



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Educação e Humanidades

Faculdade de Formação de Professores

Letícia Fernandes Silva Alves

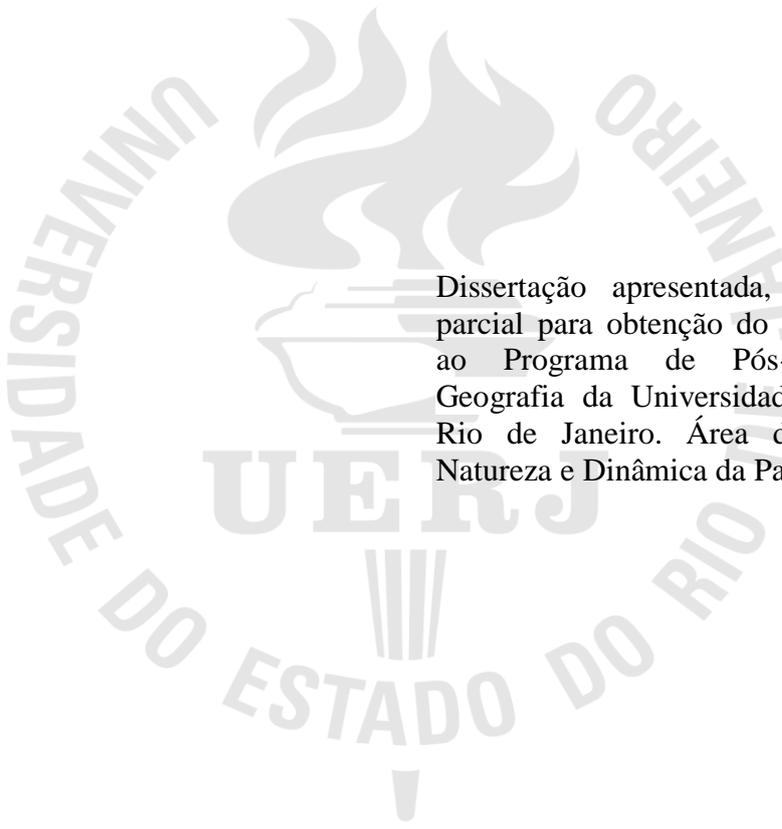
**Dinâmica morfológica e sedimentar do litoral de Maricá (RJ) nas últimas  
décadas e susceptibilidade às ondas de tempestade**

São Gonçalo

2023

Letícia Fernandes Silva Alves

**Dinâmica morfológica e sedimentar do litoral de Maricá (RJ) nas últimas décadas e susceptibilidade às ondas de tempestade**



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. Rodrigo Coutinho Abuchacra

Coorientador: Prof. Dr. André Luiz Carvalho da Silva

São Gonçalo

2023

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

A474 Alves, Letícia Fernandes Silva.  
Dinâmica morfológica e sedimentar do litoral de Maricá (RJ) nas últimas décadas e susceptibilidade às ondas de tempestade / Letícia Fernandes Silva Alves. – 2023.  
113f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Coutinho Abuchacra.  
Coorientador: 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 – Maricá (RJ) – Teses. 2. Costa – Proteção – Maricá (RJ) – Teses. 3. Dinâmica costeira – Teses. I. Abuchacra, Rodrigo Coutinho. II. Silva, André Luiz Carvalho da. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Formação de Professores. IV. Título.

CRB/7 – 4994 CDU 551.435.3(815.3)

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

---

Assinatura

---

Data

Letícia Fernandes Silva Alves

**Dinâmica morfológica e sedimentar do litoral de Maricá (RJ) nas últimas décadas e susceptibilidade às ondas de tempestade**

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 22 de Novembro de 2023.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Rodrigo Coutinho Abuchacra (Orientador)  
Faculdade de Formação de Professores – UERJ

---

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

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Neise Mare de Souza Alves  
Universidade Federal de Sergipe

---

Prof. Dr. Vinicius da Silva Seabra  
Faculdade de Formação de Professores – UERJ

São Gonçalo

2023

## AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus por ter me concedido coisas incríveis ao longo de toda a minha trajetória até aqui. E por se fazer presente em todos os momentos da minha vida, mesmo quando eu acreditava está sozinha, me mostrou que eu só precisava confiar na tua palavra e no teu amor. Obrigada, meu Deus.

Quero agradecer a minha família, aos meus pais José Augusto e Claudinete e ao meu irmão Luan por terem me apoiado em todos os momentos e por terem me dado suporte para que eu realizasse todas as atividades que envolveram a minha formação. Por sempre terem me incentivado a continuar e a buscar cada vez mais conhecimento. Sem vocês nada disso seria possível. Eu amo vocês.

Gostaria também de agradecer ao meu noivo Bruno, por ter sido tão parceiro e amigo durante esses últimos anos, sempre me incentivando e me apoiando em todos os momentos. Saiba que foi fundamental o seu apoio e ombro amigo. Obrigada, meu parceiro-amigo-namorado.

Obrigada aos meus orientadores Prof<sup>o</sup> André Luiz Carvalho da Silva e Prof<sup>o</sup> Rodrigo Coutinho Abuchacra por terem me dado a oportunidade de trabalhar com vocês durante esses anos, pela disponibilidade, pelas orientações, por todo suporte durante a pandemia e ensinamentos passados para que eu pudesse hoje está concluindo mais uma etapa na minha vida.

Agradeço aos integrantes que fizeram e que fazem parte do grupo de pesquisa Gecost da FFP-UERJ. Obrigada por sempre estarem disponíveis para troca de conhecimento, assim como pelas ajudas concedidas durante os trabalhos de campo e durante os anos de pesquisa, em especial a Jessyca dos Santos Araujo que foi a minha companheira de pós graduação, pandemia, campo, surtos e alegrias.

Agradeço a equipe que se prontificou a me ajudar a realizar os trabalhos de campo, sempre dispostos e proativos para que pudéssemos fazer um excelente campo e coletar bons dados para que a dissertação pudesse sair. Obrigada, Alexandre, por ter se arriscado em uma das áreas mais perigosas de Maricá. Obrigada, Maria Beatriz, por ter colaborado com a topografia e as anotações. Obrigada, Jessyca, pelas fotos maravilhosas obtidas através do drone e pelo companheirismo. Obrigada Ana Beatriz e Andrea por terem ajudado a obter mais dados durante o campo.

Gostaria de agradecer também a todos os pesquisadores, professores e estudantes que contribuíram para a geração de dados de topografia praial no litoral de Maricá, permitindo assim a realização desse trabalho. Gostaria de agradecer especialmente aos professores Dieter Carl Ernst Heino Muehe, Maria Augusta Martins da Silva, André Luiz Carvalho da Silva e Flávia Lins de Barros.

## RESUMO

ALVES, L. F. S. *Dinâmica Morfológica e sedimentar do litoral de Maricá (RJ) nas últimas décadas e susceptibilidade às ondas de tempestade*. 2023. 113f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2023.

As intervenções humanas no litoral afetaram a dinâmica e a evolução costeira no mundo. No litoral de Maricá, no Estado do Rio de Janeiro, a expansão urbana intensificou-se a partir da construção da ponte Rio-Niterói em 1974, com um aumento expressivo no número de residências e do turismo na região. Essa ocupação, no geral, merece uma atenção especial em função da elevada dinâmica deste litoral, sujeito à ocorrência de eventos de alta energia associados à incidência de ondas de tempestades. Esses eventos têm, historicamente, causado danos às construções e demais estruturas urbanas, inundações e comprometido o equilíbrio dos sistemas ambientais costeiros. Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar a dinâmica morfológica e sedimentar das praias do município de Maricá nas últimas décadas, em resposta aos eventos associados à incidência de ondas de tempestades. Para tal, foram adquiridos 35 novos perfis topográficos de praia ao longo do ano de 2022. Esses dados foram posteriormente integrados com resultados de estudos realizados nas últimas décadas por diversos autores. Foi realizado também o cálculo do volume emerso de sedimentos, a análise de geoindicadores e diversos registros fotográficos. Para tal, foram selecionadas as praias de Itaipuaçu, APA e Barra de Maricá, Cordeirinho e Ponta Negra. Os resultados mostram uma elevada variabilidade topográfica da praia, com destaque para o setor oeste de Itaipuaçu, com uma variação de 45 m na largura entre a máxima e a mínima. O cálculo do volume de sedimentos emersos mostra que os setores da praia apresentam um equilíbrio sedimentar, exceto a praia de Barra de Maricá e Ponta Negra (P8) que apresentaram uma redução no volume (42,75% e 31,54% respectivamente) nas últimas décadas. As praias de Itaipuaçu e Barra de Maricá foram as que mais receberam intervenções em detrimento das outras e são, conseqüentemente, as áreas que apresentaram uma alta susceptibilidade a erosão costeira. Os problemas detectados na praia da Barra de Maricá e de Ponta Negra (destruição da estrada e de residências, respectivamente), preocupam e alertam para a ocorrência de processos erosivos neste trecho do litoral. A variabilidade morfossedimentar observada resulta das rápidas mudanças na energia das ondas que incidem no litoral, principalmente quando associadas a condições de tempestade. Além da elevada dinâmica, resultante da exposição direta a essas ondas de tempestade, no litoral de Maricá deve-se atentar para a proximidade das estruturas urbanas em relação à faixa de areia dinâmica da praia, o que só não ocorre no trecho correspondente à APA de Maricá. Sendo assim, por se tratar de um litoral dinâmico, com alto grau de suscetibilidade à incidência de grandes ondas de tempestades ao longo de todo arco praias e erosão nos locais com redução no volume sedimentar, é fundamental que se adote medidas a fim de proteger a costa e mitigar os impactos das construções próximas e/ou dentro das praias, através de soluções baseadas na natureza ou até mesmo a partir da retirada dessas estruturas rígidas. Diante do exposto, faz-se necessário monitorar de forma contínua esse litoral e os problemas existentes, devido a elevada suscetibilidade do mesmo à erosão costeira.

Palavras-chave: dinâmica costeira, praias arenosas, erosão, Litoral de Maricá.

## ABSTRACT

ALVES, L. F. S. *Morphological and sedimentary dynamics of the coast of Maricá (RJ) in recent decades and susceptibility to storm waves*. 2023. 113f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2023.

Human interventions on the coast have affected coastal dynamics and evolution around the world. On the coast of Maricá, in the State of Rio de Janeiro, urban expansion intensified after the construction of the Rio-Niterói bridge in 1974, with a significant increase in the number of residences and tourism in the region. This occupation, in general, deserves special attention due to the high dynamics of this coastline, subject to the occurrence of high-energy events associated with the incidence of storm waves. These events have historically caused damage to buildings and other urban structures, floods and compromised the balance of coastal environmental systems. In this sense, the present study aims to analyze the morphological and sedimentary dynamics of the beaches in the municipality of Maricá in recent decades, in response to events associated with the incidence of storm waves. To this end, 35 new beach topographic profiles were acquired throughout 2022. These data were subsequently integrated with results from studies carried out in recent decades by several authors. The calculation of the emerged volume of sediments, analysis of geoindicators and various photographic records were also carried out. To this end, the beaches of Itaipuaçu, APA and Barra de Maricá, Cordeirinho and Ponta Negra were selected. The results show a high topographic variability of the beach, with emphasis on the western sector of Itaipuaçu, with a variation of 45 m in width between maximum and minimum. The calculation of the volume of emerged sediments shows that the beach sectors present a sedimentary balance, except for the beaches of Barra de Maricá and Ponta Negra (P8) which presented a reduction in volume (42.75% and 31.54% respectively) in the recent decades. The beaches of Itaipuaçu and Barra de Maricá were the ones that received the most interventions to the detriment of the others and are, consequently, the areas that showed a high susceptibility to coastal erosion. The problems detected on the beaches of Barra de Maricá and Ponta Negra (destruction of the road and homes, respectively), cause concern and alert to the occurrence of erosion processes on this stretch of coast. The observed morphosedimentary variability results from rapid changes in wave energy that hit the coast, especially when associated with storm conditions. In addition to the high dynamics, resulting from direct exposure to these storm waves, on the coast of Maricá one must pay attention to the proximity of urban structures in relation to the beach's dynamic sand strip, which does not occur in the stretch corresponding to the APA of Sissy boy. Therefore, as it is a dynamic coastline, with a high degree of susceptibility to the incidence of large storm waves along the entire beach arc and erosion in places with a reduction in sediment volume, it is essential to adopt measures to protect the coastal area. coast and mitigate the impacts of constructions close to and/or within the beaches, through nature-based solutions or even through the removal of these rigid structures. In view of the above, it is necessary to continuously monitor this coastline and the existing problems, due to its high susceptibility to coastal erosion.

Keywords: coastal dynamics, Coastline of Maricá, susceptibility, erosion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Área de estudo .....	17
Figura 2 –	Mapa de uso e cobertura da terra do município de Maricá .....	18
Figura 3 –	Ondas de tempestade na praia de Ponta Negra .....	19
Figura 4 –	Refração de ondas provenientes de Sudeste (SE), Sudoeste (SW) e Sul (S) .....	21
Figura 5 –	Mapa de classificação da vulnerabilidade costeira de Maricá .....	22
Figura 6 –	Praias estudadas do litoral de Maricá .....	23
Figura 7 –	Obras de revitalização na orla da praia de Itaipuaçu .....	25
Figura 8 –	Maquete do resort na APA de Maricá, modelo de recife artificial e projeto de urbanização da orla de Ponta Negra .....	25
Figura 9 –	Propriedades físicas da onda .....	27
Figura 10 –	Formas de arrebentação .....	28
Figura 11 –	Células de circulação costeira .....	29
Figura 12 –	Corrente de fluxo e refluxo de ondas ( <i>swash e backwash</i> ) .....	29
Figura 13 –	Marés de sizígia e quadratura .....	31
Figura 14 –	Barreiras arenosas e ambientes costeiros associados .....	32
Figura 15 –	Subdivisão morfológica de praias .....	33
Figura 16 –	Classificação morfológica de praias .....	36
Figura 17 –	Ajustes sazonais do perfil de praia induzidos por ondas .....	38
Figura 18 –	Perfis topográficos de praia: verão (tempo bom) e inverno (tempestade) .....	38
Figura 19 –	Impacto de obras de engenharia no ambiente de praia .....	44
Figura 20 –	Perfil da orla marítima .....	46
Figura 21 –	Pontos de monitoramento .....	50

Figura 22 –	Esquema de levantamento topográfico de praia utilizando balizas de Emery (1961) .....	51
Figura 23 –	Tratamento dos perfis de praia no software Grapher 7 .....	52
Figura 24 –	Classificação morfológica das praias através do Software Coastal MD	53
Figura 25 –	Realização do cálculo do volume emerso dos sedimentos das praias ....	54
Figura 26 –	Perfil topográficos da praia de Itaipuaçu entre os anos de 1998 a 2022	56
Figura 27 –	Perfil topográficos da praia de Itaipuaçu entre os anos de 1998 a 2022	58
Figura 28 –	Perfil topográficos da praia de Itaipuaçu entre os anos de 2004 a 2022	59
Figura 29 –	Perfil topográfico da praia da APA de Maricá (P4) entre os anos de 2008 a 2022 .....	60
Figura 30 –	Perfil topográfico da praia da APA de Maricá (P5) entre os anos de 2008 a 2022 .....	61
Figura 31 –	Perfil topográfico da praia da Barra de Maricá entre os anos de 2012 a 2022 .....	62
Figura 32 –	Perfil topográfico da praia de Cordeirinho entre os anos de 2012 a 2022 .....	63
Figura 33 –	Perfil topográfico da praia de Ponta Negra (P8) entre os anos de 2012 a 2022 .....	65
Figura 34 –	Perfil topográfico da praia de Ponta Negra (P9) entre os anos de 2012 a 2022 .....	66
Figura 35 –	Cálculo do volume emerso de sedimentos da Praia de Itaipuaçu .....	68
Figura 36 –	Cálculo do volume emerso de sedimentos da APA de Maricá .....	70
Figura 37 –	Cálculo do volume emerso de sedimentos da Barra de Maricá e Cordeirinho .....	71
Figura 38 –	Cálculo do volume emerso de sedimentos de Ponta Negra .....	73
Figura 39 –	Danos causados pós evento de tempestade no litoral de Maricá .....	76
Figura 40 –	Obras de engenharia na Praia de Itaipuaçu .....	78
Figura 41 –	Obras de engenharia na Praia da Barra de Maricá e Cordeirinho .....	79
Figura 42 –	Obras de engenharia na Praia de Ponta Negra .....	80

Figura 43 – Danos causados por ondas de tempestades as estruturas de engenharia	81
Figura 44 – Variabilidade dos perfis topográficos no litoral de Maricá .....	84
Figura 45 – Volume emerso de sedimentos do arco praial de Maricá .....	86
Figura 46 – Compilado de imagens mostram estruturas rígidas no litoral de Maricá e sua destruição .....	91
Figura 47 – Frequência de ventos de ressaca no Estado do Rio de Janeiro entre 2016 a 2022 .....	95
Figura 48 – Projeção de crescimento da cidade de Maricá para 2030 .....	98
Figura 49 – Mapa síntese do litoral de Maricá .....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicativos de erosão costeiras no Brasil .....	40
Tabela 2 – Exemplos de obras costeiras e seus impactos na dinâmica costeira .....	45
Tabela 3 – Dados de topografia praial disponíveis no litoral de Maricá desde a década de 1970 .....	48
Tabela 4 – Geoindicadores e categoria de susceptibilidade .....	54
Tabela 5 – Geoindicadores encontrados nas praias de Maricá .....	75
Tabela 6 – Tabela síntese com obras realizadas no litoral de Maricá e os danos recorrentes .....	90

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	26
1.1	<b>Processos físicos costeiros</b> .....	26
1.2	<b>Sistema praia-barreira arenosa</b> .....	31
1.3	<b>Dinâmica e erosão de praias</b> .....	34
1.4	<b>Usos e ocupação do litoral e intervenções na praia</b> .....	41
2	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	47
2.1	<b>Levantamento bibliográfico</b> .....	47
2.2	<b>Metodologia de campo</b> .....	49
2.3	<b>Tratamento e análise dos dados</b> .....	51
3	<b>RESULTADOS</b> .....	55
3.1	<b>Variabilidade morfológica das praias</b> .....	55
3.2	<b>Dinâmica do arco praiado com base nos dados de volume emergente de sedimentos</b> .....	66
3.3	<b>Áreas mais susceptíveis a erosão costeira com base na análise dos geoindicadores</b> .....	74
3.4	<b>Principais intervenções realizadas na orla de Maricá e danos causados por eventos de tempestades</b> .....	77
4	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	82
4.1	<b>Dinâmica morfossedimentar do arco praiado de Maricá</b> .....	82
4.2	<b>Intervenções costeiras e áreas susceptíveis a erosão</b> .....	88
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	100
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	103

## INTRODUÇÃO

A humanidade está cada vez mais preocupada em compreender a evolução, dinâmica e trajetórias da linha costa em escala global diante dos potenciais impactos das intervenções no litoral, em associação às mudanças climáticas (Luijendijk et al., 2018; Murray et al., 2019). A zona costeira detém grande importância devido a sua relevância social e econômica, além das belezas naturais que atraem uma grande quantidade de turistas e visitantes de diversas áreas. O litoral possui diferentes tipos de usos e funções, que passam desde as atividades voltadas para o lazer, até as atividades de subsistência, como pesca e transporte (Moraes, 2007). Porém, todo esse conjunto de usos, e as modificações decorrentes, estão cada vez mais intensos ao longo das últimas décadas, gerando diversos impactos ao meio ambiente (Souza et al., 2005). Essas intervenções tornam cada vez mais urgente e necessário o acompanhamento das alterações e respostas dos ambientes litorâneos, assim como da busca por ações voltadas para mitigar os efeitos das mesmas.

Os eventos de grande magnitude associados a ressacas são originados por ondas que se formam durante condições de tempestades excepcionais, como os furacões, tufões e ciclones, no qual são responsáveis pelas maiores alterações na morfologia praial, envolvendo o deslocamento de grande quantidade de sedimentos (Davis, 1985). Esses eventos de tempestade ocorrem a partir da influência de grandes ondas que se deslocam em direção as áreas litorâneas com diferentes graus de energia (Komar, 1976; Hallermeier, 1981). Em grande parte dos litorais Sul e Sudeste do Brasil, esses eventos ocorrem principalmente entre os meses de abril e setembro (Lins-de-Barros et al., 2018), quando as ondas de tempestade podem alcançar alturas superiores a 3 metros, com elevado potencial para causar diversos danos aos municípios litorâneos.

Os impactos causados pela ação das ondas de tempestade no litoral podem ser intensificados ou mesmo induzidos por alterações no ambiente de praia, realizadas para os mais diversos fins (moradia, lazer, acessibilidade, proteção, entre outros). Embora as ressacas sejam fenômenos naturais, a ocupação cada vez mais densa e sem o planejamento adequado para as áreas litorâneas, tem causado no Brasil e no mundo modificações na estabilidade dos sistemas costeiros ao inibir a mobilidade natural dos sedimentos (Lins-de-Barros et al., 2018). As intervenções humanas nos litorais, associadas às mudanças observadas nas últimas décadas nos regimes de ventos e ondas, tem potencializado os danos em estruturas de engenharia permanentes (Hemer et al., 2013). Tais mudanças são mais preocupantes em

litorais urbanizados e que apresentam elevada dinâmica, potencializando a erosão costeira. Entre 1984-2016, cerca de 24% das costas arenosas mundiais experimentaram perdas decorrentes de um processo de erosão (Luijendijk et al., 2018), o que causou problemas relacionados a inundações, destruições de estruturas urbanas, perda de terreno costeiro, desvalorização imobiliária, entre outros (Lins-de-Barros, 2016; Leaman et al, 2021).

Atualmente, cerca de 58% da população brasileira encontram-se localizada em uma faixa de 200 km próximo ao litoral (IBGE, 2018). O litoral do Estado do Rio de Janeiro possui 33 municípios litorâneos, que concentram atualmente cerca de 83% da população (11 milhões de pessoas), com uma densidade demográfica de 585 hab/km<sup>2</sup> (INEA, 2015). A temática referente à dinâmica de praias e a susceptibilidade às ondas de tempestade vem crescendo ao longo dos anos, devido as adversidades causadas pela urbanização acelerada, e por vezes desordenada, resultando cada vez mais em problemas associados à erosão de praias no litoral do Rio de Janeiro.

Devido à crescente relevância atribuída a problemas relacionados à erosão costeira, muitos pesquisadores tem se dedicado nas últimas décadas a contribuir com estudos voltados para o entendimento de como o litoral fluminense tem respondido às modificações decorrentes do avanço da urbanização nas últimas décadas e os efeitos na dinâmica costeira. Esses estudos representam importantes contribuições para o entendimento da dinâmica e erosão de praias em diferentes trechos do litoral fluminense.

O ambiente de praia representa a primeira proteção do litoral contra as grandes tempestades (Carter, 1988). A maioria das praias em ambiente urbano são descaracterizadas com a introdução de obras de engenharia, como constatado nas praias da Baía de Guanabara por Silva et al. (2016), nas praias oceânicas de Niterói por Eccard et al. (2017) e mesmo em Maricá por Silva et al. (2008a; 2014a) e Dutra et al. (2022). Além da descaracterização, que altera a geomorfologia das praias, em muitos casos as intervenções contribuem para a erosão das mesmas, o que pode gerar a necessidade de se realizar procedimentos voltados para a recuperação da faixa de areia emersa de uma praia. Nos Estados Unidos, há quase um século, deu-se início a uma série de ações voltadas para a recuperação de diversas praias erodidas por meio do engordamento artificial com sedimentos (cerca de 1,2 bilhões de m<sup>3</sup> de areia), evidenciando a forte relação entre a urbanização e o colapso da dinâmica costeira natural (Elko et al., 2021). No Rio de Janeiro o exemplo mais famoso de recuperação de praias por meio do engordamento (ou alimentação) artificial com sedimentos ocorreu em Copacabana, com cerca de 3,5 milhões de m<sup>3</sup> de área, o que possibilitou restabelecer 80 metros de extensão da faixa de areia da praia (Kvassay et al., 2019). Essa obra, concluída em 1970,

obteve êxito ao diminuir os danos nas construções causados pelas ondas de tempestade; também proporcionou mais espaço para os banhistas e frequentadores da praia (Silva e Lins-de-Barros, 2021). Apesar dessas ações voltadas para a recuperação de praias erodidas, cabe ressaltar que no Brasil e especialmente no Rio de Janeiro, é possível identificar diversas tentativas de estabilizar o litoral através da introdução de estruturas rígidas dentro do ambiente de praia, o que tende a afetar não só a dinâmica natural desse ambiente, através do aprisionamento de sedimentos, mas também alterando a biodiversidade e as diversas formas de lazer, como também constatado por Castillo et al. (2021) na praia de Moín, no Caribe Sul da Costa Rica.

Apesar das contribuições importantes dadas por diversos pesquisadores que se dedicaram a estudar a dinâmica do litoral de Maricá, algumas questões necessitam ser investigadas. Talvez, a mais urgente e relevante de todas refira-se à investigação acerca de como o litoral tem se comportado frente às modificações recentes e qual é o seu nível de equilíbrio dinâmico (ou não) em relação às condições ambientais e intervenções antrópicas. Qual é a relação entre a dinâmica espaço-temporal de médio prazo (interdecadal) e os problemas existentes? Os problemas existentes e o histórico de danos conhecidos no litoral de Maricá entre Itaipuaçu e Ponta Negra são o resultado do comportamento dinâmico e retrogradante deste litoral? Ou estão mais diretamente relacionados às modificações decorrentes dos padrões de ocupação?

