SEMA / GTZ. Fund. Estudos do Mar, 1998. 99 p.

MUEHE, D. C. E. H. *et al.* Pulsos Erosivos e resposta Morfodinâmica associada a Eventos Extremos na Costa Leste do Estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 16, 2015. p. 369-386.

MUEHE, D. C. E. H. *et al.* Panorama da erosão costeira no Brasil / Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental / Departamento de Gestão Ambiental Territorial. Brasília, DF: MMA. 2018.

MURRAY, B., ASHTON, A. D. e COCO, G. From cusps to capes: self-organized shoreline shapes. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. p. 277 - 295.

NEVES, C. F. *et al.* Estudo de Vulnerabilidades no Litoral do Estado do Rio de Janeiro devido às Mudanças Climáticas. COPPETEC FUNDAÇÃO. Relatório final para Secretaria do Estado do Meio Ambiente - RJ. PENO-9501. 2007.

NICHOLS, G. Sedimentology and Statigraphy. 2nd ed. John Wiley e Sons. 2009. 432p.

NORDSTROM, K. F. Bayside Beach Dynamics: Implications for Simulation Modeling on Eroding Sheltered Tidal Beaches. Marine Geology, 25. 1977. p. 333 - 342.

_____. Cyclic and Seasonal Beach Response: A Comparison of Oceanside and Bayside Beaches. Physical Geography, v. 1, n. 2, 1980. p. 177 - 196.

Erosion control strategies for Bay and Estuarine Beaches. Coastal Management. v. 17, 1989. p. 25 - 35.

NORDSTROM, K. F. e JACKSON, N. L. Distribution of surface peabbles with changes in wave energy on a Sandy Estuarine Beach. Journal of Sedimentary Petrology, v. 63, n. 6, 1993. p. 1152 - 1159.

NORDSTROM, K. F. e JACKSON, N. L. Physical processes and landforms on beaches in short fetch environments in estuaries, small lakes and reservoirs: A review. Earth-Science Reviews, 2012. p. 232 - 247.

NORDSTROM, K. F. *et al.* Restoring sediment to compensate for human-induced erosion of an estuarine shore. Geomorphology, vol. 262, 2016. p. 37-46.

OLIVEIRA, A. C., *et al.* Mapeamento do uso e cobertura da terra do entorno da Baía de Sepetiba em apoio a identificação de pressões sobre os manguezais. Mares. Revista de Geografia e Etnociências. v. 1, nº2, 2019. p. 1 - 13.

OLIVEIRA FILHO, S. R., SANTOS, R. A., FERNANDEZ, G. B. Erosão e recuperação de praias refletivas de alta energia impactadas por ondas de tempestade geradas por ciclone tropical. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 21, n. 2, 2020. p. 289 - 312.

OLIVEIRA FILHO, S. R. *et al.* Morfodinâmica de praias estuarinas de baixa energia durante dragagem de aprofundamento do canal da Galheta, Paranaguá – PR. Revista Brasileira de Geografia Física. V. 14, nº04, 2021. p. 1924 - 1940.

PEREIRA, L. B. Mapeamento em subsuperfície do canal central da Baía da Ilha Grande com base em dados de sísmica rasa de alta resolução. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geologia. Rio de Janeiro, 2006.

PEREIRA, S. D. *et al.* Baía de Sepetiba: caracterização sedimentar. Arquivo Digital (CD) do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 2003.

PEREIRA, S. D. Capítulo 4: Item 4.2 Sedimentos de Fundo, In: Caracterização Oceanográfica da Costa do Estado do Rio e Janeiro: Trecho I – Baía de Sepetiba. Relatório de Pesquisa à FAPERJ, Departamento de Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2004. p. 31-40.

PETTIJOHN, F. J. Sedimentary Rocks. 3. ed. Harper and Row Publishers, 1975.

PINHEIRO, A. B., SILVA, A. L. C. Análise da sensibilidade ambiental do litoral de Paraty (Estado do Rio Janeiro, Brasil) a potenciais derramamentos de óleo. Revista Geográfica de América Central. Número 66(1), 2021, p. 155 - 188.

PINHEIRO, A. B. *et al.* Praias abrigadas no litoral do Estado do Rio de Janeiro. In: SILVA-MATOS, R. R. S da, MACHADO, N. A. F., ANDRADE, H. A. F de. As Ciências Exatas e da Terra e a Interface com vários Saberes 2. Capítulo 15, Atena, 2020. p. 162-175.

PINHEIRO, A. B., SILVA, A. L. C., BAPTISTA NETO, J. A. Dynamics and storm records on sheltered beaches: Paraty, southeast coast of Brazil. Journal of Sedimentary Environments. Springer Nature Switzerland, 2021a. p. 1-17.