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar a dinâmica morfológica e sedimentar das praias localizadas no município de Maricá (RJ), almejando compreender como o litoral tem respondido aos eventos de tempestades. Esses resultados serão comparados a estudos realizados nas últimas quatro décadas por Muehe (1975), Silva et al. (2008a), Silva et al. (2008b), Pardal (2009), Silva et al. (2014), Silva et al. (2015) e Pinheiro et al. (2015). As praias de Itaipuaçu, APA e Barra de Maricá, Guaratiba, Cordeirinho e Ponta Negra, todas localizadas no litoral de Maricá, foram selecionadas para a realização do presente estudo. Essas praias estão associadas a uma barreira arenosa de idade holocênica (Silva et al. 2014a; Silva et al. 2014b; Silvestre et al. 2015), e que vem apresentando um comportamento retrogradante nas últimas décadas, conforme Silva et al. (2008b) e Lins-de-Barros (2005). A migração da barreira na direção do continente, assim como, a elevada dinâmica deste trecho costeiro, chama a atenção e preocupa, sobretudo devido ao aumento no número de residências e de intervenções recentes na orla.

## **Objetivos**

### **Objetivo geral:**

Analisar o comportamento morfossedimentar do litoral de Maricá nas últimas décadas.

### **Objetivos específicos:**

- Caracterizar a variabilidade morfológica das praias de Maricá e a resposta dessas aos eventos de tempestades;
- Analisar o comportamento do litoral de Maricá a partir da integração de dados recentes e pretéritos (desde a década de 1970);
- Caracterizar a dinâmica sedimentar com ênfase nos processos de acumulação e perda/erosão nas praias;
- Identificar as principais obras e estruturas de engenharia inseridas no litoral e os seus danos potenciais;
- Indicar as áreas mais susceptíveis a erosão e danos causados por ondas de tempestade, gerando subsídios para o gerenciamento costeiro integrado.

## **Caracterização da área de estudo**

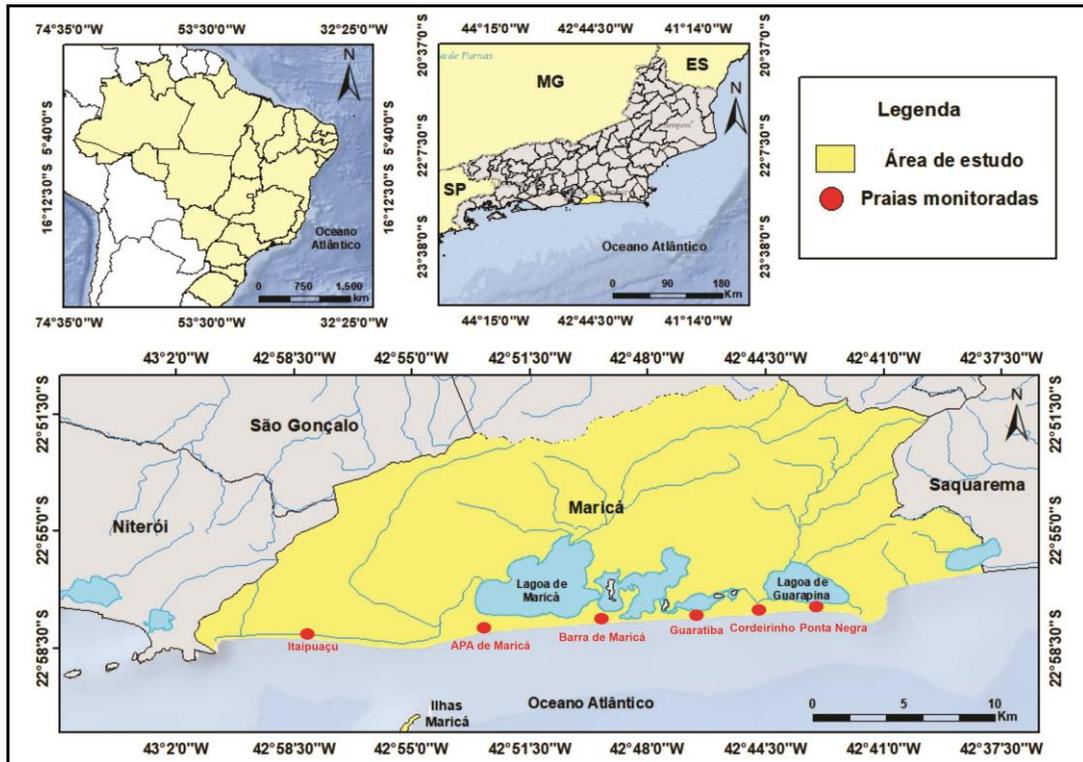
A área de estudo (Figura 1) possui 34 quilômetros de extensão, com uma orientação Leste-Oeste, limitando-se na extremidade oeste pela Pedra do Elefante em Itaipuaçu e pelo costão de Ponta Negra no limite leste; abrangendo as praias de Itaipuaçu, APA de Maricá (incluindo o trecho conhecido como praia do Francês), Barra de Maricá, Guarapina, Cordeirinho e Ponta Negra (Figura 9). Essas praias estão localizadas num trecho correspondente à planície costeira de Maricá (Figura 1), no Leste Metropolitano do Rio de Janeiro, distante 49 quilômetros da entrada da Baía de Guanabara. O município de Maricá se situa entre Niterói (a oeste), Saquarema (a leste), São Gonçalo, Itaboraí e Tanguá (ao norte) e pelo oceano Atlântico (ao sul).

O processo de urbanização do município de Maricá foi impulsionado pela construção da rodovia Amaral Peixoto na década de 1950, que faz a ligação entre a Região Metropolitana do Rio de Janeiro e os municípios da Região das Baixadas Litorâneas. A partir da década de 1970 ocorreu a intensificação desse processo com a construção da Ponte Presidente Costa e Silva (Ponte Rio-Niterói) (Eccard et al., 2017). Ao longo dos últimos anos foi possível identificar uma aceleração do processo de ocupação do litoral, primeiramente como áreas de

veraneio e atualmente como áreas residências. Nas últimas 5 décadas, essa expansão urbana em Maricá se deu a partir do estabelecimento dos modais viários e pelos empreendimentos regionais de grande porte, sendo um dos vetores para a ocupação desse litoral, além das belezas paisagens naturais (Rodrigues et al., 2021).

As praias de Maricá pertencem a um trecho do litoral fluminense conhecido como Costa do Sol. O município conta com a presença de importantes unidades de conservação, como o Parque Estadual da Serra da Tiririca (PESET) (INEA, 2021), que está inserido no contexto de vegetação de Mata Atlântica nos morros; e de restinga, representada por diversas comunidades vegetais na planície costeira (Biazzi & Tonello, 2014; Costa et al., 2016; Santos et al., 2017). A Área de Proteção Ambiental de Maricá (APA de Maricá) também representa uma importante unidade de conservação, localizada na porção central do litoral. Essa área foi transformada em Unidade de Conservação, juntamente com a Ilha Cardoso e a Ponta do Fundão, pelo Decreto nº 7.230 de 23 de janeiro de 1984, mas seus zoneamentos governamentais só foram aprovados após 23 anos, a partir da publicação do Plano de Manejo - Decreto Estadual nº 41048/2007 e o Plano Diretor Setorial - Lei Municipal 2331/2010, ambos questionados na Justiça Estadual e Federal (Santos et al., 2017). Esse trecho do litoral de Maricá apresenta uma biodiversidade considerável, com cerca de 408 espécies de flora e fauna, sendo várias delas raras e endêmicas (Guerra et al., 2010), além de sítios arqueológicos e alguns recursos minerais (Faria e Bohrer, 2005; Loureiro et al., 2010; Santos et al., 2017). A APA de Maricá apresenta diversos problemas decorrentes do abandono, do acúmulo de lixo, queimadas, mineração ilegal de areias e tráfego irregular de veículos sobre as dunas (Silva et al., 2014c) (Figura 3). Apesar dos problemas mencionados, o litoral da APA de Maricá ainda mantém preservada a vegetação de restinga, de extrema importância para a proteção da costa frente às ressacas e as mudanças climáticas recentes. Atualmente, esta área sofre com a ameaça de se construir, dentro dos seus limites, um megaempreendimento imobiliário (resort), na restinga que conta com o maior número de trabalhos científicos do país. Esse projeto vem provocando a reação de pescadores locais (Colônia de Pescadores Zacarias), que residem nesta área há mais de um século, e para quem o pescado representa a principal fonte de sobrevivência; da comunidade científica, que há décadas desenvolve pesquisas nesta APA sob as mais diversas áreas do conhecimento (geomorfologia, geologia, biologia, arqueologia, etc.); e de diversos segmentos da sociedade, comprometidos com a preservação deste magnífico ambiente.

Figura 1 – Área de estudo



Fonte: A autora, 2020.

O clima em Maricá é do tipo tropical úmido (Aw), caracterizado por uma estação quente, com chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média anual varia entre 24°C e 27°C, no qual nos meses de verão as temperaturas podem atingir 40°C, com taxas pluviométricas entre 66 e 186 milímetros ao ano durante as estações (Climatempo, 2020). A umidade relativa do ar varia entre 80% a 90% devido à influência marinha (Cruz et al., 2010). Os ventos possuem direções variadas, sendo influenciados pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul provenientes do quadrante leste e nordeste, quando predominam condições de estabilidade; tornando-se mais intensos de sul, sudeste e sudoeste, quando influenciados pelas massas polares do sul do Brasil (CPTEC-INPE, 2015); e de norte-noroeste quando da ocorrência de chuvas de verão (Almeida & Silva-Junior, 2007).

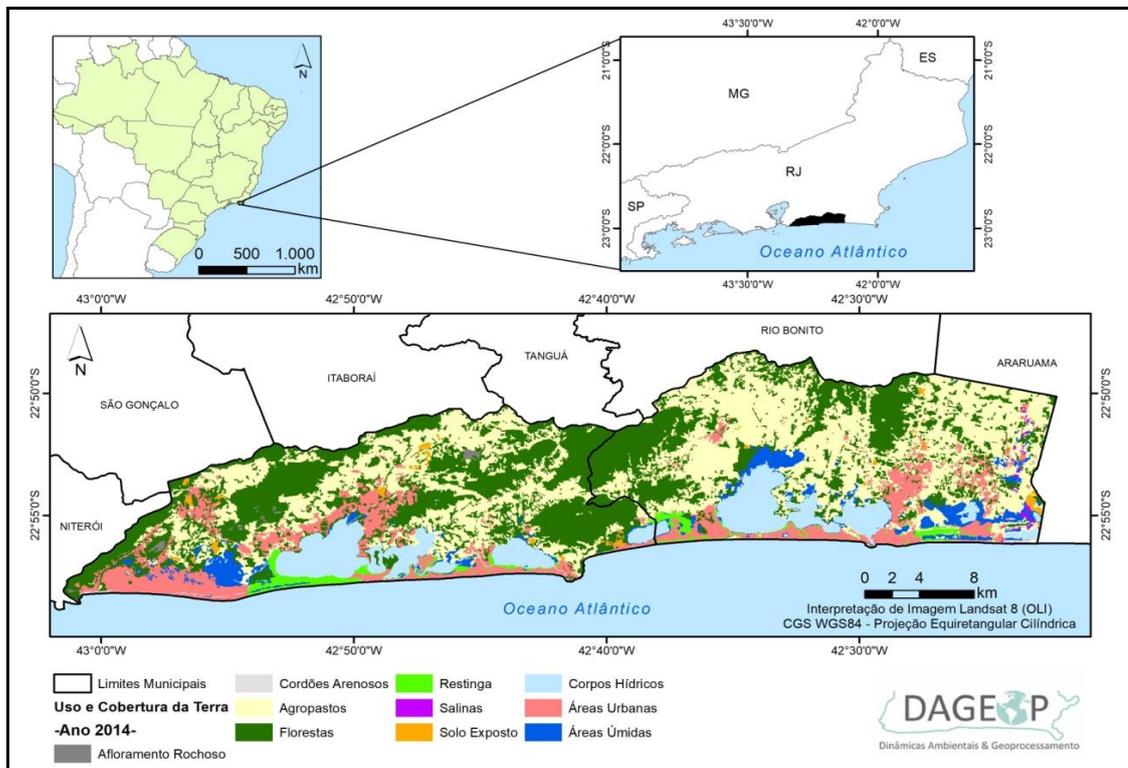
A geologia do município é marcada pela presença de embasamentos cristalinos Pré-Cambrianos, compostos principalmente por rochas graníticas, que representam as maiores elevações encontradas no município (Eger et al., 2013). A geomorfologia da planície costeira de Maricá é caracterizada pela presença de duas barreiras arenosas (pleistocênica e holocênica), separadas por pequenas lagoas colmatadas formadas a partir das oscilações do nível do mar no período do Quaternário (Barros & Muehe, 2010, Silva et. al., 2014a). À

retaguarda dessas barreiras estão localizadas as lagoas de Maricá, Barra, Padre e Guarapina, conectadas ao oceano pelo canal de Ponta Negra no setor leste do litoral estudado (Silva et al., 2014a). (Figura 2)

A dinâmica do litoral de Maricá é marcada pela incidência de ondas de alta energia que, associadas à formação de correntes, são responsáveis pelas variações na largura e morfologia das praias (Silva et al., 2008a; Silva et al., 2014a). A amplitude de maré no litoral de Maricá é de aproximadamente 1,50 metros (DHN), característica do regime de micro-maré, no qual a dinâmica é determinada principalmente pela ação das ondas que incidem no litoral.

As linhas de costa são vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas em escala global, devido ao aumento do nível do mar e em escala regional, às mudanças no regime de ondas (tempestades). No litoral da área de estudo, os impactos causados pela interferência de frente fria e formação de ciclone extratropical influenciam diretamente a ocorrência de ondas de tempestade e consequentemente de inundações e erosão costeira. (Masselink et. al., 2016).

Figura 2 – Mapa de uso e cobertura da terra do município de Maricá



Fonte: Adaptado de Seabra et al.; 2015

A alta energia das ondas geram fortes arrebenções provenientes principalmente de Sudeste (SE) associadas às condições de tempo bom, e de Sul (S) e Sudoeste (SW) quando há ocorrência de tempestades, período em que chegam a atingir 3 metros de altura ou mais

durante as ressacas (Muehe, 1975; Silva, et al., 2008a; Silva et al., 2014a) (Figura 3). A forma de arrebentação varia bastante, predominando no litoral o tipo mergulhante (*plunging*), seguido por progressiva (*spilling*) e ascendente (*surging*) em pouca quantidade (Silva et al., 2008a; Silva et al., 2014a).

Lins de Barros (2005) realizou simulações de eventos extremos (ondas de 4 metros, períodos de 14 segundos e ventos de 10m/s) através de um modelo de refração de ondas (Figura 4), para três direções representativas de tempestade: Sul, Sudeste e Sudoeste. Com base nos resultados dos modelos, a autora mostrou que a região do Recanto de Itaipuaçu e de Guaratiba são as áreas mais expostas às ondas de grande magnitude, provenientes das três direções analisadas (SW, SE, S).

Figura 3 – Ondas de tempestade na praia de Ponta Negra



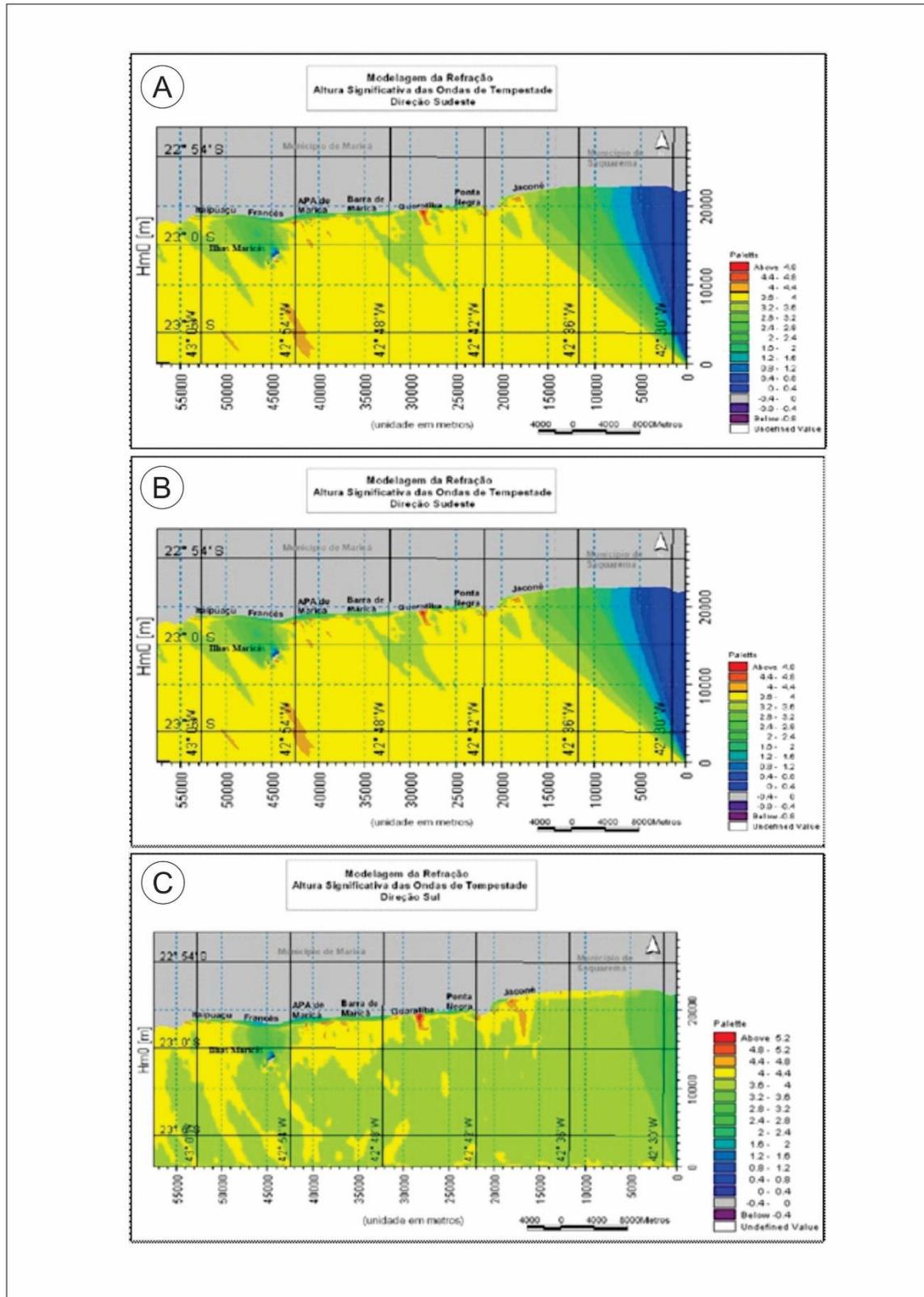
Fonte: Jamile Costa, 2020

Estudos feitos por Osilieri, et. al. (2020) demonstraram que 69% da costa de Maricá apresentam vulnerabilidade a eventos extremos elevada ou muito elevada (Figura 5). Em Itaipuaçu há dois trechos com vulnerabilidade entre baixa e muito baixa. O restante da costa possui vulnerabilidade elevada ou moderada. No trecho que corresponde a APA de Maricá o índice é considerado moderado, em função dos campos de dunas que oferecem maior proteção ao litoral. No setor correspondente a Barra de Maricá há maior vulnerabilidade

devido à densidade urbana e a ausência de dunas, aumentando o grau de exposição e vulnerabilidade (Osilieri, et. al.; 2020).

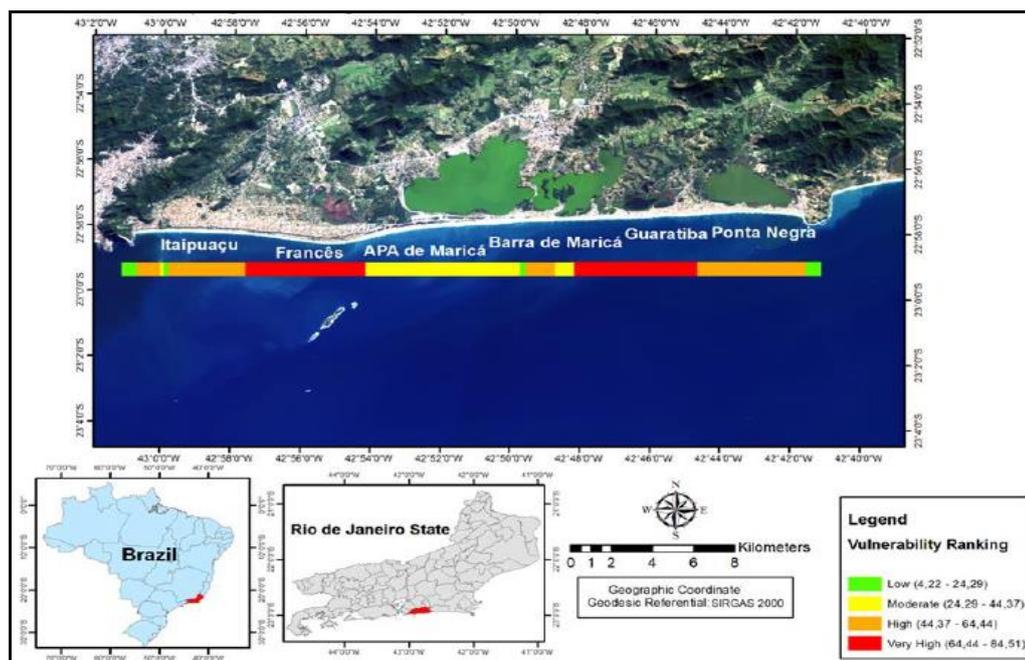
Entre as praias selecionadas para o presente estudo, a praia de Itaipuaçu (Figura 6A) é uma das mais extensas, com aproximadamente 10 km de arco praial, sendo limitada pela Pedra do Elefante (parte da serra da Tiririca) a Oeste e a Leste pelo Pontal de Itaipuaçu. A porção leste do litoral de Itaipuaçu possui a vegetação de restinga parcialmente preservada, apesar do rápido crescimento urbano e alterações na orla, mais marcantes no meio e oeste do arco praial (Silva, 2006; Silva et al., 2008a,b).

Figura 4 – Refração de ondas provenientes de Sudeste (SE), Sudoeste (SW) e Sul (S)



Fonte: Lins-de-Barros, 2005

Figura 5 – Mapa de classificação da vulnerabilidade costeira de Maricá

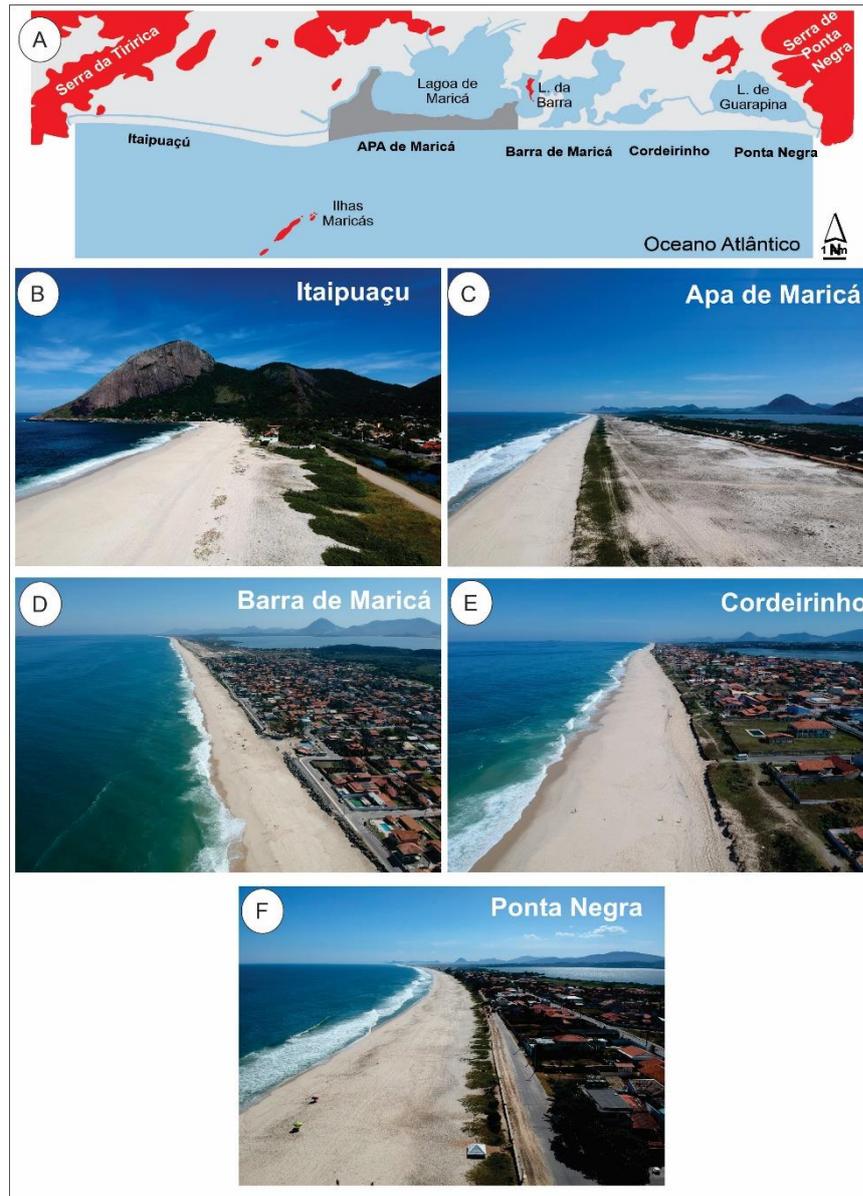


Fonte: Osilieri, etl. al.; 2020

A praia da APA de Maricá (Figura 6B) possui aproximadamente 8 km de extensão e está localizada entre as praias de Itaipuaçu (oeste), Barra de Maricá (leste) e a Lagoa de Maricá (norte). Esse trecho do litoral é o mais preservado, visto que o mesmo foi transformado em uma Unidade de Conservação pelo Decreto nº 7.230 de 23 de janeiro de 1984. O trecho possui uma extensa área de vegetação do tipo restinga e conta também com a presença de dunas frontais (Fernandez et. al., 2022). Os sedimentos são predominantemente de areia grossa a média e possuem um bom selecionamento dos grãos (Ferreira, 2014)

A praia da Barra de Maricá (Figura 6C) tem uma extensão de aproximadamente 2,5 km e está situada entre a APA de Maricá a oeste e Guaratiba a leste. Ao norte da praia encontra-se a Lagoa de da Barra de Maricá. Esse trecho do litoral é urbanizado e possui pouca vegetação de restinga. Os sedimentos da praia são predominantemente de areias grossa a média e possuem um bom selecionamento, diminuindo gradualmente para leste, devido ao aumento da fração areia média (Ferreira, 2014). Neste local encontra-se o canal da barra, esporadicamente aberto para escoar o excesso de água das lagoas após eventos de chuvas intensas (Pinheiro, 2015).

Figura 6 – Praias estudadas do litoral de Maricá



Fonte: A autora, 2023

A praia de Cordeirinho (Figura 6D) possui aproximadamente 1 km de extensão e está localizada entre as praias de Guaratiba (oeste) e Ponta Negra (leste). Esse trecho do litoral possui uma vegetação rasteira típica de restinga. Ao norte da praia encontra-se a Lagoa do Padre. Os sedimentos são predominantemente de areias grossa a média e possuem um bom selecionamento dos grãos (Ferreira, 2014).

A praia de Ponta Negra (Figura 6E) com 6 km de extensão, está localizada entre as praias de Cordeirinho (oeste), Jaconé (leste) e a Lagoa de Guarapina (norte). Um canal construído artificialmente no ano de 1950 faz a ligação entre a laguna de Guarapina e o oceano. Os sedimentos são compostos por areia média a grossa, com a presença de minerais

pesados, disponibilizados pelo intemperismo do costão localizado a leste da praia (Silva, 2015).

De acordo com Muehe (1987), as praias da Barra de Maricá e Ponta Negra vêm evidenciando problemas devido à incidência de ondas de tempestades, evidentes pela destruição das construções próximas ao limite da vegetação de restinga com a praia. É possível identificar recentemente que há indícios de um elevado potencial de vulnerabilidade nessas praias devido à destruição de muros e calçadões. Ainda hoje, no atual momento de realização desse estudo, essas áreas são as mais preocupantes devido ao estágio de destruição das obras de engenharia encontradas próximo ao limite interno das praias.

O litoral do município de Maricá vem se tornando cada vez mais uma área atrativa para o capital imobiliário e turístico, o que se manifesta por meio de diversas obras de revitalização e transformações para se tornar mais “adequada” a urbanização. No ano de 2020, em especial, a orla de Itaipuaçu (Figura 7) foi revitalizada e recebeu asfaltamento, ciclovia, calçadão, iluminação e postos guarda-vidas (Proteção e defesa civil, 2018). No trecho correspondente a APA de Maricá, estão planejando a construção de um grande empreendimento do tipo resort (Figura 8), que pode vir a modificar de maneira significativa o único trecho ainda preservado desse litoral (Vargas et al., 2017), e que se constitui na restinga com a maior quantidade de pesquisas realizadas na costa brasileira. Na praia de Ponta Negra as intervenções sinalizam para a revitalização da orla e quiosques, além da introdução de calçadão, ciclovia e espaço de convivência arborizado, além da construção dos Terminais Ponta Negra que corresponde a construção de um porto (Orla de Ponta Negra, 2019). A praia de Cordeirinho conta com um projeto que prevê a construção de recifes artificiais para promover o surf na região (Braga, 2019). (Figura 8).

Figura 7 – Obras de revitalização na orla da praia de Itaipuaçu



Fonte: Figura A e B revitalização da orla de Itaipuaçu; Figura C: obra de contenção do calçadão da praia da Barra de Maricá e Figura D: construção do muro do calçadão da praia de Ponta Negra. Adriano Marçal (2021), SOMAR (2022) e Autora (2022)

Figura 8 – Maquete do resort na APA de Maricá (A), Modelo de recife artificial (B), projeto de urbanização da orla da praia de Ponta Negra (C) e do porto de Jaconé (Terminais de Ponta Negra) (D)



Fonte: Condemar, 2020 e Prefeitura de Maricá, 2019.

As transformações em curso, e aquelas anunciadas para os próximos anos, evidenciam a necessidade de se monitorar o comportamento das praias e os problemas já existentes e que expressam fragilidades frente às intervenções humanas.

# 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

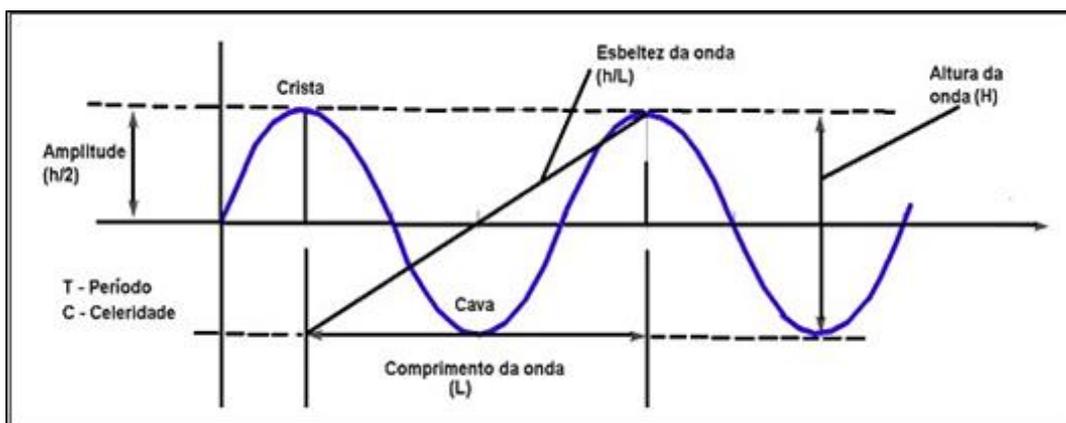
## 1.1 Processos físicos costeiros

Os fatores físicos atuantes na dinâmica praias estão relacionados aos processos costeiros que são representados pelas ondas, marés e correntes, e que refletem diretamente na morfologia da praia, na qual as diversas mudanças podem ocorrer dentro de curtos ou longos períodos, ocasionando erosão e/ou alargamento de praias (Davis & Fitzgerald, 2004). Esses processos morfodinâmicos (correntes, ondas e maré) que atuam na linha de costa são responsáveis por modelar a zona costeira, contribuindo para a construção ou destruição do ambiente litorâneo, sob as mais variadas escalas espaciais e temporais (Davis Jr, 1978).

As ondas são formadas pela ação dos ventos que, ao soprarem sobre a superfície da água, formam pequenas ondulações (ondas capilares). A partir da manutenção da ação dos ventos há a produção de ondas ainda maiores, a depender da velocidade e duração dos ventos. Uma vez geradas, as ondas mantêm a mesma trajetória e se propagam para áreas afastadas da zona de formação das mesmas. Quando isto ocorre, estas ondas são denominadas de marulho ou swell. Ao se aproximarem do litoral, as ondas sofrem alterações em diversos dos seus parâmetros, como: altura, comprimento e velocidade de propagação. Essas mudanças são influenciadas pela diminuição de profundidade em direção à linha d'água, visto que ao se aproximarem das áreas mais rasas, as ondas começam a sentir o fundo, o que reflete no seu comportamento e na movimentação de sedimentos (Laing, 1998).

As ondas são caracterizadas pelos seguintes parâmetros: comprimento de onda (L), que está relacionado à distância entre duas cristas consecutivas; a altura da onda (H), correspondente à distância entre a crista e a cava da onda; a amplitude (A) por sua vez, corresponde à metade da altura da onda; enquanto o período (T) está ligado ao tempo decorrido (em segundos) entre a passagem de duas cristas por um mesmo ponto fixo (Laing, 1998; Muehe, 2020). (Figura 9)

Figura 9 – Propriedades físicas da onda

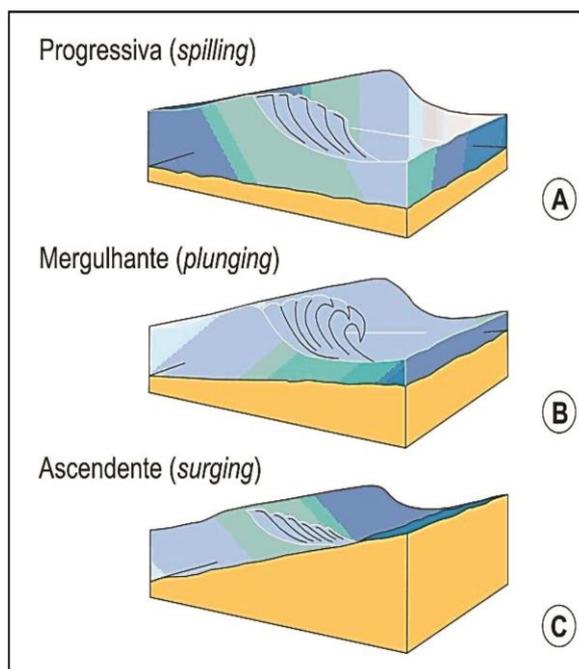


Fonte: Silva, 2004

As ondas são capazes de selecionar e redistribuir os sedimentos que são depositados na costa. A incidência dessas ondas junto à costa é responsável pela erosão e posterior deposição dos sedimentos que formam as praias (Komar, 1976). A zona de surf é caracterizada pela região por onde as ondas se propagam perdendo força até a face de praia. Existem diversas formas de arrebentação das ondas, a depender do gradiente de fundo próximo a praia e da relação entre a altura e o comprimento da onda. Essa relação é denominada esbeltez da onda (Laing, 1998). A arrebentação ou quebra de uma onda pode ser classificadas em 3 tipos principais: *spilling* (progressiva), *plunging* (mergulhante) e *surging* (ascendente) (Komar, 1976) (Figura 10).

A arrebentação em forma progressiva ou derramante (*spilling*) ocorre principalmente em praias que possuem um fundo marinho com baixa declividade, fazendo com que a onda ganhe altura e arrebente progressivamente, formando uma ampla zona de surf. A arrebentação mergulhante (*plunging*) ocorre em praias que possuem um fundo mais inclinado, onde há uma mudança no gradiente fazendo com que a crista da onda desmorone formando tubos próximo à linha d'água. A arrebentação do tipo ascendente (*surging*) ocorre em praias com elevada declividade, onde as ondas se projetam na direção da praia e ascendem sobre o perfil emerso sem arrebentar e são refletidos de volta (Komar, 1976; Laing, 1998).

Figura 10 – Formas de arrebentação da onda



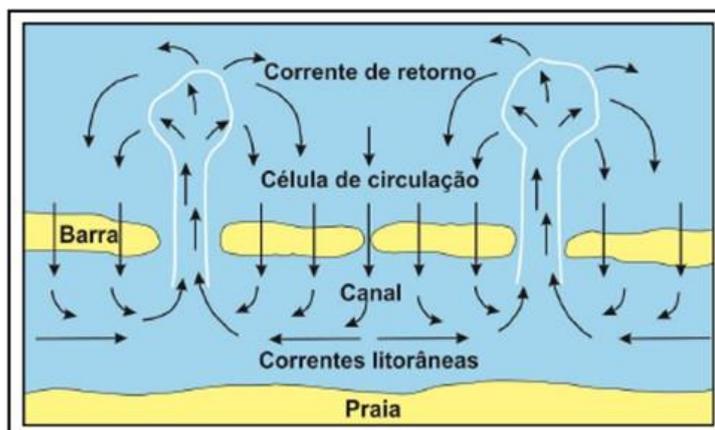
Fonte: Silvestre, 2018, adaptado de Davis Junior, Fitzgerald, 2004

As ondas também são responsáveis pela formação de correntes no ambiente litorâneo, podendo ser caracterizadas de três maneiras: correntes de deriva litorânea correntes de retorno, corrente de fluxo e refluxo de ondas (Davis Jr, 1978).

As correntes de deriva litorânea (*longshore currents*) ou correntes litorâneas (Figura 11) são geradas a partir da incidência oblíqua das mesmas em relação à praia, formando uma corrente que se desloca paralelamente entre a praia e a zona de arrebentação. As correntes de deriva litorânea são responsáveis por transportar os sedimentos ao longo da costa, principalmente em praias com grandes extensões e retilíneas (Open University, 1999). Em muitas praias é possível identificar a construção de estruturas que impedem a continuidade da corrente de deriva litorânea causando diversos problemas, decorrentes da perda de sedimentos à jusante do fluxo e o acúmulo junto ao obstáculo. Tais intervenções podem causar erosão da praia, caso não haja um restabelecimento de sedimentos para a mesma (Davis Jr, 1978).

As correntes de retorno (*rip currents*) (Figura 11) são geradas a partir da incidência de ondas perpendicularmente à linha de costa. O retorno dessas ondas produz uma corrente na direção do oceano, carregando grandes quantidades de sedimentos. Essas correntes se formam com mais facilidade em locais onde a altura das ondas é menor e são consideradas extremamente perigosas, visto que quase sempre formam canais na zona submarina da praia perpendiculares à linha d'água (Davis Jr, 1985; Power, 2020; Houser et al., 2020)

Figura 11 – Células de circulação costeira



Fonte: Silvestre, 2018, adaptado de Komar, 1976.

As correntes de fluxo (*swash*) e refluxo (*backwash*) (Figura 12) ocorrem em função da ação contínua das ondas, visto que os sedimentos são transportados paralelamente à costa, seguindo um padrão em zigue-zague. Essas correntes também são responsáveis pelo transporte de sedimentos que ocorre principalmente devido a condições de ondas, declividade da praia e tamanho de sedimentos (Davis Jr, 1978).

Figura 12 – Corrente de fluxo e refluxo de ondas (*swash* e *backwash*)



Fonte: Baptista, 2014, adaptado de Davidson-Arnott, 2010.

As ondas, ao se aproximarem da costa, estão sujeitas a determinados fenômenos físicos, tais como: reflexão, refração e difração. A reflexão de ondas ocorre a partir da chegada de ondas em praias com gradientes elevados, visto que ao atingirem costões rochosos, falésias ou estruturas artificiais, essas ondas são refletidas entrando em contato com ondas que estão chegando à praia formando um padrão de ondas estacionárias (Galvin, 1968; Komar, 1976; Laing, 1998). A refração de ondas ocorre principalmente a partir da interferência da onda com o fundo submarino. As ondas tendem a chegar à costa formando

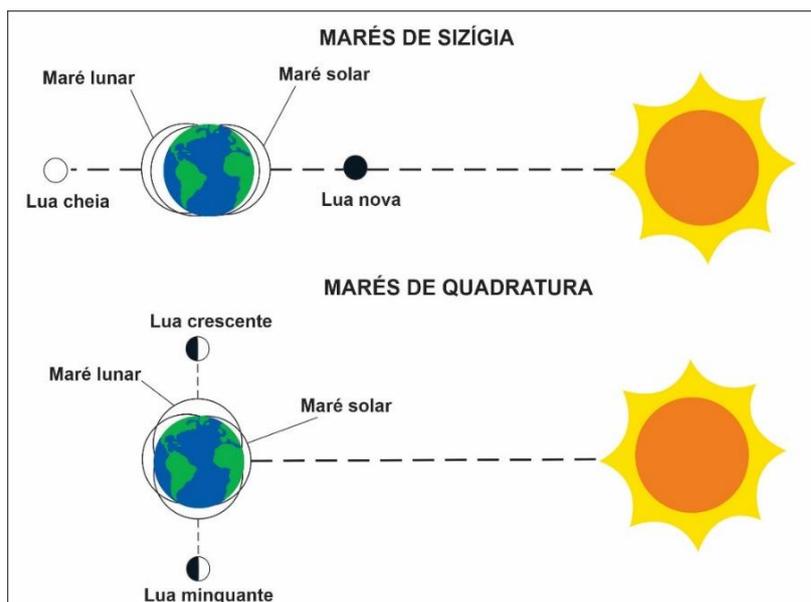
um ângulo oblíquo, no qual a parte da crista da onda atinge a área de menor profundidade e sofre uma desaceleração em relação a incidência de onda, resultando em uma inflexão entre a crista e o fundo (Galvin, 1968; Komar, 1976; Laing, 1998). Por fim, a difração ocorre a partir do contato com algum obstáculo, como por exemplo, uma ilha, formando uma onda circular que se propagada a partir do obstáculo até chegar à praia. Neste caso, as ondas tendem a convergir atrás do obstáculo, na zona de sombra, colaborando para o acúmulo de sedimentos. Esses processos alteram a direção de incidência de ondas em relação a costa provocando uma perda de energia e promovendo alterações na morfologia da linha de costa, principalmente no ambiente de praia (Galvin, 1968; Komar, 1976; Laing, 1998).

A energia das ondas, a intensidade e a recorrência de tempestades propiciam a dinâmica dos processos de erosão e de acúmulo de sedimentos nas praias. Na costa brasileira, o clima de ondas é determinado, sobretudo pelos ventos que se formam no Atlântico Sul, sendo controlados por três grandes sistemas atmosféricos: a zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS) e o Anticiclone Polar Migratório (APM) (Tessler, 2005).

As marés são ondas de superfície oceânica formadas pela atração gravitacional exercida pelo Sol e pela Lua sobre os oceano e mares. As oscilações diárias da maré representam um dos fatores responsáveis pela dinâmica de praias. Essas variações diárias no nível do mar podem apresentar amplitudes de poucos centímetros até alguns metros e se propagam pelo oceano até chegarem nos litorais (Bird, 2008).

O efeito da atração gravitacional do Sol e da Lua formam dois tipos de marés: sizígia e quadratura (Figura 13). As marés de sizígia correspondem aos períodos em que há um alinhamento entre o Sol, a Lua e a Terra, coincidindo com a Lua nova e a Lua cheia, originando as mais altas e mais baixas marés. Já as marés de quadratura que correspondem aos períodos em que o Sol, a Lua e Terra formam um ângulo de aproximadamente 90°, coincidem com as fases de Lua minguante e crescente, verificando-se menor amplitude ou menor diferença entre as preamares e baixa-mares. (Davis Jr & Fitzgerald, 2004; Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010).

Figura 13 – Marés de sizígia e quadratura



Fonte: Araujo, 2022, adaptado de Garrison, 2010

As marés ainda podem ser classificadas de acordo com a amplitude apresentada pelas mesmas: micromaré alcança até 2 m; mesomaré varia de 2m a 4 m; macromaré ultrapassa os 4 m (Friedman et al., 1992; Carter, 1988). Essas classificações variam de acordo com as características dos litorais, latitude, geometria da linha de costa e também em função dos pontos anfidrômicos (Davis, 1964; Souza, *et al.*, 2005).

## 1.2 Sistema praia-barreira arenosa

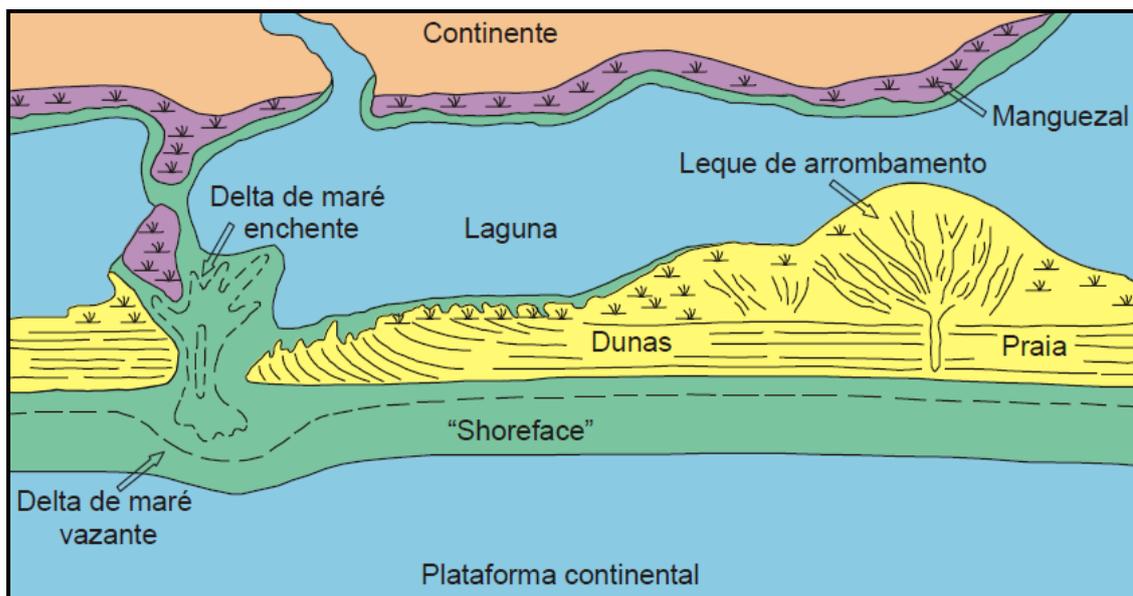
As praias no litoral de Maricá estão associadas a barreiras arenosas, também conhecidas como cordões litorâneos. Esses ambientes são representados por acumulações de sedimentos com características lineares e que se apresentam geralmente paralelos à costa, sendo formados e moldados principalmente pela ação dos ventos, ondas e correntes de deriva litorânea (Davis Jr & Fitzgerald, 2004; Bird, 2008; Silva, 2006, Masselink, 2014). As barreiras (Figura 14) são construídas a poucos metros acima do nível do mar e podem variar de poucas dezenas de metros a vários quilômetros de largura, no qual o comprimento pode apresentar centenas de metros e até mesmo uma extensão superior a 100 quilômetros em costas abertas. As barreiras podem ainda apresentar-se largas em áreas onde há suprimento de sedimentos abundante e mais estreitas em áreas onde há um baixo suprimento de sedimentos e

até mesmo taxas elevadas de erosão. Elas estão presentes em aproximadamente 15% dos litorais do mundo. (Komar, 1973; Silva, 2006; Davis Jr & Fitzgerald, 2004).

As barreiras arenosas possuem diversos subambientes a ela associados, como: praia; dunas; canais de maré, que eventualmente seccionam a barreira; e leques de arrombamento ou de transposição (*washover fans*), formados durante eventos de tempestades sobre e na retaguarda das barreiras (McCubbin, 1982) (Figura 14). As barreiras arenosas desempenham um importante papel de proteção do continente frente à ação destrutiva das ondas de tempestade. Elas são encontradas principalmente ao longo das margens continentais passivas, tendo em vista o baixo gradiente e as áreas com regime de micromaré ou mesomaré (Davis Jr & Fitzgerald, 2004).

A evolução das barreiras arenosas é fortemente controlada pelas flutuações do nível do mar, em conjunto com diversos fatores, tais como: o espaço de acomodação, o aporte de sedimentos, a orientação da linha de costa, o clima de ondas e demais processos responsáveis pelo transporte de areias. Todas essas variáveis acabam por determinar a morfologia e o comportamento (estabilidade, acreção ou erosão) deste ambiente (Davis Jr & Fitzgerald, 2004; Silva, 2011)

Figuras 14 – Barreira arenosas e ambientes costeiros associados



Fonte: Silva, 2011, adaptado de McCubbin, 1982

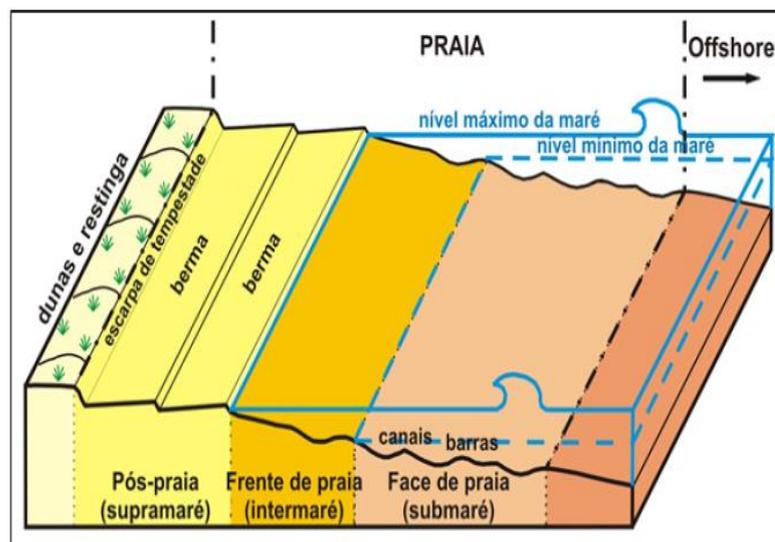
As praias são caracterizadas como um depósito de sedimentos inconsolidados ao longo de uma costa, que estão sujeitas a ação das ondas, correntes e oscilações da maré. A praia apresenta como limite interno (continental) a área sujeita ao alcance máximo das ondas de

tempestade; o limite externo (marinho) é geralmente associado à área mais externa da arrebentação das ondas, por ocasião da maré mais baixa (Friedman & Sanders, 1978).

Para Souza et al., (2005) as praias são caracterizadas por um ambiente altamente dinâmico e sensível, composto por materiais inconsolidados (areia e cascalho) e que possuem várias funções, como a de proteger o litoral da ação das ondas de tempestades. Também desempenham um importante papel para o equilíbrio de diversos ecossistemas costeiros e marinhos, além de abrigar inúmeras atividades urbanas, voltadas para fins de recreação, turismo, etc.

A praia possui compartimentos com características distintas e que podem ser denominados por mais de uma terminologia distintas (Bigarella et al., 1966; Suguio, 1992; Muehe, 2019) Recentemente, Muehe (2019) apresentou uma revisão crítica acerca da utilização de diferentes terminologias visto que muitos desses termos são traduzidos do inglês e do francês e não se adequam necessariamente as terminologias empregadas quando traduzidas para o português, O autor propõe então que o ambiente praias seja dividido em retropraia (*backbeach*), praia (*backshore*), face praias (*foreshore*) e zona de arrebentação e surfe (*nearshore*). No presente estudo, será adotada a terminologia proposta por Silva et al. (1999), que se baseia em Friedman e Sanders, (1978). Sendo assim, a praia pode ser dividida em três subambientes: pós-praia, frente de praia e face de praia (Figura 15).