PINHEIRO, A. B. *et al.* Coastal Erosion and Flood Susceptibility in Paraty, Southeast Brazil. Revista Geográfica de Chile Terra Australis Número Especial 1, v. 57. 2021b. p. 1-18.

PONÇANO, W. L. Sedimentação atual na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro: Contribuição à avaliação de viabilidade geotécnica da implantação de um porto. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 2 vol. 1976.

PRANZINI, E. *et al.* Beach changes from sediment delivered by streams to pocket beaches during a major flood. Geomorphology, 199, 2013. p. 36 - 47.

RANGEL, C. M. A., JÚNIOR, W. M. L., ROBERTI, D. L. P. Poluição causada pela emissão de resíduos sólidos em alta temporada (verão) nas praias turísticas Grande e da Biscaia, Angra dos Reis - RJ. Revista da ANPEGE. v. 17, n. 33, 2021. p. 230 - 250.

ROCHA, T. B., MAGALHÃES, B. L., FERNANDEZ, G. B. Escalas Interdecadal e Interanual na Avaliação da Dinâmica da Linha de Costa: Um Estudo de caso nas Praias de Rio das Ostras (RJ). Revista da ANPEGE. v. 17. nº. 33, 2021. p. 146 - 161.

RODRIGUES, D. *et al.* Low-frequency circulation on the Ilha Grande channel, Rio de Janeiro, Brazil. Regional Studies in Marine Science. 50. 102129. 2022.

RONCARATI, H., CARELLI, S. G. Considerações sobre o estado da arte dos processos geológicos cenozóicos atuantes na Baía de Sepetiba. In: RODRIGUES, M. A., PEREIRA, S. D., SANTOS, S. B. Baía de Sepetiba: Estado da Arte. Rio de Janeiro: Corbã, 2012, p. 13 - 38.

RUDORFF, F. M., BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina. Sci. Technol., 14(1):9-20. 2010.

RUESSINK, G. e RANASINGHE, R. Beaches. In: MASSELINK, G. e GEHRELS, R. Coastal Environments and Global Change. John Wiley e Sons, Ltd. 1 ed. 2014. p. 149 - 177.

SALGADO, C. M., PEIXOTO, M. N. O., MOURA, J. R. S. Caracterização do espaço temporal da chuva como talvez no município de Angra dos Reis, RJ. Revista Geosul. Rio de Janeiro, v. 22, 2007. p. 7 - 26.

SANTOS, A. L. F. dos, *et al.* Projeto Baías do Brasil. Baías de Ilha Grande e Sepetiba - RJ. COPPETEC - Engenharia Costeira e Oceanográfica. 2018.

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 (3), 2004. p. 355-360.

SEMENIUK, V. e BROCX, M. Beach Process. In: KENNISH, M. Encyclopedia of Estuaries. Springer Dordrecht, Heidelberg, New York, London. 2016. p. 55 - 71.

SHORT, A. D. Role of geological inheritance in Australian beach Morphodynamics. Coastal Engineering., 57, 2010. p. 92 - 97.

. Wave-dominated, tide-modified and tide-dominated continuum. In: JACKSON, D. W. T. e SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Elsevier Science. 2020. p. 363 - 389.

SHORT, A. D. e MASSELINK, G. Embayed and Structurally Controlled Beaches. In: SHORD, A. D. Handbook of beach and shoreface morphodynamics. John Wiley e Sons Ltd. Baffins Lane, Chichester, West Sussex, England. 1999. 378 p.

SIGNORINI, S. R. A study of the circulation in Bay of Ilha Grande and Bay of Sepetiba* Part I, A survey of the circulation based on experimental field data. Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, v. 29, n. 1, 1980. p. 41-55.

SILVA, A. L. C., SILVA, M. A. M., SANTOS, C. L. Comportamento Morfológico e Sedimentar da praia de Itaipuaçú (Maricá, RJ) nas últimas três décadas. Revista Brasileira de Geociências, v. 38 (1), 2008. p. 87-97.

SILVA, A. L. C., SILVA. M. A. M., SANTOS. C. L. Morfodinâmica e a Estabilidade da praia de Piratininga, Niterói (RJ). Revista Brasileira de Geociências, v. 39 (4), 2009. p. 685-694.

SILVA, A. L. C. *et al.* Caracterização Geomorfológica e Sedimentar da Planície Costeira de Maricá (Rio de Janeiro). Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 15, n. 2, 2014. p. 231 - 249.

SILVA, A. L. C. *et al.* Dinâmica de praia e suscetibilidade às ondas de tempestades no litoral da Ilha Grande (Angra dos Reis -RJ). Journal of Human and Environment of Tropical Bays, 2020.