Figura 15 – Subdivisão do ambiente praias



Fonte: Silva, 2011, adaptado de Friedman; Sanders, 1978.

O pós-praia ou região de supramaré (*backshore*) corresponde à parte superior da praia, ou seja, a parte frequentemente seca, exceto durante a ocorrência de tempestades. Apresenta

um baixo ângulo de inclinação podendo apresentar-se horizontal ou ligeiramente inclinado. No pós-praia é possível observar a presença de bermas que correspondem à acumulação de sedimentos durante a fase de reconstrução do perfil praial, que se inicia imediatamente após a ocorrência de eventos de tempestade. As bermas, ou sucessão de bermas, aparece geralmente limitada por cristas de berma, que representam uma mudança brusca no ângulo do perfil praial (Silva et al., 1999; Garrison, 2010; Silva et al., 2004; Bird, 2008).

A frente de praia ou zona de intermaré (*foreshore*) corresponde à parte sujeita ao alcance diário das ondas e da variação da maré, na qual os sedimentos são transportados e retrabalhados de forma intensa, ou seja, corresponde à parte sujeita ao vai e vem das ondas. A frente de praia possui um ângulo de inclinação do perfil mais íngreme em relação ao pós-praia (Silva et al., 1999; Friedman & Sanders, 1978). O ângulo de inclinação e a largura da frente de praia, quando influenciadas por ondas de grande intensidade, tendem a influenciar a granulometria. Neste sentido, quando sujeito à incidência de ondas de maior energia, o perfil praial tende a se apresentar mais íngreme, estreito e com sedimentos mais grossos na frente de praia (Bird, 2008).

A face de praia ou zona de inframaré (*beachface*) corresponde à parte submersa na praia, na qual se encontra a zona de surfe e de arrebentação das ondas. Neste subcompartimento praial ocorre um intenso transporte de sedimentos em resposta ao movimento de zigue-zague causado pela interação entre o espraiamento e refluxo das ondas. O conjunto desses dois elementos resulta na deposição efetiva de sedimentos e na perda dos mesmos (Silva et al., 1999; Friedman & Sanders, 1978).

### 1.3 Dinâmica e erosão de praias

Wright e Short (1984) desenvolveram estudos no litoral da Austrália que contribuíram de forma significativa para o entendimento acerca da morfodinâmica de praias. Os autores propuseram uma classificação morfodinâmica de praias baseada nos fatores hidrodinâmicos e morfológicos. A classificação proposta é composta por seis estágios morfodinâmicos, no qual dois deles são caracterizados como extremos, que são os estágios refletivo e dissipativo, e os outros quatro são caracterizados como intermediários (Figura 16).

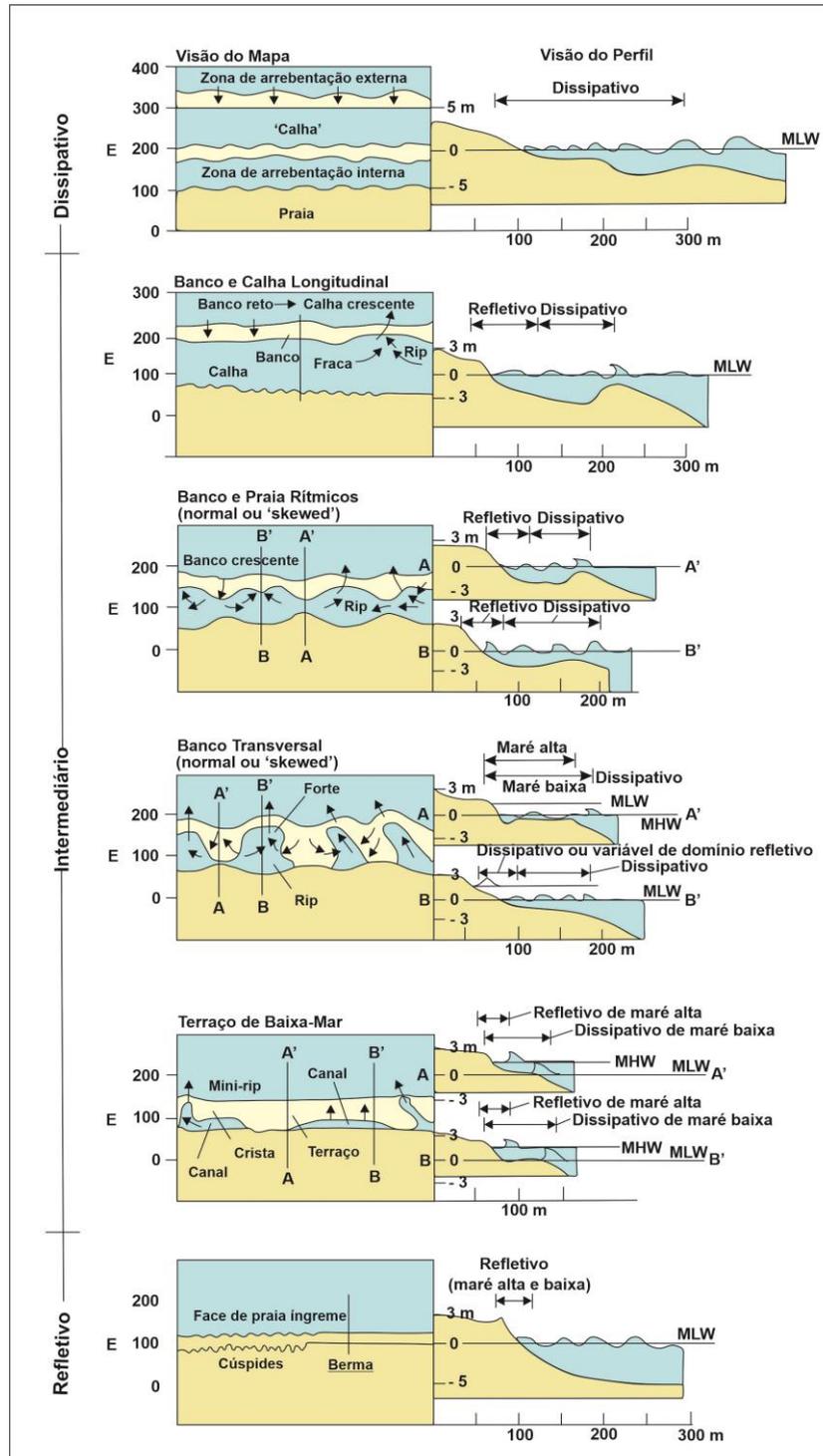
As praias que apresentam características morfodinâmicas de estágio refletivo exibem um gradiente acentuado, ou seja, perfis mais íngremes; areias predominantemente grossas,

quando disponíveis no ambiente; ondas com arrebentação próxima à linha d'água; formação proeminente de cúspides de praia e correntes de retorno vigorosas (Wright & Short, 1984; Flemming, 2020; Murray, Ashton; Coco, 2020).

As praias que apresentam características morfodinâmica de estágio dissipativo exibem gradientes pouco acentuados, ou seja, perfis menos íngremes; predominância de areias finas; zona de surf bem desenvolvida, com mais de uma linha de arrebentação; barras arenosas submersas, que contribuem para a dissipação da energia das ondas incidentes. (Wright & Short, 1984; Flemming, 2020; Jackson e Short, 2020). Por conta do baixo gradiente na face de praia e da sedimentação fina, a ocorrência de correntes de retorno são raras, porém, quando há ocorrência, as correntes apresentam alta velocidade contornando bancos transversais próximos a costa (Gallo et. al., 2020; Aagard et. al., 2008)

Já os estágios intermediários, segundo Wright e Short (1984), correspondem a: banco e calha longitudinal (*longshore bar-trough*), banco e praia ritmicos *rhythmic bar and beach*, banco transversal (*transverse bar and rip*) ou terraço de baixa mar (*or low tide terrace*). As praias que apresentam características morfodinâmicas correspondentes aos estágios intermediários apresentam um maior grau de mobilidade em relação as condições de ondas que são altamente variáveis, tendem a alternar entre os vários estágios e possuem barras bem desenvolvidas. Em geral, os estágios intermediários possuem maior complexidade morfológica e hidrodinâmica (Wright & Short, 1984 apud Friedman et al., 1992; Davis Jr & Fitzgerald, 2004).

Figura 16 – Classificação morfológica de praias



Fonte: Wright; Short, 1984; Davis-Junior; Fitzgerald, 2004. Modificado por Araujo, 2020

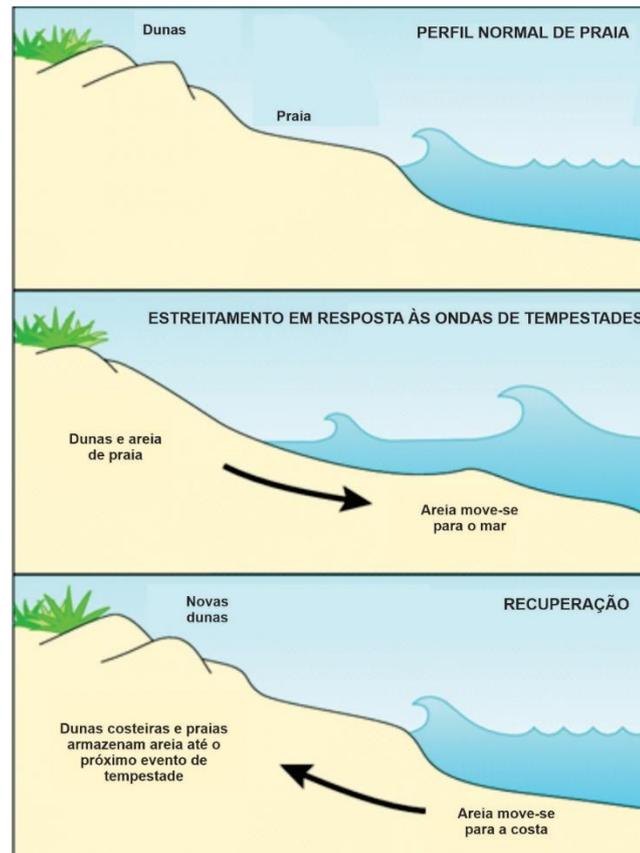
A análise com base na morfodinâmica considera a relação entre a resposta da morfologia em função da interferência dos processos costeiros (dinâmica) e a garantia de feedbacks positivos e negativos entre os dois, à medida que trabalham em direção a uma relação de equilíbrio, que raramente é alcançada, portanto, impulsionando a mudança (Jackson e Short, 2020).

A morfologia das praias reflete a atuação de forma efetiva dos mecanismos naturais que ocorrem no ambiente e que estão condicionados pela arrebentação das ondas e posterior dissipação da energia (Komar, 1976; Silva, 2006). As praias podem ser moldadas a partir das mudanças de curto prazo pela alternância entre ondas destrutivas (ondas de tempestades) e construtivas (ondas de tempo bom), resultando em perda e ganho de sedimentos, respectivamente. As ondas construtivas são responsáveis por construir os perfis de praia, podendo formar uma ou mais bermas no pós-praia. Já as ondas destrutivas, associadas às ressacas, são responsáveis por retirar os sedimentos da praia, formando escarpas íngremes e de tamanhos variados (Bird, 2008, Davidson, Hesp, Miot da Silva, 2020; Brooks, Spencer, Christie, 2017; Masselink, Van Heteren, 2014) (Figura 17).

As variações morfológicas no perfil de praia resultam em uma fase de alargamento e/ou acréscimo da praia, devido à energia baixa das ondas (ondas de tempo bom), depositando sedimentos na parte emersa da praia resultando em um perfil mais largo. No litoral sudeste do Brasil, essas condições são mais marcantes no verão, devido a menor influência das ressacas. As ondas de tempestades ocasionadas pelas ressacas, por sua vez, ocorrem principalmente nos meses correspondentes e próximos ao inverno, que abrangem os meses de abril a setembro (Lins-de-Barros, 2018; Bulhões et. al., 2014; Klumb-Oliveira et. al., 2015), e são responsáveis pelo rápido estreitamento no perfil de uma praia (Carter, 1988). Essas mudanças sazonais de estreitamento e alargamento de perfis de praia fazem parte da dinâmica natural desse tipo de ambiente (Figura 18).

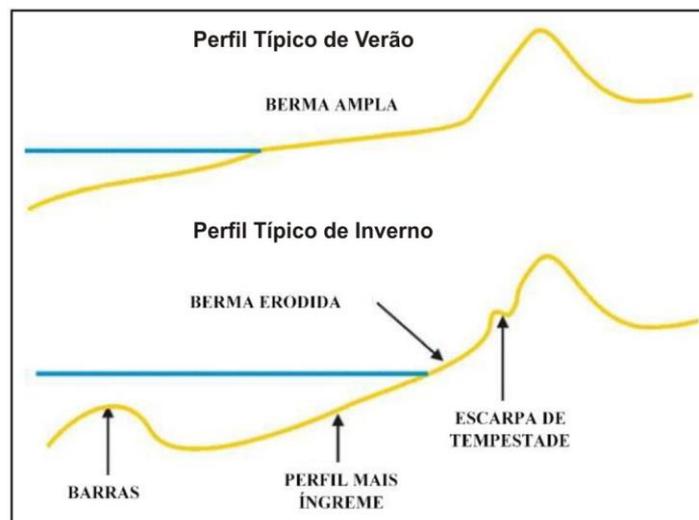
A erosão de praias está diretamente relacionada a um processo de remoção de sedimentos associada a uma perda efetiva de materiais, sem que ocorra a posterior reposição dos mesmos (Bird, 2008). A erosão de praias pode ocorrer de forma natural e induzida por modificações pela humanidade (antrópica). A erosão natural é caracterizada por um processo associado à sazonalidade da ação das ondas no ambiente litorâneo, sendo parte normal para um equilíbrio dinâmico e sedimentar. Já a erosão antrópica está relacionada às interferências da ação humana no processo natural de erosão nas praias (Morais, 2016).

Figura 17 – Ajustes sazonais do perfil de praia induzidos por ondas



Fonte: Bradley, 2011, modificado por Alves, 2023

Figura 18 – Perfis topográficos de praia: verão (tempo bom) e inverno (tempestade)



Fonte: Galato, 2016, adaptado de [www.maine.gov/dacf/mgs/explore/marine/faq/shape.htm](http://www.maine.gov/dacf/mgs/explore/marine/faq/shape.htm). Acesso em 10 mar. 2015

A erosão de praias pode ocorrer em função de diversos fatores, tais como: elevação do nível do mar, instabilidade tectônica (incluindo a subsidência), alterações climáticas, principalmente em relação ao aumento da frequência e intensidade das tempestades e a influência humana em relação as mudanças no balanço e oferta de sedimentos, como por exemplo, através de dragagens, extração de areias e outros (Carter, 1988). No Brasil, a erosão de praias associada às intervenções humanas tem ocorrido por inserção de espigões transversais em Vitória, na Praia de Camburi (Passos, 2004); por construção de muros, enrocamentos e quebra-mares nas praias de Santa Catarina (Koerich, 2023); por atividades de dragagem e aprofundamento de canais em Santos, na Ponta da Praia (Kippel, 2022); por construção de molhe hidráulico, quebra-mares, *bagwalls* e enrocamentos na Praia do Jagua e Pau Amarelo em Pernambuco (Silva, 2021) e por inserção de enrocamentos e muros de arrimos, na Praia da Tartaruga no Rio de Janeiro (Castro et. al., 2011).

Os processos erosivos nos ambientes litorâneos são potencializados pelos diferentes tipos de modificações decorrentes dos usos e ocupação da zona costeira. Bird (2008) e Davis Fitzgerald (2004) estimam que menos de 10% das costas mundiais estão avançando (progradando) e menos de 20% têm se mantido estável, sem alterações significativas de ganho ou perda de sedimentos. Recentemente, Luijendijk et al., (2018) constataram que esse número é maior, cerca de 24% das praias do planeta estão em processo de erosão, no qual 48% estão estáveis e 28% em processo de acreção, entre 1984 e 2016.

As mudanças na posição da linha de costa representam um dos indicadores mais utilizados para a identificação de tendências de erosão costeira. Se a linha de costa está avançando ou em equilíbrio há um indicativo de que a praia não está sendo afetada pelos efeitos erosivos. Porém, se a linha de costa está recuando na direção do continente, isto pode significar um déficit de sedimentos e, conseqüentemente, erosão costeira (Novak et. al., 2021)

As conseqüências desses processos erosivos no litoral podem ser vistas através da redução na largura da praia, por meio de inundações decorrentes das ondas de tempestades (ressacas) que ultrapassam o limite interno da praia, podendo causar a destruição de estruturas de engenharia, como quiosques, postes, calçadão, entre outros (Souza et al., 2005). Estes mesmos autores, com base em diversos estudos, apontam para alguns indicadores de erosão costeira em trechos do litoral brasileiro (Tabela 1).

Tabela 1 - Indicativos de erosão costeiras no Brasil

	<b>Indicadores de erosão costeira</b>
I	Pós-praia muito estrito ou inexistente devido à inundação permanente durante as preamares de sizígia (praias urbanizadas ou não).
II	Retrogradação geral da linha de costa nas últimas décadas, com diminuição da largura da praia em toda a sua extensão, ou mais acentuadamente em determinados locais dela (praias urbanizadas ou não).
III	Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a 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 mesozóicas, sedimentos terciários (Formação Barreiras) e rochas de praia pleistocênicas e holocênicas, e presença de escarpamentos em depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias (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 estrâncio e/ou a face litorânea atual, devido à remoção das areias praias por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não).
VI	Frequente exposição de “terraços ou falésias artificiais”, apresentando pacotes de espessura até métrica, formados por sucessivas camadas de aterros soterrados por lentes de areias praias/dunares (contato entre a praia e a área urbanizada).
VII	Destruição de estruturas artificiais erguidas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos que bordejam a praia, o pós-praia, o estrâncio, a face litorânea e/ou a zona de <i>surf</i> .
IX	Retomada erosiva de antigas plataformas de abrasão marinha, elevadas de +2 a +6m, formadas sobre rochas do embasamento ígneo-metamórfico pré-cambriano a mesozóico, ou rochas sedimentares mesozóicas, ou sedimentos terciários (Formação Barreiras) ou arenitos praias pleistocênicos, em épocas em que o nível do mar se encontrava acima do atual, durante o final do Pleistoceno e Holoceno (praias urbanizadas ou não).
X	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 barlar 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).

Fonte: Pinheiro, 2018, adaptado de Souza et al., 2005

Em diversos litorais, a dinâmica das praias é alterada de forma significativa pela ação antrópica através de diversas instalações de obras de engenharia. A humanidade tem sido cada vez mais responsável pelo aumento no número de intervenções, controle e modificações do balanço sedimentar, gerando perdas e impedindo fluxos e redistribuição de materiais. Essas mudanças produzidas pela humanidade podem gerar diversas instabilidades e áreas de deposição e erosão severa causando um desequilíbrio para a área costeira (Carter, 1998; Bird, 2008).

#### 1.4 Usos e ocupação do litoral e intervenções na praia

O litoral pode ser definido como uma zona de usos múltiplos, já que dentro da sua extensão é possível encontrar diversas formas de ocupação do solo e variadas manifestações da atividade humana. Esse processo se dá a partir de três vetores prioritários: a urbanização, a industrialização e a exploração turística (Moraes, 2007).

A concentração e o acúmulo de cidades ao longo do litoral apresentam características peculiares quando comparadas as outras localidades distantes do litoral: a) bases econômicas e mercados de trabalho diversificados; b) altos montantes de investimento públicos e privados; c) vários tipos de serviços e oportunidades de consumo; d) atividades portuárias e industriais relevantes; e) usos turísticos em larga escala (Nascimento et. al. 2010). Tais características implicam na atratividade de novos usos no litoral, incentivando o aumento de intervenções dentro da zona costeira, visto que para manter o funcionamento das atividades naturais e antrópicas, cada vez mais intervenções físicas no ambiente são realizadas (Nascimento et. al. 2010).

Farinaccio (2008) classificou as obras costeiras de três maneiras distintas: (1) obras de proteção, (2) obras de recuperação e (3) obras de infraestrutura e lazer.

As obras de proteção possuem o objetivo de proteger a costa das ondas de grandes magnitudes associadas as ressacas. Essas obras são construídas para proteger avenidas e casas localizadas próximas ou dentro da faixa dinâmica de praia. Algumas obras podem ser enquadradas dentro do campo de obras de proteção, como por exemplo, a construção e/ou instalação de muros, barreiras de rocha, molhes (quebra-mar) e enrocamentos. Como exemplo, podemos citar a inserção do muro do calçadão na Praia de Piratininga (Niterói). Apesar do intuito de proteger a costa das ressacas, estudos apontam para um processo erosivo decorrente da reflexão direta das ondas sobre os muros (Pereira et. al., 2017). Recentemente, um outro trecho do litoral fluminense, vem recebendo obras com o intuito de proteção do litoral contra as ressacas, é o caso da Praia da Barra da Tijuca, que vem passando por uma inserção de mantas de concreto na faixa de areia para minimizar os impactos das ondas de tempestades que chegam no litoral (O GLOBO, 2023).

As obras de recuperação possuem o objetivo de reconstruir o ambiente de praia. Essas obras são instaladas para tentar estabilizar áreas que estão sujeitas a recuos e avanços periódicos, podendo ocasionar o alargamento da praia através do acúmulo de areias e até mesmo o assoreamento de parte dela. Algumas das obras enquadradas dentro do campo de

obras de recuperação são: engordamento de praia, molhes (quebra-mar), enrocamentos, espigões e gabiões. Como exemplo, podemos citar o engordamento da Praia de Copacabana, no Rio de Janeiro, iniciado na década de 1960. A alimentação artificial da praia ocorreu com o intuito de diminuir os danos causados por ressacas (Lins-de-Barros et. al., 2019; Lins-de-Barros e Guerra, 2020). Embora tenha sido constatado um recuo na parte central e sudeste do arco praiial, o engordamento artificial da praia de Copacabana é considerada uma área de regeneração que foi bem sucedida (Dias, 2018), tornando-se uma praia protegida e com capacidade de recuperação após eventos de ressaca. (Silva e Lins-de-Barros, 2021).

As ações de estabilização podem ser caracterizadas através de relocação e desapropriação, leves e pesadas. As ações para desapropriação ocorrem a partir da identificação das áreas de risco e posteriormente a realocação e até mesmo a indenização aos donos de imóveis. As medidas leves são tomadas quando não há necessidade de obras complexas e as medidas pesadas quando demandam obras de engenharia com a introdução de materiais pesados dentro do litoral (Fischer, 2005).

As obras de infraestrutura e lazer possuem o objetivo de oferecer suprimentos básicos para recreação. Também visam fornecer um conjunto de obras que estão relacionadas as atividades de ocupação urbana e industrial, e para as atividades voltadas ao turismo, como por exemplo, transporte, saneamento e moradias. Algumas das obras enquadradas dentro deste campo são: emissários (dutos emersos e enterrados), canais de águas superficiais, aterros de loteamento, aterros de invasões, palafitas, aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas), píer ou plataforma de embarque, marinas, píer ou plataforma de pesca e molhes e enrocamentos. O exemplo mais recente que temos no litoral fluminense é o litoral do município de Maricá que vem passando por transformações em toda sua orla, com a inserção de calçadões, ciclovias, e avenidas para atender as expectativas de infraestrutura e lazer da população residente e turística (Prefeitura de Maricá. 2019).

As obras costeiras citadas acima podem alterar a linha de costa ou até mesmo interferir na dinâmica costeira, provocando diversos impactos pontuais no ambiente de praia ou até mesmo reflexos regionais. No litoral fluminense é possível identificar diversos desses problemas, como por exemplo, na Praia da Tartaruga em Rio das Ostras, que vem ocorrendo um processo erosivo por conta do avanço da urbanização e da construção da ciclovia e ampliação da rodovia sobre a zona do pós-praia, provocando uma alteração no balanço sedimentar, retrogradando a linha de costa (Castro et. al., 2008). Temos também o exemplo no litoral da Costa Rica, mais especificamente, na Praia de Moín, no qual a construção de um terminal de containers e do quebra-mar em uma praia de alta dinâmica, está ocasionado um

acumulo de sedimentos em uma determinada parte da praia e um déficit na outra, iniciando um processo erosivo do ambiente de praia (Castilho et. al., 2021).

No esquema abaixo (Figura 19) podemos entender melhor o efeito causado por uma estrutura rígida durante a mobilização natural dos sedimentos de praia. A incidência de ondas pode mobilizar grande quantidade de sedimentos, retirando-os e depositando-os sem que haja perda de material. Neste sentido, a praia cumpre um importante papel de proteção do litoral durante às ressacas. Quando estruturas rígidas (como paredão, calçadões, etc.) são introduzidas dentro ou próximo da faixa de areia dinâmica da praia formam uma barreira física, que causa a reflexão de ondas quando estas atingem as estruturas. Isto potencializa a remoção de areias pelas ondas e pode interromper o reabastecimento natural dos sedimentos da praia e, por consequência, erosão de praia (Farinaccio, 2008).

Segundo o PNGC, 1997 a zona costeira é o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre. A criação do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC – Lei nº 7.661/88) foi um marco histórico dentro da gestão costeira, visto que o objetivo principal do documento é promover um planejamento integrado dos recursos costeiros, melhorando o ordenamento e a ocupação dos espaços litorâneos (PNGC, 2015). O PNGC surge como um instrumento para orientar a utilização dos recursos naturais na zona costeira, contribuindo para o bem-estar da população que reside na região litorânea e conseqüentemente na proteção do seu patrimônio natural e cultural (Brasil, 1988). Tem como um dos seus princípios a precaução, no que tange a gestão de riscos. Segundo o plano, os órgãos gestores precisam adotar medidas que impeçam ou amenize possíveis degradações ambientais, quando tiver perigo, dano grave ou irreversível, mesmo que não tenha dados científicos concretos sobre o risco (Brasil, 2004). Além desse plano, também foi criado o Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima – Projeto Orla, com o objetivo de estabelecer novas práticas governamentais em relação ao planejamento e o uso do espaço (marinho e terrestre) (Projeto Orla, 2002)

Figura 19 - Impacto de obras de engenharia no ambiente de praia



Fonte: Griggs, 2019, modificado por Alves, 2023

Farinaccio (2008) elaborou um quadro que mostra os possíveis impactos gerados pelas obras costeiras na dinâmica de praia (Tabela 2).

Tabela 2 – Exemplos de obras costeiras e seus impactos na dinâmica costeira

<b>Obra</b>	<b>Possíveis impactos</b>
Espigões	Alteração da dinâmica natural longitudinalmente à costa, pelo aprisionamento de sedimentos junto à estrutura rígida de orientação; surgimento de fenômenos erosivos e escalonamento da linha de costa.
Quebra-mares	Acúmulo de sedimentos não desejados. Alteração no transporte litorâneo longitudinal. Instalação de processos erosivos.
Muros Marinhos	Alteração da dinâmica natural de transporte de sedimentos pela limitação do espraiamento. Acúmulo de sedimento e alteração do perfil praial. Colapsos de estruturas e alteração no regime de deposição eólica.
Aterros sobre o pós-praia	Alteração na dinâmica natural de transportes de sedimentos pela limitação do espraiamento. Acúmulo de sedimentos e alteração do perfil praial. Colapsos nas estruturas adjacentes, alteração no regime de deposição eólica e instalação de processos erosivos.
Emissários	Quando expostos influenciam na movimentação longitudinal dos sedimentos ao longo da praia, podendo iniciar processos erosivos.
Engordamento de Praias	Pode acarretar mudanças significativas na linha da costa, seja pelo aumento excessivo da faixa de praia ou pela formação de células erosivas.

Fonte: Farinaccio et. al., 2008

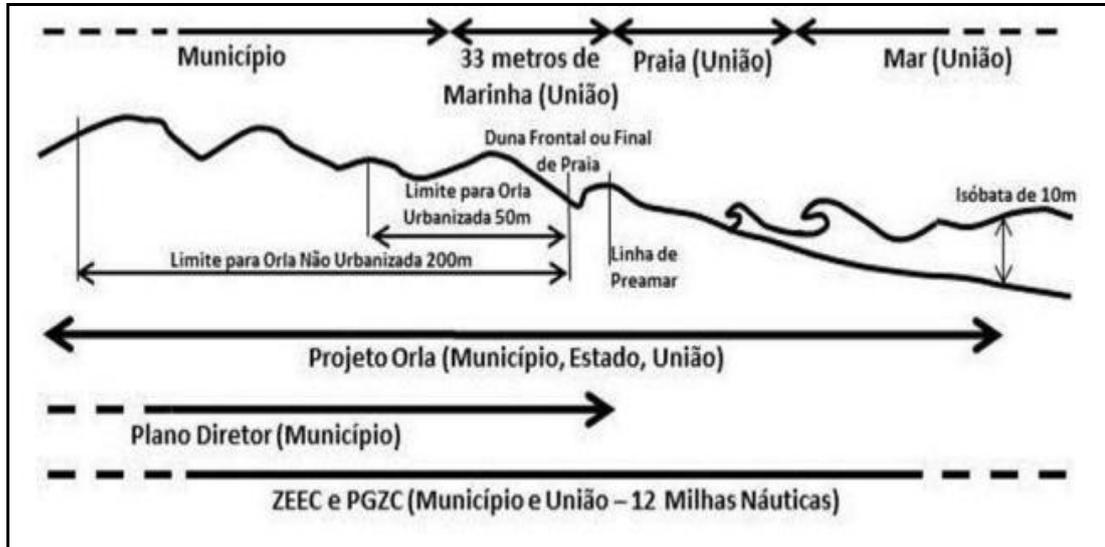
A orla marítima é considerada como um suporte para os ecossistemas ambientais, como os manguezais, as restingas, os recifes de corais e outros. A orla, segundo o PNGC, 2015 e o Projeto Orla, 2002, foi considerada a partir de uma escala de planejamento e gestão, no qual o detalhamento da zona costeira foi feito a partir da relação inframunicipal.

A partir de critérios básicos sobre os processos sedimentares, a vulnerabilidade em relação a elevação do nível do mar e o processo hidrodinâmico da localidade (Muehe, 2004), ficou instituído um limite para a orla tanto terrestre quanto marinha. Na área marinha, na isóbata dos 10 metros e na área terrestre, 50 metros em áreas urbanizadas e 200 metros em áreas não urbanizadas (direção do continente), a partir do contato entre a parte terrestre e marinha em qualquer feição: costão, praia, restinga, duna, manguezal (Moraes et. al., 2004, Muehe, 2004)

Essa delimitação proposta pelo Projeto Orla, visa juntamente com o poder público (Município, Estado e União), identificar e fiscalizar áreas edificáveis e não edificáveis, levando em consideração as características ambientais do litoral, objetivando proteger os

ecossistemas marinhos e atribuir medidas mitigadoras para a diminuição de impactos gerados a partir dos processos naturais que ocorrem no ambiente (Figura 20).

Figura 20 – Perfil da orla marítima



Fonte: Scherer 2013

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada e aplicada neste estudo consistiu das seguintes etapas: (1) levantamento bibliográfico, (2) confecção de um banco de dados de perfis topográficos a partir de contribuições de diversos autores, disponíveis desde o ano de 1973 até 2015; (3) trabalhos de campo para a aquisição de novos perfis topográficos de praia e caracterização das condições de mar; (4) cálculo do volume emerso de sedimentos de praia; (5) classificação dos estágios morfodinâmicos de praia; (6) análise dos geoindicadores; (7) processamento dos dados e interpretação dos resultados para a compreensão do comportamento morfológico e sedimentar do litoral de Maricá num intervalo que alcança 4 décadas.

### 2.1 Levantamento bibliográfico

Foram realizados levantamento bibliográficos e pesquisas sobre trabalhos já desenvolvidos no litoral de Maricá e que dispõem de dados de perfis de praia adquiridos por diversos autores nas mesmas praias selecionadas para o presente estudo. Isso proporcionou o conhecimento da dinâmica costeira, da erosão, vulnerabilidade e do gerenciamento desse ambiente, contribuindo para a realização deste estudo. Entre os principais trabalhos desenvolvidos em Maricá e adjacências estão às contribuições de Muehe (1975), Muehe e Ignarra (1984), Muehe, (1989), Santos e Silva (2000), Santos, *et al.* (2000), Santos (2001), Silva, *et al.*, (2004), Silva et al., (2008a,b), Lins-de-Barros e Muehe (2010), Silva e Silva (2010), Lins-de-Barros (2011), Muehe et al., (2011), Bulhões et al., (2014), Souza et al., (2015), Muehe et al., (2015), Fernandez, *et. al.*, (2015), Pinheiro (2018), Pinto (2018), Muehe et. al., (2018), Filho et al., (2020), Castro et al., (2020), Dutra et al. (2022), entre outros.

Entre 1973 e 2015 diversos autores como Muehe (1975), Santos (2000), Silva et al., (2008), Pardal (2009), Silva et al., (2014), Pinheiro et al., (2015), realizaram levantamentos de campo voltados para a aquisição de perfis topográficos de praia no litoral de Maricá, entre Itaipuaçu e Ponta Negra, que possibilitaram a elaboração de um banco de dados utilizado no presente estudo (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados de topografia praial disponíveis no litoral de Maricá desde a década de 1970

Ano	Itaipuaçu			APA Maricá		Barra	Cordeirinho	Ponta Negra		Fontes
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>PERFIS</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>1973</b>		x								Muehe 1975
<b>1974</b>		x				x				Muehe 1975
<b>1998</b>	x	x								Santos 2000
<b>1999</b>	x	x								Santos 2000
<b>2004</b>	x	x	x							Silva et al. 2008
<b>2005</b>	x	x	x							Silva et al. 2008
<b>2006</b>	x	x	x							Silva et al. 2008
<b>2007</b>	x									Pardal, 2009
<b>2008</b>	x			x	x					Pardal, 2009; Pinheiro et al. 2015
<b>2009</b>	x			x	x					Pinheiro et al. 2015
<b>2010</b>				x	x					Pinheiro et al. 2015
<b>2011</b>				x	x					Silva et al. 2014a
<b>2012</b>				x	x	x	x	x	x	Silva et al. 2014a; Pinheiro et al. 2015; Silva et al. 2015
<b>2013</b>				x	x	x	x	x	x	Pinheiro et al. 2015; Silva et al. 2015
<b>2014</b>				x	x	x	x	x	x	Pinheiro et al. 2015; Silva et al. 2015
<b>2015</b>				x	x	x	x	x	x	Pinheiro et al. 2015, Silva et al. 2015
<b>2022</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Alves, 2023

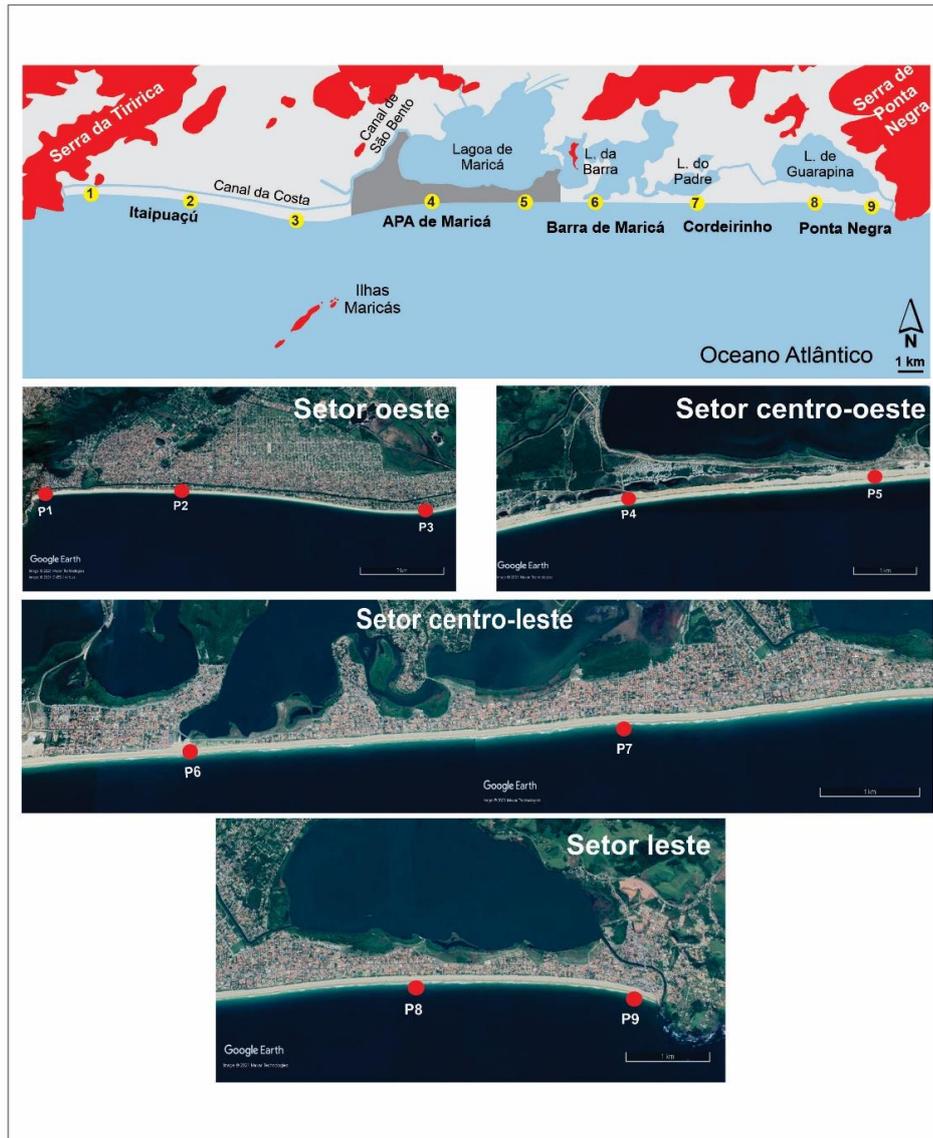
Fonte: A autora, 2020.

## 2.2 Metodologia de campo

Foram realizados 4 trabalhos de campo no litoral de Maricá para a aquisição de 36 perfis topográficos de praia nos meses de janeiro, março, maio e julho de 2022, todos em momento de maré de quadratura, observações das condições de mar e registro das principais intervenções na área de estudo.

Foram selecionados, sempre que possível, os mesmos pontos de monitoramento utilizados pelos autores anteriormente, para permitir uma melhor comparação e observação das mudanças ao longo das décadas. No total, foram selecionados 9 pontos de monitoramento (Figura 21), distribuídos ao longo do arco praial de Maricá, sendo: 3 na praia de Itaipuaçu, 2 na APA de Maricá, 1 na Barra de Maricá, 1 em Cordeirinho e 2 em Ponta Negra (Figura 22).

Figura 21 - Pontos de monitoramento

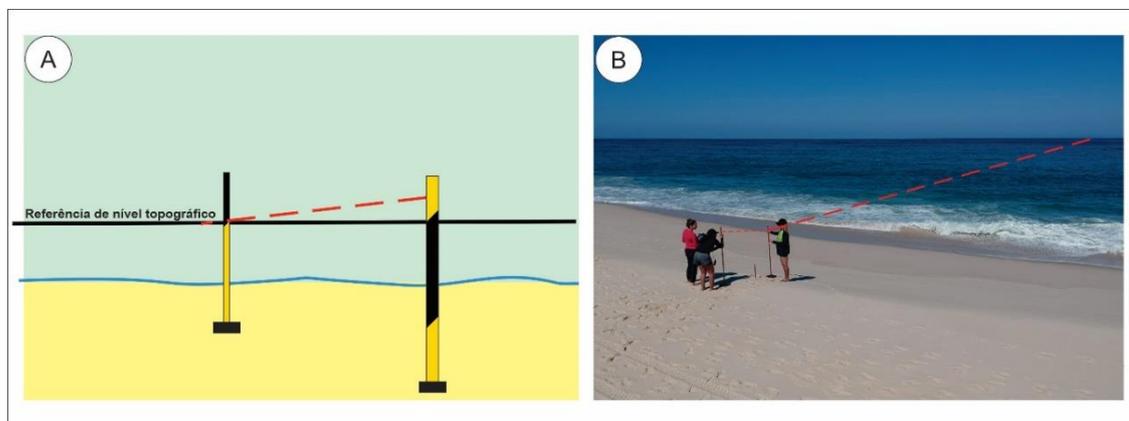


Fonte: A autora, 2021.

O levantamento topográfico de praia foi realizado através do método das balizas proposto por Emery (1961), que consiste na utilização de duas balizadas que medem 1,5 m de altura graduadas a cada 2 cm. Essas balizadas são alinhadas à linha do horizonte que representa a referência de nível topográfico (RN) e, assim obtém-se o registro topográfico (Figura 22). Todos os perfis topográficos foram georeferenciados com GPS (Sistema de Posicionamento Global), no sistema WGS-84. As coordenadas disponibilizadas em estudos anteriores (quando disponíveis) foram consideradas para o local de início dos perfis de praia. O local de início de cada perfil topográfico de praia corresponde a áreas de vegetação à retaguarda da praia e/ou, eventualmente, por construções (calçadão, muro, etc.). Todos os

perfis foram finalizados na linha d'água, e representam, portanto, a morfologia da porção emersa do ambiente praial.

Figura 22 – Esquema de levantamento topográfico de praia utilizando balizas de Emery (1961)



Fonte: A autora, 2023

Simultaneamente ao levantamento topográfico foram observadas as condições de mar, como: a altura e o tipo de arrebentação das ondas, a direção de incidência de ondas, período e presença de correntes. As observações das condições de mar são realizadas por no mínimo 3 pessoas. O período da onda é medido com o auxílio de um cronômetro, que registra o tempo de passagem entre duas cristas sucessivas de ondas por um ponto fixo (LAING, 1998). Essas informações foram integradas com dados já adquiridos no passado para a caracterização das condições de mar em cada trecho do litoral estudado.

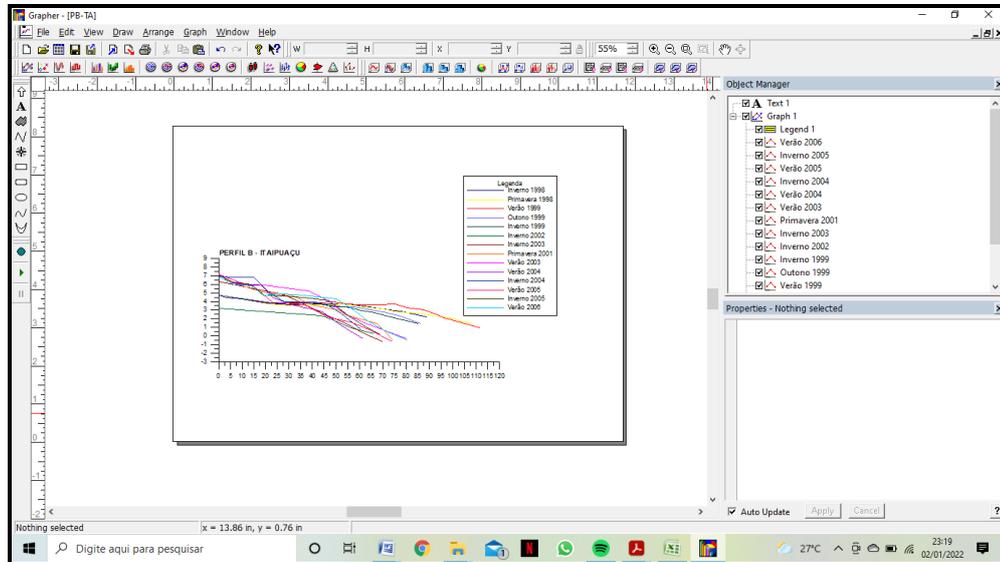
Durante os trabalhos de campo estão sendo fotografadas e registradas em planilhas as principais intervenções que estão ocorrendo na área de estudo. Para além disso, outras intervenções que ocorreram antes do início da pesquisa também estão sendo registradas através das informações disponíveis no site da prefeitura de Maricá.

### 2.3 Tratamento e análise dos dados

Os dados topográficos das praias foram organizados em tabelas no programa *Microsoft Excel* (Figura 23). Posteriormente foram gerados os perfis topográficos no programa *Grapher 7*. Foram elaborados perfis individuais de cada ponto monitorado para a

visualização da morfologia e da largura de cada perfil. Em seguida, os perfis foram sobrepostos para análise das mudanças ao longo das décadas de monitoramento.

Figura 23 – Tratamento dos perfis de praia no software Grapher 7



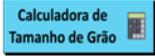
Fonte: A autora, 2021

A classificação morfológica das praias foi realizada com base no *software Coastal MD* desenvolvido por Oliveira Filho (2020). Para tal, foram utilizados dados de altura de onda, período de onda, diâmetro do grão, amplitude de maré, incidência de onda, direção da face de praia, tempo de espraiamento, alcance e recuo máximo para caracterização do estágio morfodinâmico predominante em cada local de monitoramento das praias estudadas. A classificação do estágio morfodinâmico de praias foi baseada em Wright e Short (1985) (Figura 24).

O cálculo do volume de sedimentos emerso da praia foi realizado a partir dos dados topográficos, como altimetria e distância horizontal (Figura 25), com base no método descrito em Oliveira Filho et al. (2020), utilizando o mesmo princípio elaborado por Birkemeier (1984). Para o cálculo do volume de sedimentos emerso da praia considera-se uma área medida a cada 1 metro de largura ao longo do perfil e depois se soma todas as demais áreas do perfil. O resultado da soma das áreas do perfil mostra a quantidade de sedimentos totais ( $m^3/m$ ) do perfil, posteriormente, a partir da comparação dos volumes de sedimentos (entre dois perfis), é possível quantificar e analisar a relação entre ganho e/ou perda de sedimentos em um mesmo sistema.

Figura 24 – Classificação morfológica das praias através do Software Coastal MD



Ponto de Monitoramento	PE		
Data	Verão 2006		
Altura de Onda na Arrebentação (Hb)	0,35	metros	
Período de Onda na Arrebentação (T)	7,3	segundos	
Diâmetro Mediano do Grão (D50)	500	µm	
Amplitude de Maré (m)	1,4	metros	
Incidência de Onda (°)	135	graus	
Direção da Face de Praia (°)	165	graus	
Tempo do Espraimento	7	segundos	
Alcance Máximo	Distância (m)	Altimetria (m)	
	9	2,11	
Recuo Máximo			

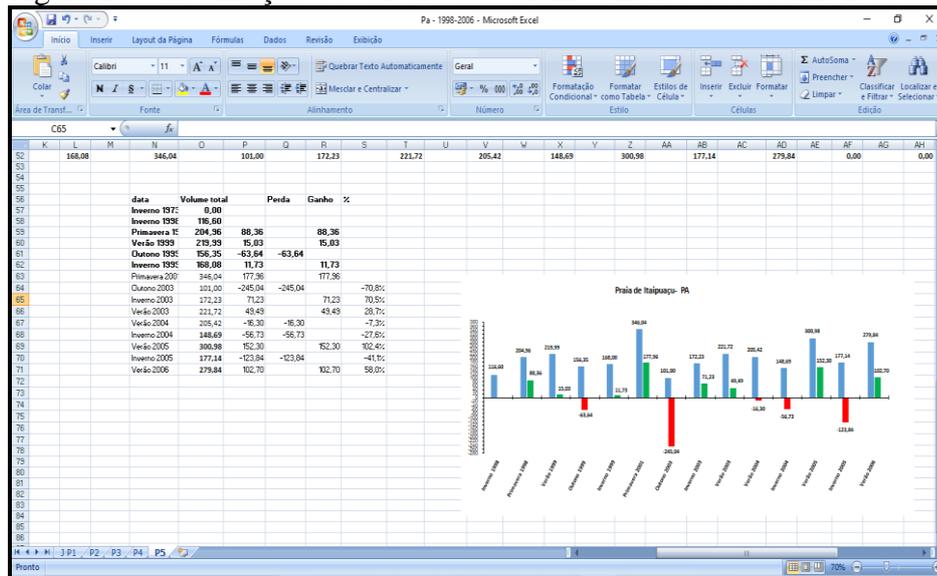
Desenvolvido por Oliveira Filho, Silvio Laboratório de Geografia Física (LAGEF)

Fonte: A autora, 2021

Apesar das muitas contribuições dadas por outros autores acerca da dinâmica das praias estudadas, os dados de volume de sedimentos emersos da praia aqui apresentados são inéditos para o litoral de Maricá e representam uma importante contribuição para que se possa compreender a dinâmica das praias estudadas numa escala de décadas.

A análise dos geoindicadores adaptados de Bush et al. (1999) é utilizado para indicar as áreas mais suscetíveis à erosão costeira. Os geoindicadores têm suas aplicações voltadas para a gestão costeira, onde a avaliação de risco/perigo e a mitigação de danos são as principais preocupações. Essa metodologia é utilizada para avaliar os fatores de predisposição à erosão costeira, com base em parâmetros de avaliação como: grau de exposição a eventos de tempestade, características da vegetação, elevação do local, ausência de dunas, transposição de ondas, presença de estruturas de engenharia e características da praia. Os geoindicadores foram organizados em sete categorias e classificados em três níveis de suscetibilidade (baixa, média e alta), de acordo com Pinheiro et al., (2021). Para cada categoria foram atribuídos valores (Tabela 4) para o diagnóstico da suscetibilidade, de acordo com as seguintes classes: baixo (7 a 11), médio (12 a 16) e alto (17 a 21).

Figura 25 – Realização do cálculo do volume emerso dos sedimentos das praias



Fonte: A autora, 2021

Tabela 4 – Geoindicadores e categoria de susceptibilidade

Geoindicadores	Categoria de susceptibilidade		
	Alta (Peso 3)	Média (Peso 2)	Baixa (Peso 1)
Grau de exposição	Exposta	Semi-exposta	Protegida
Vegetação	Estéril; escasso; tombado; espécies não nativas	Arbustos e gramíneas bem estabelecidos; nenhum tombou	Vegetação bem desenvolvida; nenhuma evidência de erosão na vegetação
Elevação do local	Menor que 3 m	3 - 6 m	Maior que 6 m
Dunas	Ausente ou removidas artificialmente	Dunas baixas ou descontínuas; dunas destruídas	Dunas altas e vegetadas
Overwash (sobrelavagem)	Frequente	Ocasional	Ausente
Estruturas de engenharia	Inúmeras (virilhas; paredões, quebra-mares)	Poucas estruturas e frente de praia	Ausente
Característica da praia	Estreito e íngreme com lama exposta, turfa ou tocos; pobre suprimento de areia	Largura moderada a estreita da praia seca; potencial para interrupção do fornecimento de areia	Largo e plano; com berma bem desenvolvida; bom suprimento de areia

Fonte: Pinheiro et. al., 2021, adaptado de Bush et al. (1999)

### 3 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados do presente estudo na seguinte ordem: (5.1) variabilidade morfológica das praias com base nos perfis topográficos adquiridos no ano de 2022 e a integração destes com perfis de praia pretéritos; (5.2) dinâmica sedimentar do litoral de Maricá com base nos dados de volume de sedimentos emerso das praias estudadas, desde a década de 1970; (5.3) indicação das áreas mais susceptíveis à erosão costeira de acordo com análise dos geoindicadores; e (5.4) principais intervenções realizadas na orla de Maricá e os danos causados por eventos de tempestade.