SILVA, A. L. C., SILVA, M. A. M. As praias da Baía de Guanabara. In: DA FONSECA, E. M.; NETO, J. A. B.; POMPERMAYER, F. C. L. Baía de Guanabara: um ambiente em transformação. Ape'Ku Editora, Rio de Janeiro. 2021. p. 229 - 246.

SILVA, L. P. *et al.* Disponibilidade Hídrica da Bacia Hidrográfica da Baía da Ilha Grande: Análise dos dados Climatológicos de Angra dos Reis - RJ. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. 2003. p. 1 - 5.

SILVA, M. A. M., RESENDE, M. C. C. M., SANTOS, C. L. Um estudo sobre a Dinâmica das Praias de Niterói (Baía De Guanabara, RJ). Anais da Academia Brasileira de Ciências, 71 (4), 1999. p. 962 - 967.

SILVA, M. A. M. *et al.* Praias da Baía de Guanabara no estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 17, 2016. p. 205-225.

SILVA, M. D. C. *et al.* 2022. Caracterização dos serviços ecossistêmicos da Baía de Ilha Grande - RJ. Conjecturas. v. 22, n. 5, 1-15.

SKINNER, L. F. *et al.* Biodiversidade da Baía da Ilha Grande: Integrando Pesquisa e Divulgação Científica. 5º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade. UFRRJ. 2016. 8 p. ISSN 2525-4928.

SOARES, F. S., FRANCISCO, C. N., SENNA, M. C. A. Distribuição espaço-temporal da precipitação na região hidrográfica da Baía da Ilha Grande - RJ. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 29, n. 1, 2014. p. 125 - 138.

SOUZA, C. R. G. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: BONONI, V.L.R., SANTOS JUNIOR, N.A. Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado, Instituto de Botânica - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. 2009. p. 48 - 69.

SOUZA, C. R. G. *et al.* Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, C. R. G., SUGUIO, K., OLIVEIRA, A. M. S. e OLIVEIRA, P. E. Quaternário do Brasil. Ed. Holos, Brasil, 2005. p. 130 - 152.

SOUZA JUNIOR, M. D., MONTEIRO, L. C., PEREIRA, V. C. R. Determinação dos Aspectos Meteorológicos e Hidrodinâmicos Governantes na Baía da Ilha Grande, Rio de Janeiro. Relatório Técnico. 2012.

STIVE, M. J. F. *et al.* Variability of shore and shoreline evolution. Coastal Engineering 47, 2002. p. 211 - 235.

THIELER, E. R. *et al.* Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. 2009.

TON, A. M., VUIK, V. e AARNINKHOF, S. G. J. Sandy beaches in low-energy, non-tidal environments: Linking morphological development to hydrodynamic forcing. Geomorphology. v. 374, 107522. 2021. p. 1 - 11.

TRAVERS, A. Low-Energy Beach Morphology with Respect to Physical Setting: A Case Study from Cockburn Sound, Southwestern Australia. Journal of Coastal Research. 23 (2), 2007. p. 429 - 444.

TRAVERS, A. *et al.* Sheltered sandy beaches of southwestern Australia. In: BISHOP, P. e PILLANS, B. Australian Landscapes. Geological Society, London, Special Publications, 346, 2010. p. 23 - 42.

TUCKER, M. E. Sedimentary rocks in the field. 3. ed. Chichester: Ed. Wiley, 2003.

VILA-CONCEJO, A. *et al.* Estuarine shoreline processes in a dynamic low-energy system. Ocean Dynamics. 60: 285 - 298. 2010.

VILA-CONCEJO, A., GALLOP, L. e LARGIER, J. L. Sandy beaches in estuaries and bays. In JACKSON, D. W. T. e SHORT A. D. (Eds.), Sandy beach Morphodynamics. Elsevier. 2020. p. 343 - 362.

VILLENA, H. H. *et al.* Indícios da variação do nível do mar na Baía de Sepetiba. In: RODRIGUES, M. A., PEREIRA, S. D. e SANTOS, S. B. Baía de Sepetiba: Estado da Arte. Rio de Janeiro: Corbã, 2012, p. 39 - 59.

WANG, A. *et al.* The effects of wind-driven storm events on partly sheltered estuarine beaches in Batemans Bay, New South Wales, Australia. J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9, 314. https://doi.org/10.3390/jmse9030314.

WEBSTER, P. J. et al. Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. Science, 309, 2005. p. 1844 - 1846.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. The Journal of Geology. The University of Chicago Press, v. 30, n. 5, 1922. p. 377- 392.

ZHAO, S. *et al.* Morphological and sedimentary features of sandy-muddy transitional beaches in estuaries and bays along mesotidal to macrotidal coasts. Earth Surface Processes and Landforms Earth Surf. Process. Landforms 45, 1660 - 1676. 2020.