#### 3.1 Variabilidade morfológica das praias de Maricá

##### **Itaipuaçu (setor oeste do arco praial)**

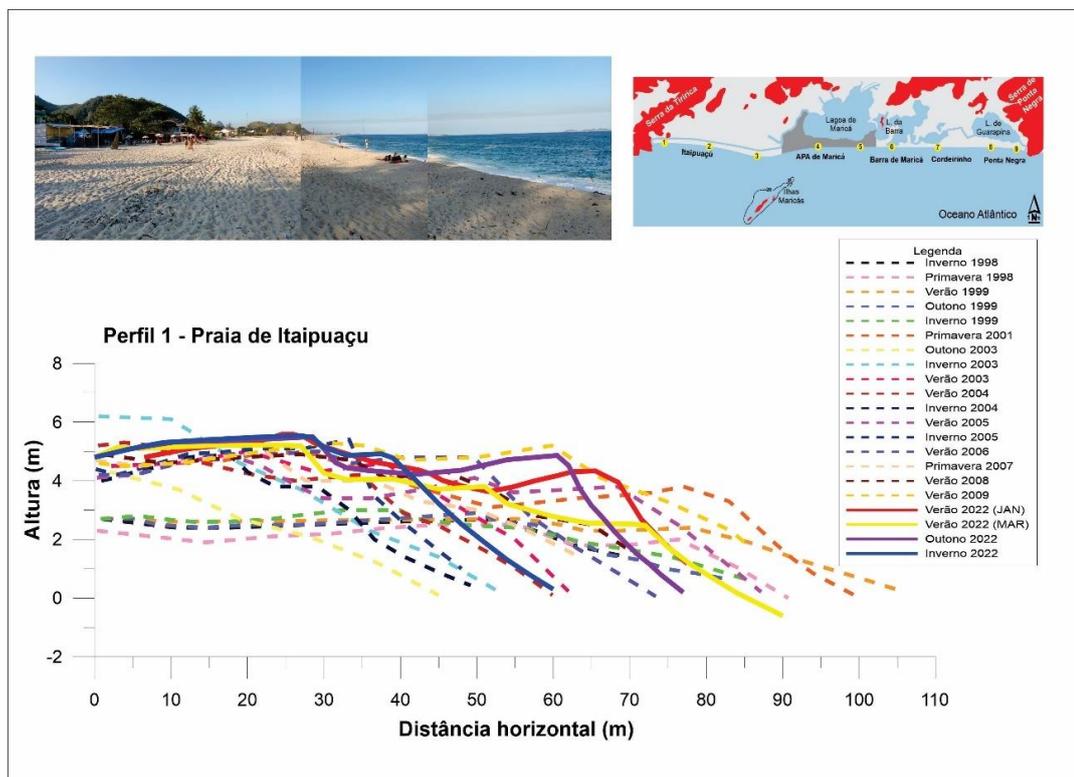
A praia de Itaipuaçu possui 10 km de extensão, sendo limitada a oeste pela Pedra do Elefante e a leste pela Área de Proteção Ambiental de Maricá. Essa praia é a mais urbanizada entre as praias selecionadas para o estudo e vem sofrendo uma série de transformações com a implementação do calçadão, ciclovia e postes próximo a faixa de areia dinâmica da praia. Foram selecionados três pontos de monitoramentos: o perfil 1 que corresponde ao extremo oeste da praia, o perfil 2 no meio do arco praial de Itaipuaçu e o perfil 3 na parte leste da praia, próximo ao limite com a APA de Maricá. A praia de Itaipuaçu possui uma granulometria distinta ao longo do arco praial, variando de areia muito grossa (perfil 1 e 2) a grossa (perfil 3) (Silva et al. 2008). Neste setor, os dados adquiridos entre 1970 e 2022 mostram mudanças expressivas na morfologia da praia em resposta a elevada dinâmica das ondas que incidem no litoral. O arco praial de Itaipuaçu apresentou uma morfodinâmica refletiva e exibiu variações na largura de praia bastante acentuadas, com destaque para o setor oeste (perfil 1), como também ressaltado por Silva et al. (2008a), com base em perfis topográficos adquiridos entre 1999 e 2006.

##### *Perfil 1 (Extremo oeste do arco praial de Itaipuaçu)*

O perfil 1 (Figura 26), próximo a Pedra do Elefante, está localizado em uma área urbanizada com a presença de casas, quiosques e restaurantes dentro da faixa dinâmica de

areia. O local de início do perfil 1 corresponde a estrutura de um muro de concreto de uma residência dentro da praia. Os dados adquiridos em 2022, e a integração deste com perfis topográficos adquiridos anteriormente (Silva et al., 2008a), mostram uma variação expressiva na morfologia da praia neste setor, como também foi constatado por Silva et al. (2008) (Figura 26). Em 2022, a largura média da praia até o alcance médio da onda foi de aproximadamente 68 metros, com a mínima de 45 metros no outono de 2022 e a máxima de 90 metros registrada no verão 2022. A comparação com perfis adquiridos anteriormente mostra variações semelhantes, com perfis mais largos no verão (média de 72 m) e mais estreitos no inverno (média de 57 m), em resposta à incidência de ressacas. A largura média, considerando os dados recentes (2022) e pretéritos (1998-2009) é de 45 metros até o alcance médio da onda. A frente de praia apresentou-se bastante íngreme, com declividade variando entre  $15^\circ$  no outono de 2003 e  $45^\circ$  no outono de 2022. O perfil de praia neste setor é caracterizado pela presença de bermas na área do pós-praia, geralmente largas com a presença de escarpas bastante íngremes e cúspides de praia rítmicos comumente observados na zona de intermaré. São observados também a presença de rigorosas correntes de retorno, principalmente na estação no inverno. Segundo análise no software Coastal MD, o arco praiial apresentou uma morfodinâmica refletiva.

Figura 26 – Perfis topográficos da praia de Itaipuaçu entre 1998 e 2022

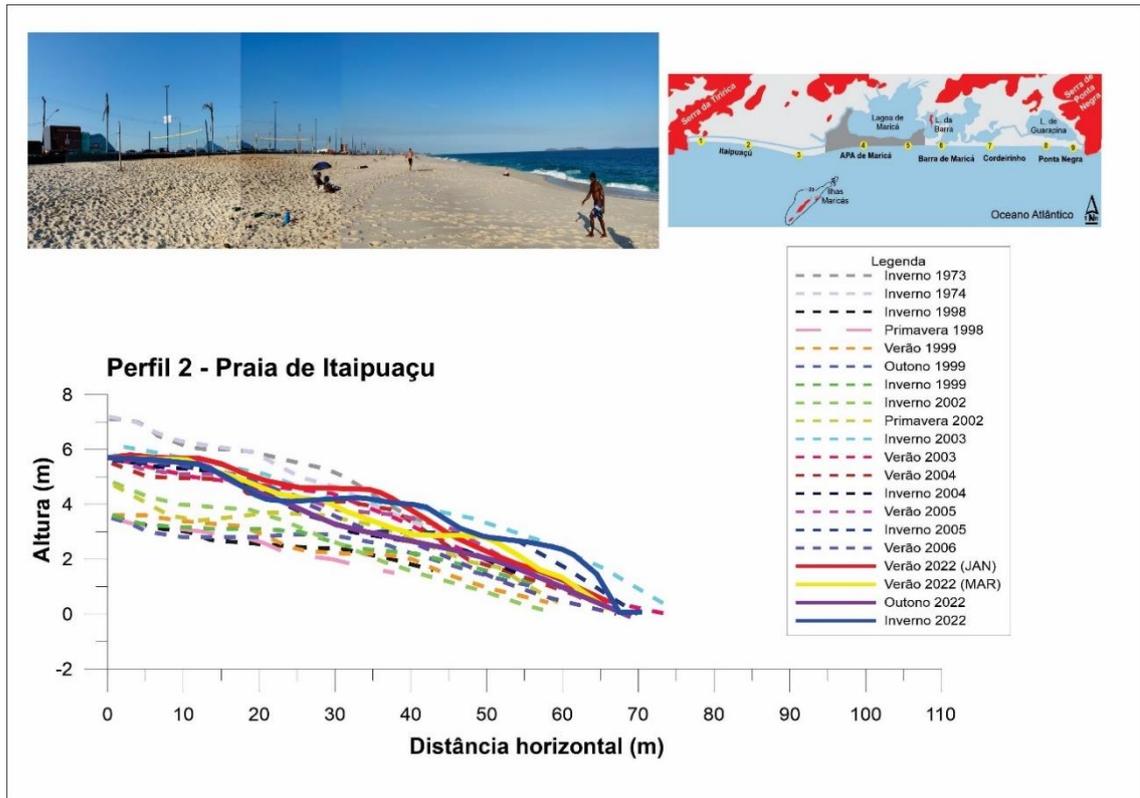


Fonte: A autora, 2023

*Perfil 2 (meio do arco praial de Itaipuaçu)*

O perfil 2 (Figura 27) representa o trecho mais alterado do litoral, devido a densidade de construções e intervenções no limite interno da praia, quando comparada com as demais áreas. Assim como no perfil 1, o local de início do perfil 2 também corresponde a um muro de concreto construído pela prefeitura para instalar o calçadão e a ciclovia. A sobreposição dos perfis topográficos de praia nesse trecho aponta para variações significativas na morfologia e na largura da faixa de areia emersa no ano de 2022; o mesmo padrão observado quando se compara com perfis adquiridos desde a década de 1970 por outros autores (Muehe, 1975; Santos, 2000; Silva et al., 2008a). A largura média da praia em 2022 foi de aproximadamente 68 m, sendo a mínima de 65 m no verão de 2022 (março) e a máxima de 70 m no inverno 2022. A frente de praia apresentou-se bastante íngreme com declividade variando entre 10° na primavera de 1998 e 20° no inverno de 2003. A comparação com perfis adquiridos anteriormente mostra variações semelhantes, com perfis mais largos no verão (média de 67 m) e mais estreitos no inverno (média 55 m), em resposta à incidência de ressacas. A largura média, considerando os dados recentes (2022) e pretéritos (1998-2009) é de 54 metros até o alcance médio da onda. O perfil de praia nesse trecho é caracterizado pela presença de bermas, geralmente largas e com a presença de escarpas de tempestades. São observados também a presença de correntes de retorno e cúspides de praia. Segundo análise no software Coastal MD, a praia apresentou uma morfodinâmica refletiva neste setor.

Figura 27 – Perfis topográficos da praia de Itaipuaçu entre 1973 e 2022



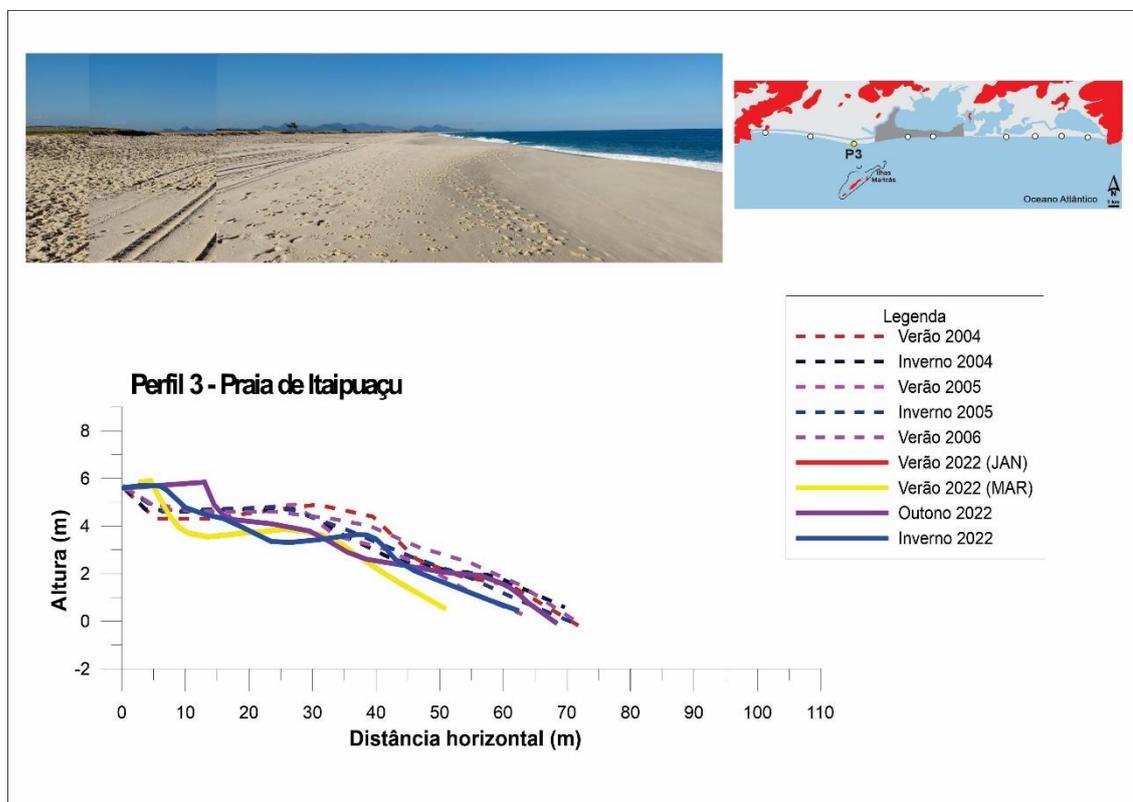
Fonte: A autora, 2023

### *Perfil 3 (leste do arco praial de Itaipuaçu)*

O perfil 3 (Figura 28), está localizado próximo ao limite com a APA de Maricá e à retaguarda das Ilhas Maricás, que protagonizam uma zona de sombreamento para a área do perfil. Neste trecho, a orla é relativamente urbanizada, com a presença de calçadão e rodovias, distante cerca de 60 metros da praia, separadas pela vegetação de restinga. A sobreposição dos perfis topográficos de praia nesse trecho entre os anos de 2004 e 2022 mostram variações significativas na largura e na morfologia da praia, embora esse seja o trecho com menos dados de monitoramento, comparando-se com as demais áreas em Itaipuaçu. A largura média da praia em 2022 foi de aproximadamente 60 m, sendo a mínima de 50 m no verão de 2022 – janeiro e a máxima de 70 m no outono de 2022. A comparação com perfis adquiridos anteriormente entre 2004 e 2006 (Silva et al. 2008a) mostra variações semelhantes, embora os perfis recentes tenham registrado uma certa diferença, com perfis mais estreitos no verão (média de 63 m) e mais largos no inverno (média de 70 m), em resposta à incidência de ressacas. A largura média, considerando os dados recentes (2022) e pretéritos (1998-2009) é de 63 metros até o alcance médio da onda. A declividade do perfil de praia variou entre 20° no inverno de 2022 e 25° no verão de 2022. Esse perfil é marcado pela presença de bermas e

escarpas de tempestades junto a vegetação de restinga. Segundo análise no software Coastal MD, o arco praial apresentou uma morfodinâmica refletiva.

Figura 28 – Perfis topográficos da praia de Itaipuaçu entre 2004 e 2022



Fonte: A autora, 2023

### APA de Maricá (Setor centro-oeste do arco praial)

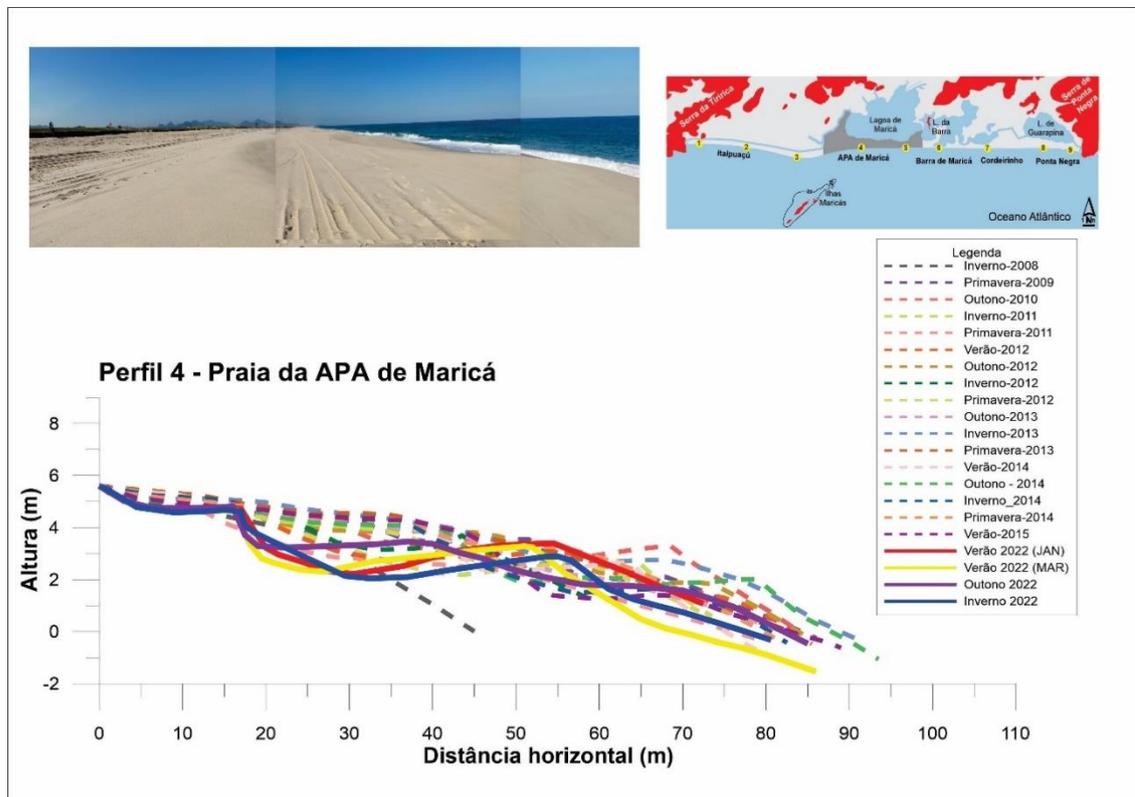
A praia na APA de Maricá possui 8 km de extensão e se encontra localizada no único trecho preservado do litoral estudado, com a presença de dunas bem desenvolvidas e vegetação do tipo restinga (Silva et al., 2014a). Na APA foram selecionados dois locais para o monitoramento dos perfis topográficos de praia (perfil 4 e perfil 5). A praia na APA de Maricá possui sedimentos variando entre areia grossa e média, bem selecionada, tanto no pós praia quanto na frente de praia (Pinheiro et al. 2015; Silva et al., 2014a).

#### *Perfil 4 (setor oeste da APA de Maricá)*

O perfil 4 (Figura 29), no setor oeste da APA de Maricá, está localizado numa área isenta de intervenções e/ou construções, já que se trata de uma área de proteção ambiental. A sobreposição dos perfis topográficos de praia sazonais do ano de 2022 mostram variações entre a mínima de 80 (inverno de 2022) e máxima de 86 metros (verão de 2022 - março), com largura média de 83 metros para o mesmo período. Quando se considera as variações

observadas desde 2008 (Pinheiro et al. 2015) até 2022, nota-se que a largura média da praia foi de 70 metros até a linha d'água, com a mínima de 45 metros no inverno de 2008 e a máxima de 94 metros no outono de 2022. A escarpa de tempestade da praia apresentou um deslocamento de 10-18 m em direção ao mar entre 2011 e 2015 (Pinheiro et al., 2015). Esse setor apresentou perfis com uma morfologia bastante expressiva com inclinação em direção ao oceano, variando entre 35° no outono de 2010 e 40° no inverno de 2022. O perfil de praia neste setor é caracterizado pela presença de bermas na área do pós-praia, geralmente largas com a presença de cúspides de praia. Além disso, há formação de escarpas de tempestades no período de inverno. Segundo análise no software Coastal MD, o arco praiial apresentou uma morfodinâmica refletiva.

Figura 29 – Perfis topográficos da praia na APA de Maricá (P4) entre 2008 e 2022



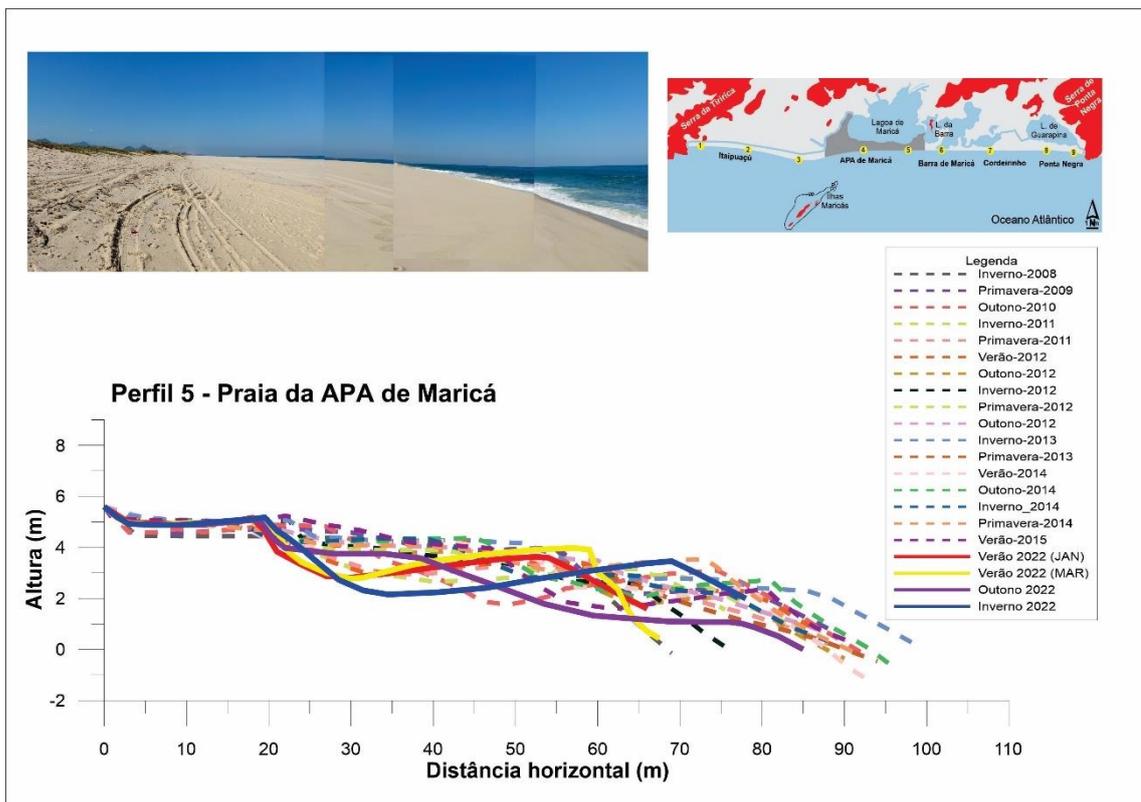
Fonte: A autora, 2023

#### *Perfil 5 (setor leste da APA de Maricá)*

O perfil 5 (Figura 30), no setor leste da APA de Maricá, também se encontra dentro de uma Área de Proteção Ambiental, onde não há construções ou intervenções próximas ou dentro do limite interno da praia. A sobreposição dos perfis topográficos de praia obtidos em 2022 mostraram variações entre a mínima de 69 metros (verão de 2022 - março) e a máxima

de 85 metros (outono de 2022), sendo a média de 77 metros até o alcance médio das ondas. A comparação entre 2008 e 2022 permite observar uma largura média da praia emersa de aproximadamente 76 metros, com a mínima de 68 metros no inverno de 2008 e a máxima de 85 metros no outono de 2022. A declividade dos perfis topográficos é íngreme e varia entre 30° no verão (janeiro) e 35° no inverno de 2022. O perfil de praia nesse trecho é caracterizado pela presença de bermas largas na área do pós-praia com a presença de cúspides de praia e também de formação de escarpas de tempestades. Segundo análise no software Coastal MD, o arco praiar apresentou uma morfodinâmica refletiva.

Figura 30 – Perfis topográficos da praia na APA de Maricá (P5) entre 2008 e 2022



Fonte: A autora, 2023

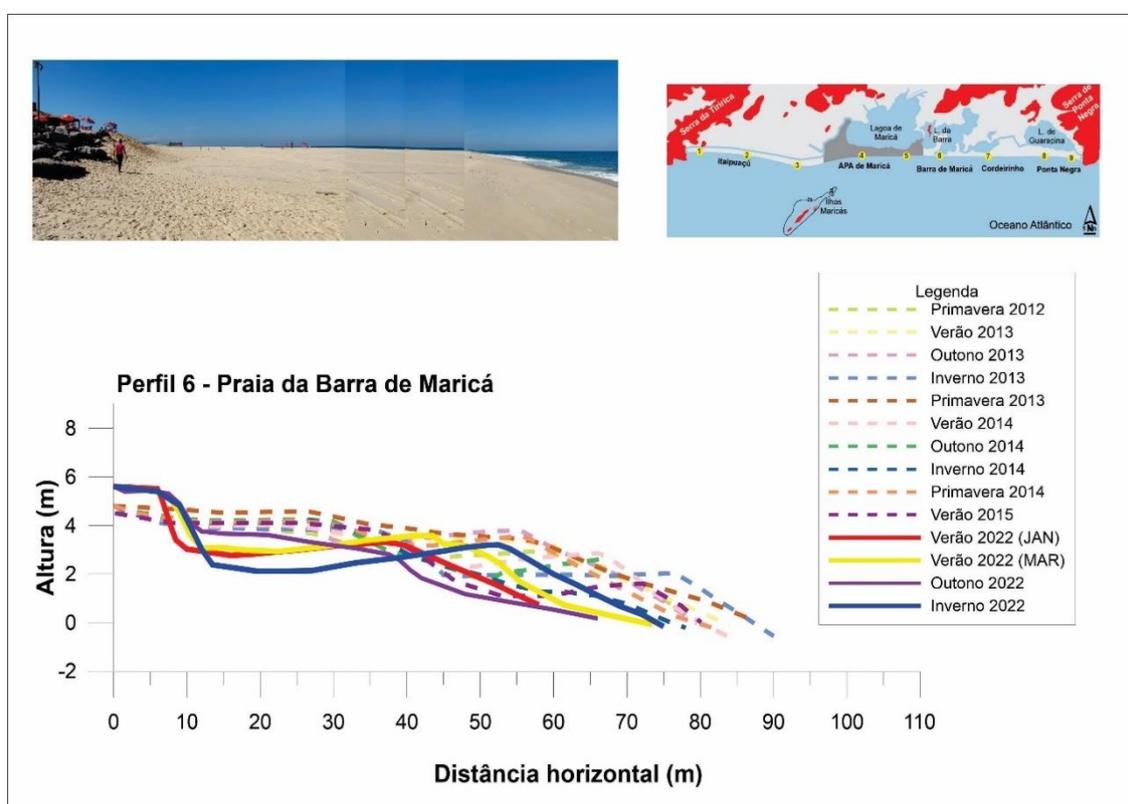
## Barra de Maricá e Cordeirinho (Setor centro-leste do arco praiar de Maricá)

### Perfil 6 (Barra de Maricá)

A praia da Barra de Maricá (Figura 31) possui 2 km de extensão, sendo seccionada por um canal de ligação entre a Lagoa da Barra de Maricá e o oceano, aberto esporadicamente para escoar as águas do sistema lagunar durante inundações. Neste setor é possível destacar a presença de diversas residências próximas ao limite interno da praia, além de calçadões e estrada pavimentada. Esse trecho vem sofrendo danos causados pela ação das grandes ondas de tempestade, o que tem resultado em constantes intervenções por parte da prefeitura para

reparar reconstruir a estrada e calçada. A praia da Barra de Maricá possui granulometria variando predominantemente de areia grossa a média e possui um bom selecionamento dos grãos, tantos no pós praia quanto na frente de praia (Silva et al. 2015). Os perfis topográficos de praia obtidos entre 2012 e 2022 mostrou uma variabilidade significativa na largura e morfologia da praia. A largura média da praia registrada foi de 65 metros, sendo a mínima de 55 metros no verão de 2015 e a máxima de 75 metros no inverno 2022. O perfil praiial apresentou uma declividade com variações na frente de praia entre 25° no verão 2022 – janeiro e 30° no inverno 2022. Feições do tipo bermas e cúspides de praia são comuns neste trecho do arco praiial. Os monitoramentos realizados em 2022 exibem uma maior concavidade entre os perfis topográficos de praia, em comparação com os obtidos anteriormente entre 2012 e 2015 por Silva et al. (2015). Além disso, o arco praiial apresentou uma morfodinâmica refletiva, segundo análise no software Coastal MD

Figura 31 – Perfis topográficos da praia da Barra de Maricá entre 2012 e 2022



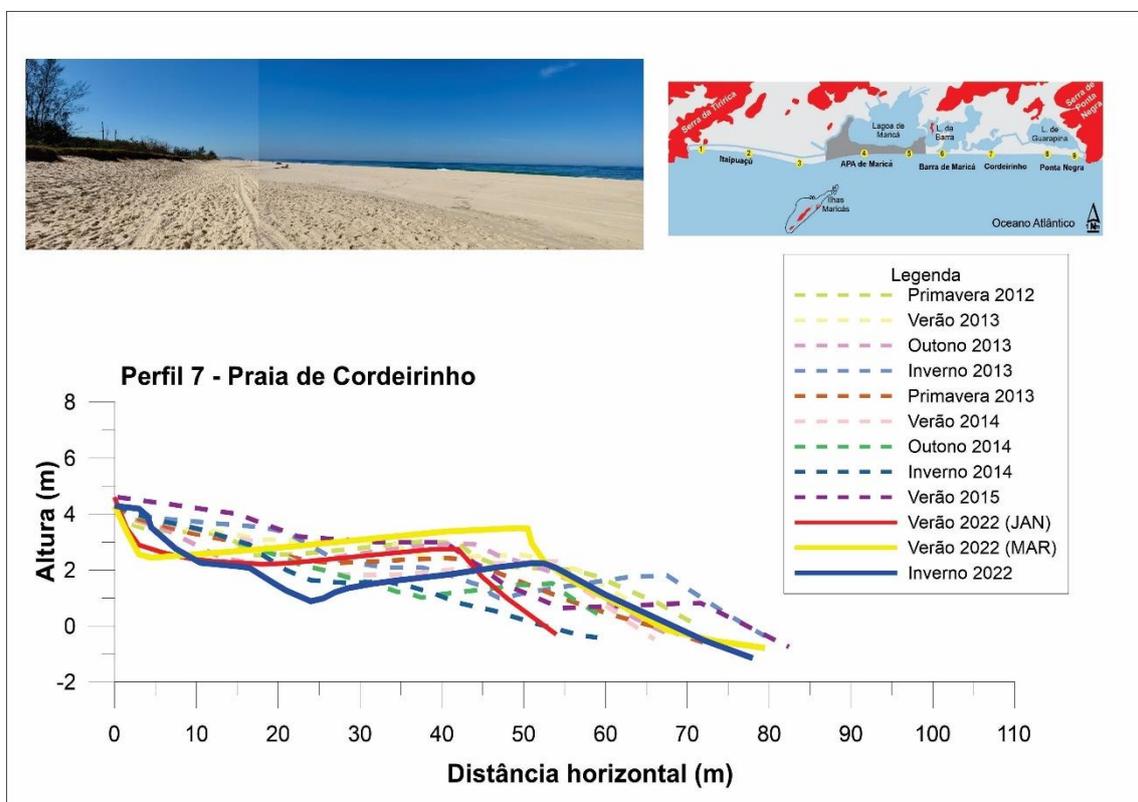
Fonte: A autora, 2023

#### Perfil 7 (Cordeirinho)

A praia de Cordeirinho (Figura 32) possui 1 km de extensão e está localizada num trecho da orla urbanizado, apesar de manter preservada uma estreita faixa de vegetação de restinga entre 15 e 20 metros junto ao limite interno da praia. A praia de Cordeirinho possui a

predominância de areias grossa e média bem selecionadas (Silva et al. 2015). A sobreposição dos perfis topográficos de praia obtidos em 2022 mostraram variações entre a mínima de 55 metros (verão de 2022 - janeiro) e a máxima de 80 metros (verão 2022 - março), sendo a média de 68 metros até o alcance médio das ondas. Entre 2012 e 2022, a praia apresentou uma variabilidade dos perfis topográficos moderada quanto comparada às demais áreas. Exibiu uma largura média da praia de 70 metros, sendo a mínima de 60 metros no inverno de 2014 e a máxima de 80 metros no verão de 2022 – março. O perfil praiial apresentou uma declividade com variações na frente de praia entre 15° no inverno 2014 e 40° no verão 2022 – março. O perfil de praia neste setor é caracterizado pela presença de bermas bem desenvolvidas e escarpas de tempestades bem íngremes. O arco praiial apresentou uma morfodinâmica refletiva segundo análise feita no software Coastal MD

Figura 32 – Perfis topográficos da praia de Cordeirinho entre 2012 e 2022



Fonte: A autora, 2023

### Setor leste: Ponta Negra

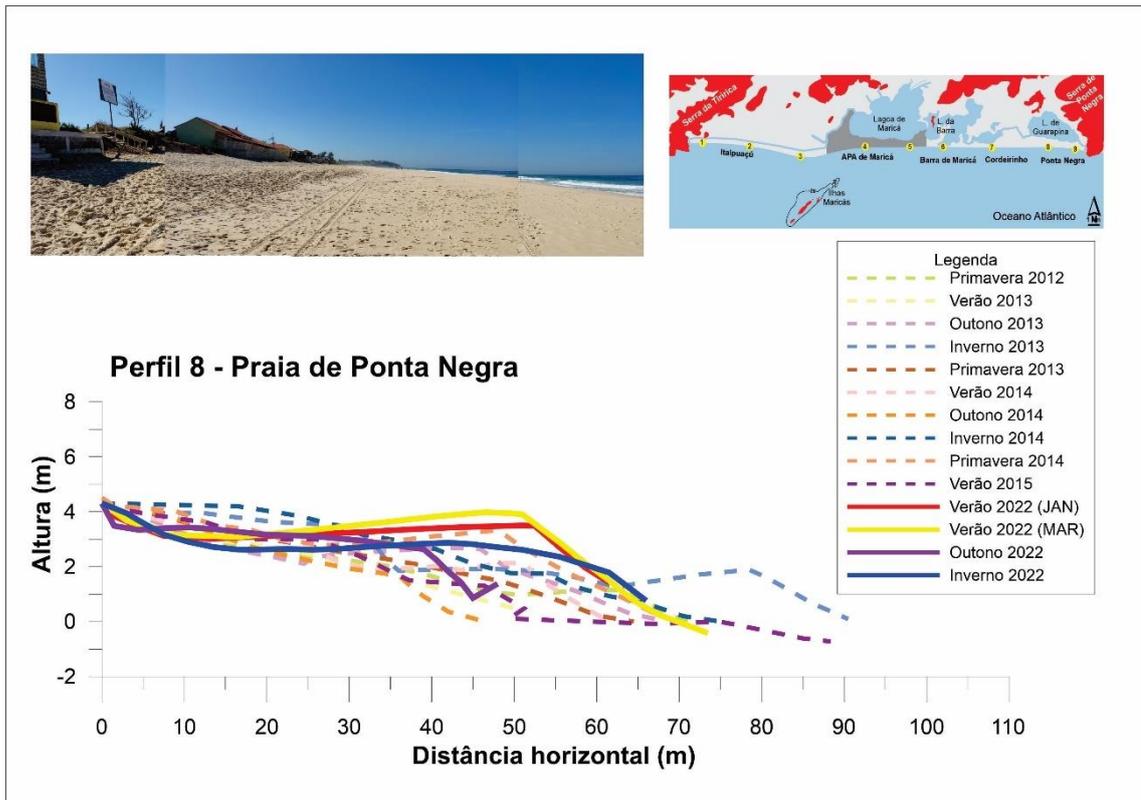
O setor leste do arco praiial de Maricá corresponde a praia de Ponta Negra. Essa praia possui 6 km de extensão, sendo limitada no extremo leste pelo Costão de Ponta Negra e a oeste pela Praia de Cordeirinho. Esse setor possui dois pontos de monitoramento: o perfil 8

(oeste da praia) e perfil 9 (leste da praia). A praia de Ponta Negra apresenta granulometria de areia média e um bom selecionamento na frente de praia e no pós praia (Silva et al. 2015).

*Perfil 8 (oeste do meio do arco praial)*

O perfil 8 (Figura 33) da praia de Ponta Negra está localizado em uma área que possui diversas construções localizadas próximo ou mesmo dentro da faixa dinâmica de areia, e que são atingidas constantemente pelas grandes ondas de tempestade. O local de início do perfil de praia está localizado próximo a uma estrutura de concreto, que corresponde ao muro de uma residência. A largura média da praia em 2022 foi de aproximadamente 62 m, sendo a mínima de 45 m no outono de 2022 e a máxima de 79 m no verão de 2022 - março. A sobreposição dos perfis topográficos de praia entre 2012 e 2022 mostrou mudanças expressivas na morfologia da praia, conforme foi constatado também por Silva et. al. (2015). A largura média registrada foi de aproximadamente 60 m, sendo a mínima de 45 m no outono de 2014 e a máxima registrada foi de 74 m no verão de 2022 - março, obtendo uma variação média da largura de 29 m entre os extremos. O perfil praial apresentou uma declividade com variações na frente de praia entre 10° no verão 2015 e 40° no verão 22 -março. O perfil de praia neste setor é caracterizado pela presença de bermas bem desenvolvidas e escarpas de tempestades bem íngremes. Esse trecho é um dos mais preocupantes devido a destruição de estruturas de engenharia e residências junto ao limite interno da praia, como também verificado por Lins-de-Barros (2005). A morfodinâmica da praia variou entre intermediária e refletiva, segundo análise feita no software Coastal MD.

Figura 33 – Perfis topográficos da praia de Ponta Negra (P8) entre 2012 e 2022

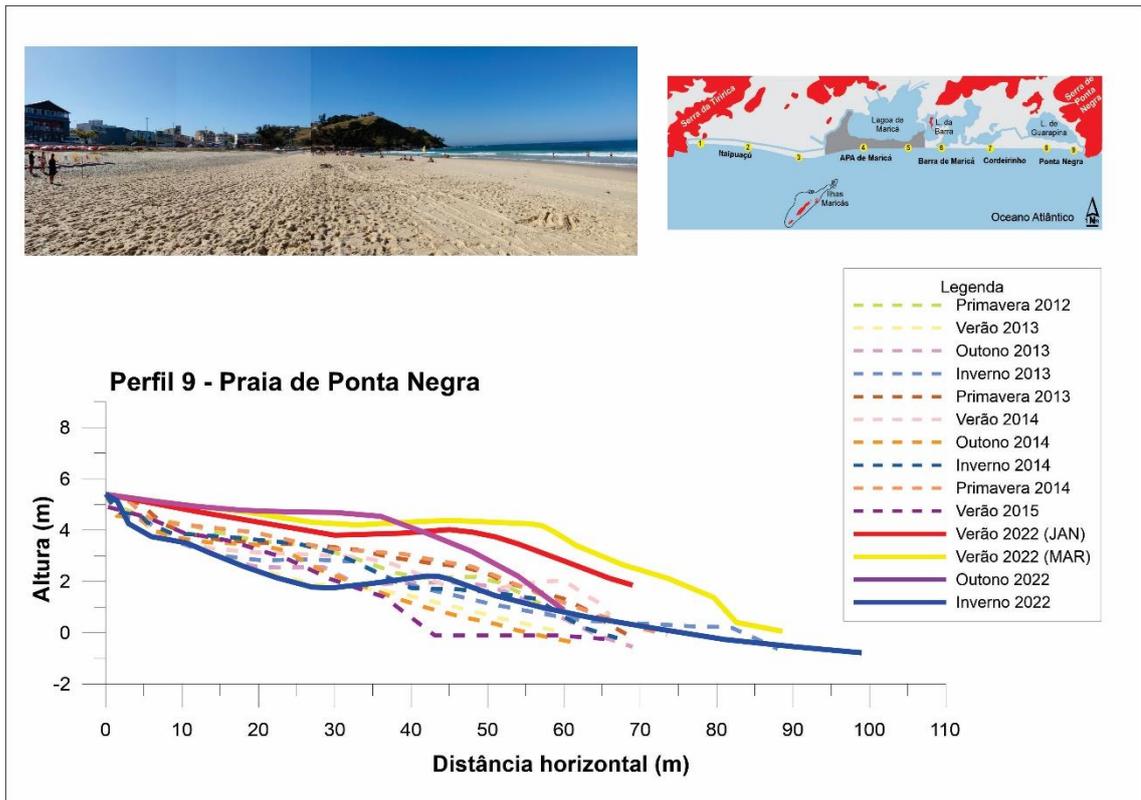


Fonte: A autora, 2023

#### *Perfil 9 (leste do meio do arco praial)*

O perfil 9 (Figura 21) deste setor está localizado próximo ao Costão de Ponta Negra e apresenta-se bastante urbanizado. Assim como no perfil 8, o local de início do perfil 9 também é representado por uma estrutura de concreto, mais precisamente um muro que sustenta a via próxima a praia. O perfil de praia neste setor é caracterizado pela presença de bermas bem desenvolvidas e ocorrência frequente de cúspides de praia. A largura média da praia em 2022 foi de aproximadamente 80 m, sendo a mínima de 60 m no outono de 2022 e a máxima de 100 m no inverno de 2022. A sobreposição de perfis obtidos entre os anos de 2012 e 2022 apontou variações significativas na morfologia e na largura da praia. A largura média registrada foi de aproximadamente 80 m, sendo a largura mínima de 60 m no outono de 2014 e a máxima registrada de 100 m no inverno de 2022. Esse alargamento do perfil de praia registrado no inverno de 2022, pode estar relacionado a inserção de materiais de obras, como por exemplo, areia dentro do limite interno da praia para a construção do calçadão. O perfil praial apresentou uma declividade com variações na frente de praia entre 10° no inverno 2022 e 30° no verão 2015. A morfodinâmica da praia variou entre intermediária e refletiva, segundo análise feita no software Coastal MD.

Figura 34 – Perfis topográficos da praia de Ponta Negra (P9) entre 2012 e 2022



Fonte: A autora, 2023

### 3.2 Dinâmica do arco praial com base nos dados de volume emerso de sedimentos

#### Itaipuaçu

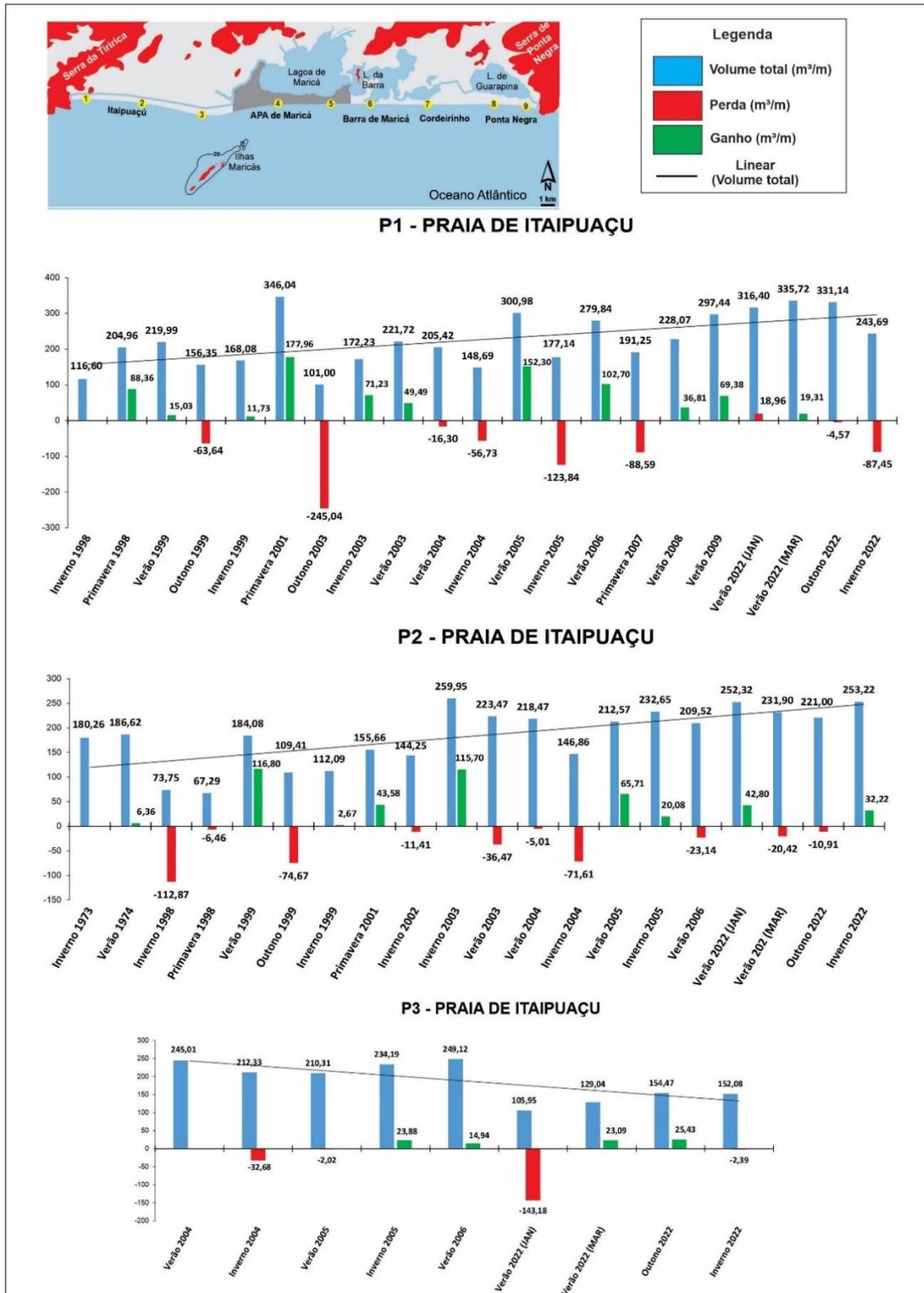
O extremo oeste da praia de Itaipuaçu (perfil 1) apresentou as maiores variações no volume emerso de sedimentos entre 1998 e 2022 (Figura 35). O maior volume total observado para o período ocorreu na primavera de 2001, quando foram medidos  $346,04 \text{ m}^3/\text{m}$  e menor no outono de 2003, quando foram registrados  $101,00 \text{ m}^3/\text{m}$  de sedimentos, obtendo uma diferença absoluta de  $245,04 \text{ m}^3/\text{m}$  entre o máximo e o mínimo volume de sedimentos, que corresponde a uma variação de  $\sim 71\%$ . Os momentos de redução foram precedidos por fases de recuperação parcial do volume de sedimentos, como é possível observar a partir do inverno de 2003, com ganho de  $71,23 \text{ m}^3/\text{m}$  (Figura 35); como também foi observado nos perfis topográficos de praia, com um alargamento de 15 m no perfil, principalmente a partir do verão de 2004. Esses dados apontam para um ligeiro aumento na quantidade de sedimentos incorporados na porção emersa da praia de Itaipuaçu neste setor. Isto pode ser o resultado de

uma maior tendência de deslocamento de sedimentos da parte oeste para leste pela deriva litorânea, por conta da maior influência de ondas provenientes de sudeste, geralmente de tempo bom, como também foi constatado por Ferreira (2014) e Silva et al. (2008a). Além disso, mostram que não há um comportamento sazonal na distribuição do volume de sedimentos retidos, já que há acúmulo e perda de sedimentos em todas as estações.

No perfil 2 de Itaipuaçu, o único com dados disponíveis desde a década de 1970, as variações no volume emerso de sedimentos entre 1973 e 2022, tal como no perfil 1, também apontam para um aumento na quantidade de areias na porção emersa da praia (Figura 35). O volume total apresentou o maior valor no inverno de 2003, quando foram medidos 259,95 m<sup>3</sup>/m de sedimentos e o menor no inverno de 1998 com 73,75 m<sup>3</sup>/m, obtendo uma diferença absoluta de 186,2 m<sup>3</sup>/m entre o máximo e mínimo, o que corresponde a uma redução de ~72%. Essa redução inicial mostra um comportamento de acúmulo sedimentar a partir de 1998, caracterizando um processo de alargamento ou acresção de sedimentos nesse trecho, seguindo a mesma tendência de deslocamento de sedimentos de oeste para leste.

No perfil 3 em Itaipuaçu, entre os anos de 2004 e 2022 ocorreram oscilações no volume sedimentar emerso que sinalizam para uma ligeira redução do estoque de areias nesse trecho do arco praial (Figura 35), quando se compara os dados de 2022 com aqueles obtidos de perfis topográficos realizados entre 2004 e 2006, por Silva et al. (2008a). O maior volume total de sedimentos foi observado no verão de 2006, atingindo 249,12 m<sup>3</sup>/m de sedimentos e o menor no verão (janeiro) de 2022, quando foram medidos 105,95 m<sup>3</sup>/m, obtendo uma diferença absoluta em a máxima e a mínima de 143,17 m<sup>3</sup>/m, o que corresponde a uma redução de ~57%. Essa redução é precedida por uma recuperação parcial dos sedimentos nos dois monitoramentos seguintes (verão – março 2022 e outono 2022) atingindo 152,08 m<sup>3</sup>/m de sedimentos.

Figura 35 – Cálculo do volume emerso de sedimentos da Praia de Itaipuaçu



Fonte: A autora, 2023

## **APA de Maricá**

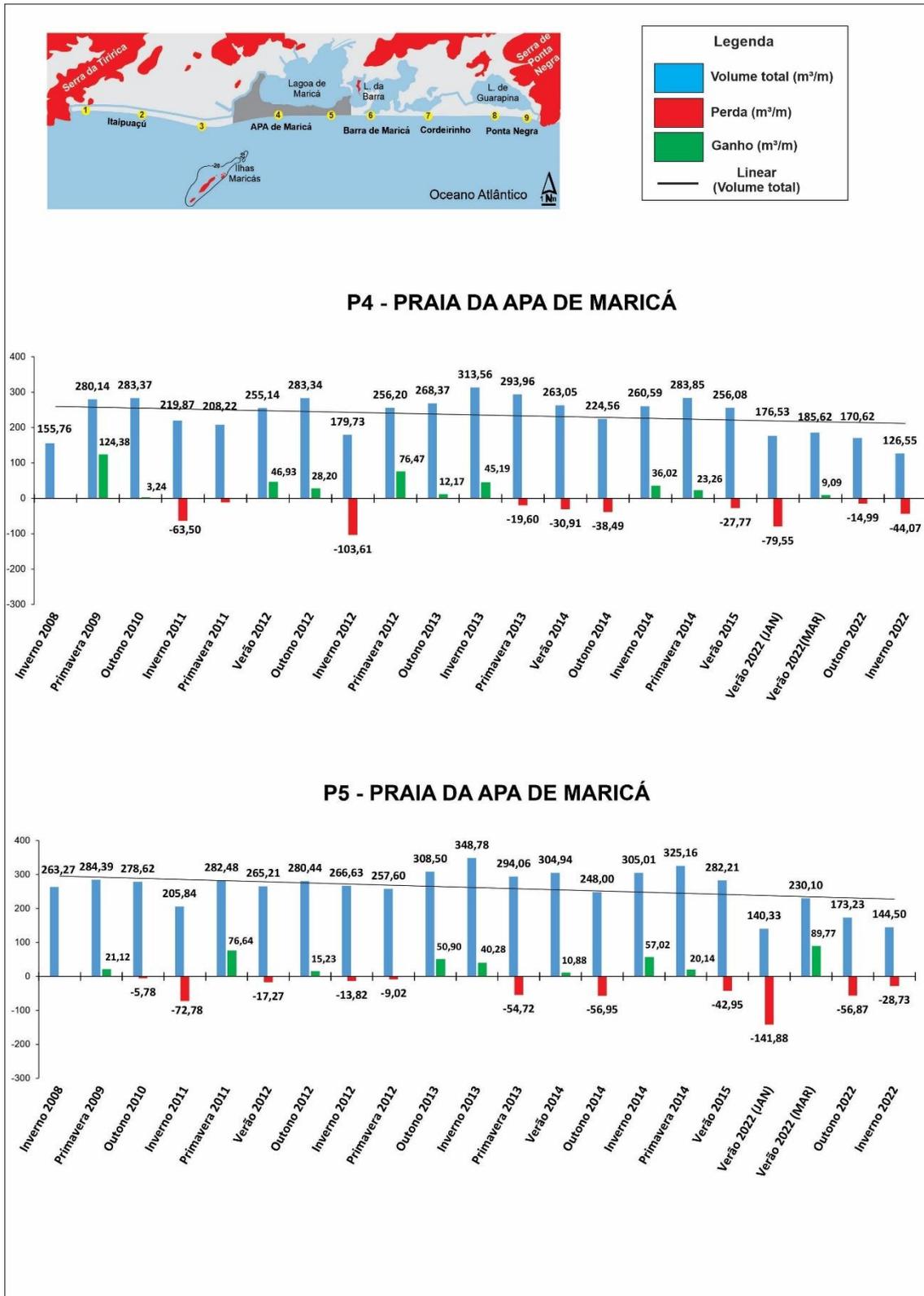
Os dados do cálculo do volume emerso de sedimentos da praia da APA de Maricá mostraram variações de areias durante o período de 2008 a 2022 (Figura 36). Em ambos os perfis, ocorreram grandes variações no volume de sedimentos. No perfil 4, o maior volume de sedimentos foi registrado no inverno de 2013, quando foram registrados 313,56 m<sup>3</sup>/m de sedimentos e o menor no inverno de 2022, quando foram registrados 126,55 m<sup>3</sup>/m, obtendo uma diferença absoluta de 190,01 m<sup>3</sup>/m, que corresponde a uma redução de ~60% entre a máxima e a mínima registrada.

No perfil 5 da APA de Maricá, o maior volume sedimentar foi verificado no verão de 2015 com 282,21 m<sup>3</sup>/m, o menor volume total ocorreu no verão de 2022 (janeiro), quando foram medidos 140,33 m<sup>3</sup>/m, uma diferença absoluta de 141,88 m<sup>3</sup>/m, que corresponde a uma redução de ~50%. Durante o monitoramento seguinte, ainda na estação de verão (março), ocorreu uma recuperação parcial do volume de sedimentos de 89,77 m<sup>3</sup>/m. Essa recuperação também pôde ser vista no perfil de praia com o alargamento de 5 m na faixa de areia emersa da praia.

## **Barra de Maricá e Cordeirinho**

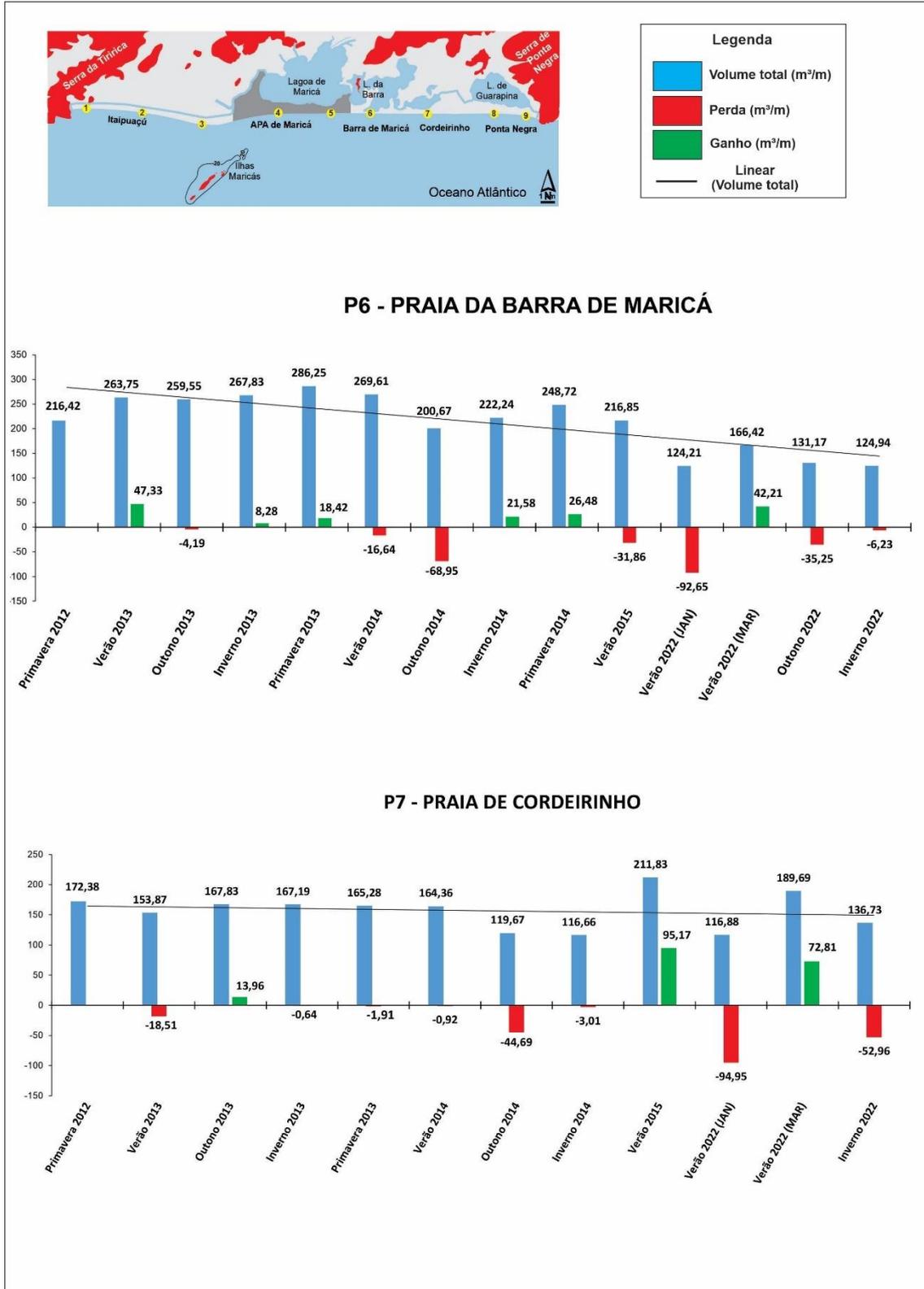
O volume total de sedimento praiado emerso na Barra de Maricá mostrou variações que apontam para uma redução progressiva na quantidade de areias neste trecho praiado entre 2012 e 2022 (Figura 37). O maior volume de sedimentos registrado ocorreu no verão de 2015, quando foram medidos 216,85 m<sup>3</sup>/m e o menor no verão de 2022 (janeiro), com 124,21 m<sup>3</sup>/m, obtendo uma diferença absoluta de 95,64 m<sup>3</sup>/m, que corresponde a uma redução de ~43%. Durante o monitoramento seguinte que ocorreu ainda na estação do verão (mês de março), foi registrada uma perda significativa de sedimentos que corresponde a 92,62 m<sup>3</sup>/m (figura 37). Até o fim do monitoramento que ocorreu em julho de 2022, não ocorreu a recuperação total do volume de sedimentos, mantendo os mesmos 124 m<sup>3</sup>/m de volume. Os dados adquiridos mostram que não há um comportamento sazonal na distribuição de sedimentos. A diminuição na quantidade de areias neste local pode estar relacionada à abertura do canal da Barra de Maricá no ano de 2010, que remobilizou grande quantidade de sedimentos da barreira para a porção submarina e, posteriormente, para a APA de Maricá (Pinheiro et al., 2015; Silva et al. (2015).

Figura 36 – Cálculo do volume emerso de sedimentos da APA de Maricá



Fonte: A autora, 2023

Figura 37 – Cálculo do volume emerso de sedimentos da Barra de Maricá e Cordeirinho



Fonte: A autora, 2023

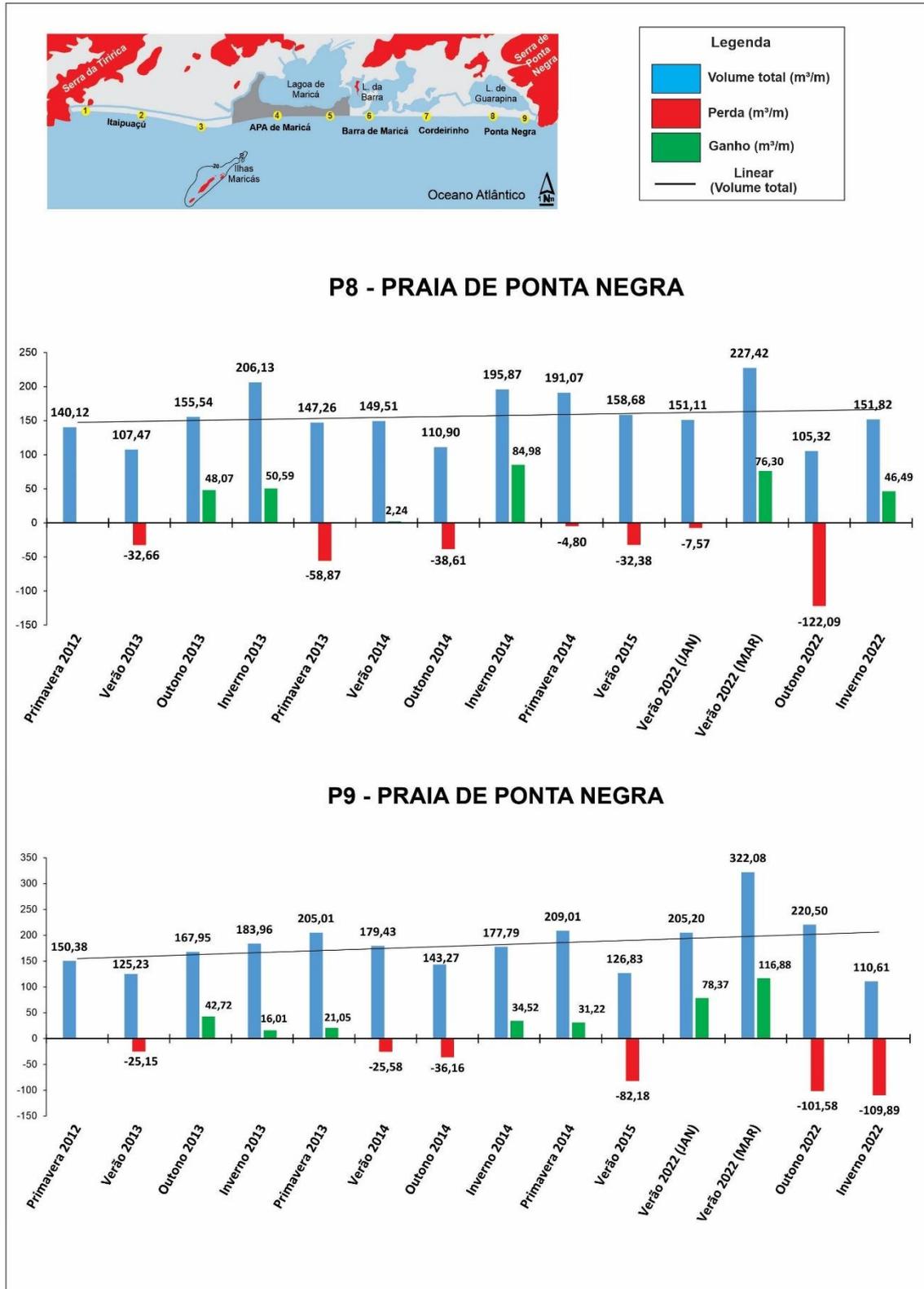
O volume de sedimentos emersos na praia de Cordeirinho entre 2012 e 2022 aponta para uma condição de equilíbrio dinâmico, com variações entre o máximo de 211,83 m<sup>3</sup>/m no verão de 2015 e o mínimo de 116,88 m<sup>3</sup>/m no verão de 2022 (janeiro), obtendo uma diferença absoluta de 94,95 m<sup>3</sup>/m, que corresponde a uma redução de ~45%. No monitoramento seguinte, realizado no verão de 2022 (março), ocorreu uma recuperação parcial do volume de sedimentos, com ganho de 72,81 m<sup>3</sup>/m, acompanhando de um alargamento de 25 m da faixa de areia emersa no verão de 2022 do mesmo mês (Figura 37). Os dados apontam para uma tendência discreta de redução do volume de sedimentos, seguindo o mesmo padrão (oeste para leste) e não corroboram com o comportamento sazonal entre perdas e ganhos de sedimentos.

### **Ponta Negra**

O cálculo do volume de sedimentos emersos da praia de Ponta Negra mostrou variações entre 2012 e 2022 que expressam o caráter dinâmico deste ambiente. (Figura 38) No perfil 8, o maior volume de sedimentos foi registrado no verão de 2022 (março), com 227,42 m<sup>3</sup>/m; o menor volume ocorreu no outono de 2022 quando foram medidos 105,32 m<sup>3</sup>/m. A diferença absoluta entre o maior e o menor volume de areias foi de 122,1 m<sup>3</sup>/m, que corresponde a uma redução de ~54% neste período. No monitoramento seguinte (inverno de 2022) ocorreu um ganho de apenas 46,49 m<sup>3</sup>/m, resultando em um acúmulo de volume total de 151,82 m<sup>3</sup>/m.

As maiores variações registradas no perfil 9 da praia de Ponta Negra, ocorreram no verão de 2022 (março) com o volume máximo de 322,08 m<sup>3</sup>/m e o menor no outono de 2022, com 220,50 m<sup>3</sup>/m. A diferença absoluta entre o maior e o menor volume foi de 81,58 m<sup>3</sup>/m, que corresponde a uma redução de ~31% neste período. No monitoramento seguinte (inverno de 2022) ocorreu mais uma perda significativa, que corresponde a 109,99 m<sup>3</sup>/m de sedimentos, resultando em um volume total de apenas 110,61 m<sup>3</sup>/m. Sendo assim, até o final do monitoramento, não houve recuperação do volume total de sedimentos neste trecho. Os dados da praia de Ponta Negra também mostram que não há uma sazonalidade entre as perdas e os ganhos de sedimentos, além de apontarem para uma discreta acresção de sedimentos que podem estar relacionados ao transporte de sedimentos devido as correntes costeiras e ação das ondas, além também da introdução de materiais de obra dentro da faixa dinâmica da areia (Figura 38).

Figura 38 – Cálculo do volume emerso de sedimentos de Ponta Negra



Fonte: A autora, 2023

### 3.3 Áreas mais susceptíveis à erosão com base na análise dos geoindicadores<sup>7</sup>

A partir da análise das categorias dos geoindicadores é possível aplica-la na identificação dos riscos/perigos e danos a erosão costeira e posteriormente destinar a mitigações de problemas relacionados a fatores erosivos. Os geoindicadores são organizados em sete categorias e classificados em três níveis de suscetibilidade (baixa, média e alta). Além disso, são atribuídos valores e classes para análise dos geoindicadores a cada categoria analisada: baixa (7 a 11), média (12 a 16) e alto (17 a 21) (Bush et. al., 1999; Pinheiro et. al., 2021).

#### **Setor oeste: Itaipuaçu**

A partir da análise dos geoindicadores, a praia de Itaipuaçu apresentou uma suscetibilidade à erosão alta. Todos os setores da praia analisados indicaram graus elevados de suscetibilidade. Esses setores, principalmente o setor oeste de Itaipuaçu (P1) e o meio do arco praiial (P2) são os mais preocupantes, por se tratarem de áreas altamente exposta as ondas de tempestades, por não possuírem presença de dunas frontais e vegetação do tipo restinga, diminuindo a proteção do litoral e por serem áreas com alta concentração de estruturas dentro ou próximas ao limite interno da praia e frequentes transposições de ondas durante eventos de tempestades (Figura 39), causando inundações recorrentes nas ruas próximas à praia (Tabela 5). O setor leste (P3) também possui alta suscetibilidade a erosão costeira, porém o mesmo apresenta poucas estruturas dentro ou próximas ao limite interno da praia e vegetação de restinga bem estabelecidas, por se tratar de uma área de transição entre Itaipuaçu e a APA de Maricá.

#### **Setor centro-oeste: APA de Maricá**

A análise dos geoindicadores apontaram para uma suscetibilidade à erosão média na praia da APA de Maricá, nos dois setores analisados (P4 e P5). Apesar da praia está localizada em um ambiente altamente exposto a ação direta das ondas, a presença de dunas frontais, a ausência de construções dentro ou no limite interno da praia e a ausência de evidencias de erosão na vegetação, apontam para uma suscetibilidade média a erosão costeira. O mesmo ocorre na praia de Fora e do Rancho (Pinheiro et. al., 2021). Por se tratar de uma Área de Proteção Ambiental, os setores centro-oeste são áreas que possuem proteção natural contra ação das ondas de tempestade (Tabela 5).

Tabela 5 – Geoindicadores encontrados nas praias de Maricá

		Itaipuaçu			APA de Maricá		Barra	Cord.	Ponta Negra	
		Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9
1	Alto grau de exposição as ondas de tempestade	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Vegetação bem desenvolvida				x	x				
3	Elevação do terreno variando entre 3-6 m	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	Transposição de ondas ausente			x					x	x
5	Campo de dunas altas e vegetadas				x	x				
6	Ausência de estrutura de engenharia				x	x				
7	Largura moderada a estreita na praia seca	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: A autora, 2023

### Setor centro-leste: Barra de Maricá e Cordeirinho

Os geoindicadores mostraram uma suscetibilidade à erosão alta no setor centro-leste do arco praial, tanto na praia da Barra de Maricá (P6) quanto na Praia de Cordeirinho (P7). A praia da Barra de Maricá é a mais preocupante de todas as áreas estudadas, pois possui inúmeras construções próximas ou dentro do limite interno da praia e possui um histórico de destruição e inundação durante eventos de tempestade (Figura 39). Além disso, é uma área altamente exposta a ação direta das ondas, é uma área que não possui dunas frontais e vegetação de restinga, fazendo com que esse trecho do arco praial seja ainda mais suscetível a erosão costeira, corroborando com os dados apresentados e como visto também na praia do Ranchos em Paraty (Pinheiro, et. al., 2021) (Tabela 5). A praia de Cordeirinho apesar de possuir uma pequena faixa de vegetação do tipo restinga, também é considerada como uma praia com alto grau de suscetibilidade, justamente por ser uma praia exposta e possuir construções próximas ou dentro do limite interno da praia.

Figura 39 - Danos causados pós evento de tempestade no litoral de Maricá



Fonte: A, B – Jornal Maricá 24h, 2023; C, D, E, F – Felipe Zeidan, 2020; G, H – a autora, 2022

### Setor leste: Ponta Negra

Os geoindicadores apontaram para uma alta suscetibilidade no setor leste do arco praial, nos perfis (P8 e P9). Ambas as áreas estão inseridas em locais expostos a ação direta das ondas, sem dunas frontais, elevação de menos de 3 m e largura moderada a estreita de perfil de praia. Além disso, são áreas que possuem construções próximas ou dentro do limite interno da praia e um histórico de destruição de muros de residências, principalmente no setor do P8, onde há estruturas dentro da praia, tornando-se uma das áreas preocupantes no arco praial (Figura 39) (Tabela 5).

### **3.4 Principais intervenções realizadas na orla de Maricá e os danos causados por eventos de tempestades**

De acordo com Guerra e Manso (2004) o aumento de edificações e estradas próximo ao pós-praia é considerado um fator condicionante para potencialização do balanço sedimentar negativo que, quando associado a processos erosivos, contribui para o recuo da linha de costa. Diversas foram as intervenções realizadas na orla de Maricá, desde obras para proteção e recuperação do litoral até obras de infraestrutura, lazer e turismo. A praia de Itaipuaçu recebeu as maiores intervenções e obras de engenharia. Ao longo da praia estruturas como muros, barreiras de rochas, estacas prancha, molhes, espigões, palafitas, aterros de loteamento e passagem para ciclovias e calçadões foram acrescentados dentro ou próximo da faixa dinâmica da areia da praia (Figura 40). Além disso, há a pretensão de se construir um emissário na Praia de Itaipuaçu (Site de Notícia Enfoco, 2019).

Figura 40 – Obras de engenharia na Praia de Itaipuaçu

			
<p>A – Construção de muros na praia de Itaipuaçu. Fonte: Somar, 2020.</p>	<p>B – Colocação de barreira de pedras na Praia de Itaipuaçu. Fonte: Somar, 2019</p>	<p>C – Construção de molhe (quebramar) na Praia de Itaipuaçu. Fonte: Simone Boechat, 2019.</p>	<p>D – Instalação de estaca prancha na Praia de Itaipuaçu</p>
			
<p>E – Abertura do canal do Recanto na Praia de Itaipuaçu. Fonte: Simone Boechat, 2020.</p>	<p>F – Aterros de loteamento na Praia de Itaipuaçu. Fonte: A autora, 2022.</p>	<p>G – Presença de palafitas (corpo de bombeiro e quiosques) na praia de Itaipuaçu. Fonte: A autora, 2022.</p>	<p>H – Aterro de passagem na orla da Praia de Itaipuaçu. Fonte: Adriano Marçal, 2021.</p>

Fonte: A autora, 2023

Na praia da APA de Maricá, nenhuma intervenção foi realizada até o momento por parte da prefeitura de Maricá, visto que se trata de uma Área de Preservação Ambiental. As poucas intervenções existentes próxima à praia são representadas pelas instalações da Aeronáutica e alguns poucos quiosques no setor oeste da APA. No entanto, nessa mesma área existe uma grande depressão causada pela extração ilegal de areias na área da barreira (Silva et al., 2014a). Está previsto para que ocorra nessa área a construção de um megaempreendimento do tipo resort. No entanto, o empreendimento se construído na APA de Maricá, poderá ter consequências irreversíveis para todo o ecossistema e ainda comprometer às atividades pesqueiras que ocorrem na região desde o século XVIII, por pescadores tradicionais de Zacarias (Cantarelli, et. al., 2021; Carraco et. al., 2023). Esse empreendimento até o momento encontrava-se embargado pelo Ministério Público do Rio de Janeiro.

As praias da Barra de Maricá e Cordeirinho, receberam diversas obras e intervenções, principalmente nos últimos anos. Na praia da Barra de Maricá foram construídos muros, barreiras de rochas, aterros de loteamento, aterros de passagem e enrocamentos, após sucessivos danos causados por ressacas nessa área. Já na praia de Cordeirinho as intervenções mais frequentes são os muros, aterros de loteamento, passagem e estaca prancha (Figura 41).

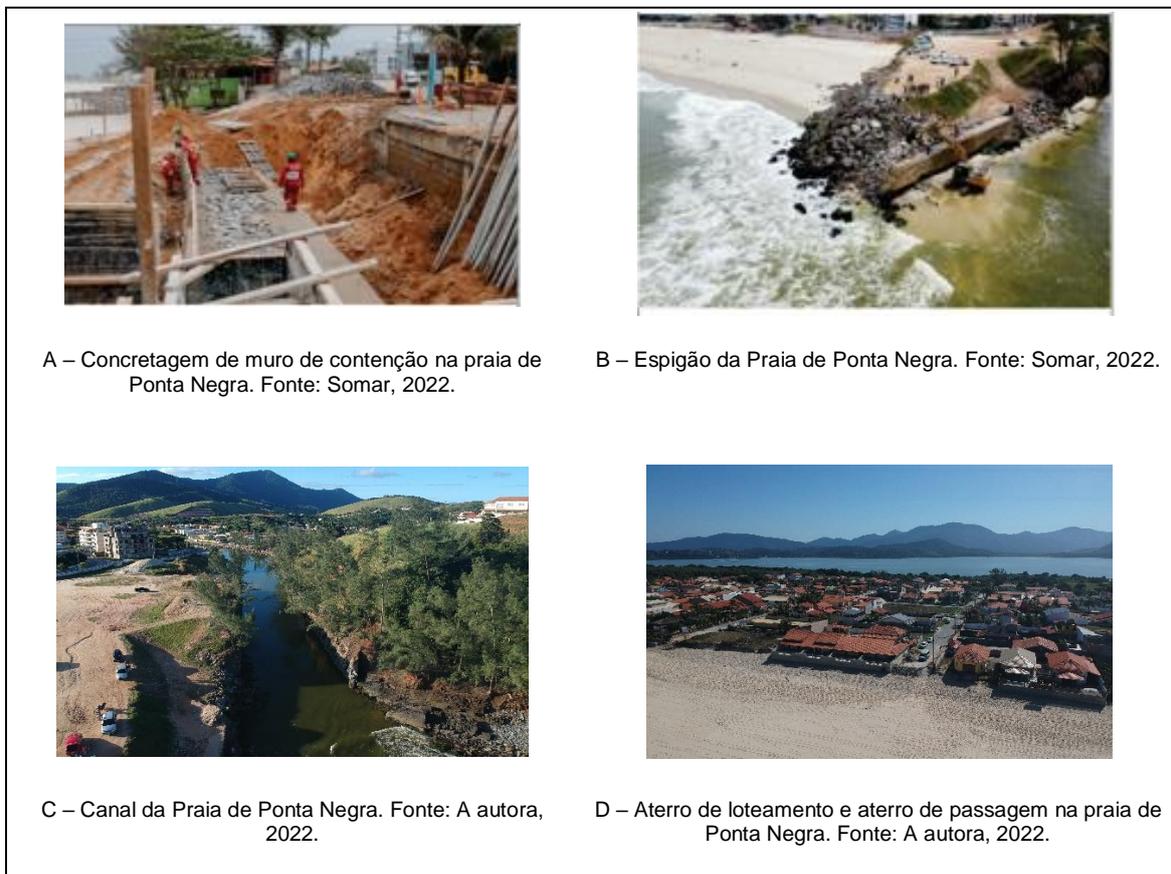
Figura 41 – Obras de engenharia na Praia da Barra de Maricá e Cordeirinho



Fonte: A autora, 2023

Na praia de Ponta Negra, diversas obras estão sendo introduzidas ou estão previstas para serem instaladas no litoral (Diário do Porto, 2021; Prefeitura de Maricá, 2020). As principais intervenções até o momento são representadas por muros, molhes e enrocamento, espigões e gabiões, canais, aterros de loteamento, aterros de passagem, ciclovia e calçada (Figura 42).

Figura 42 – Obras de engenharia na Praia de Ponta Negra

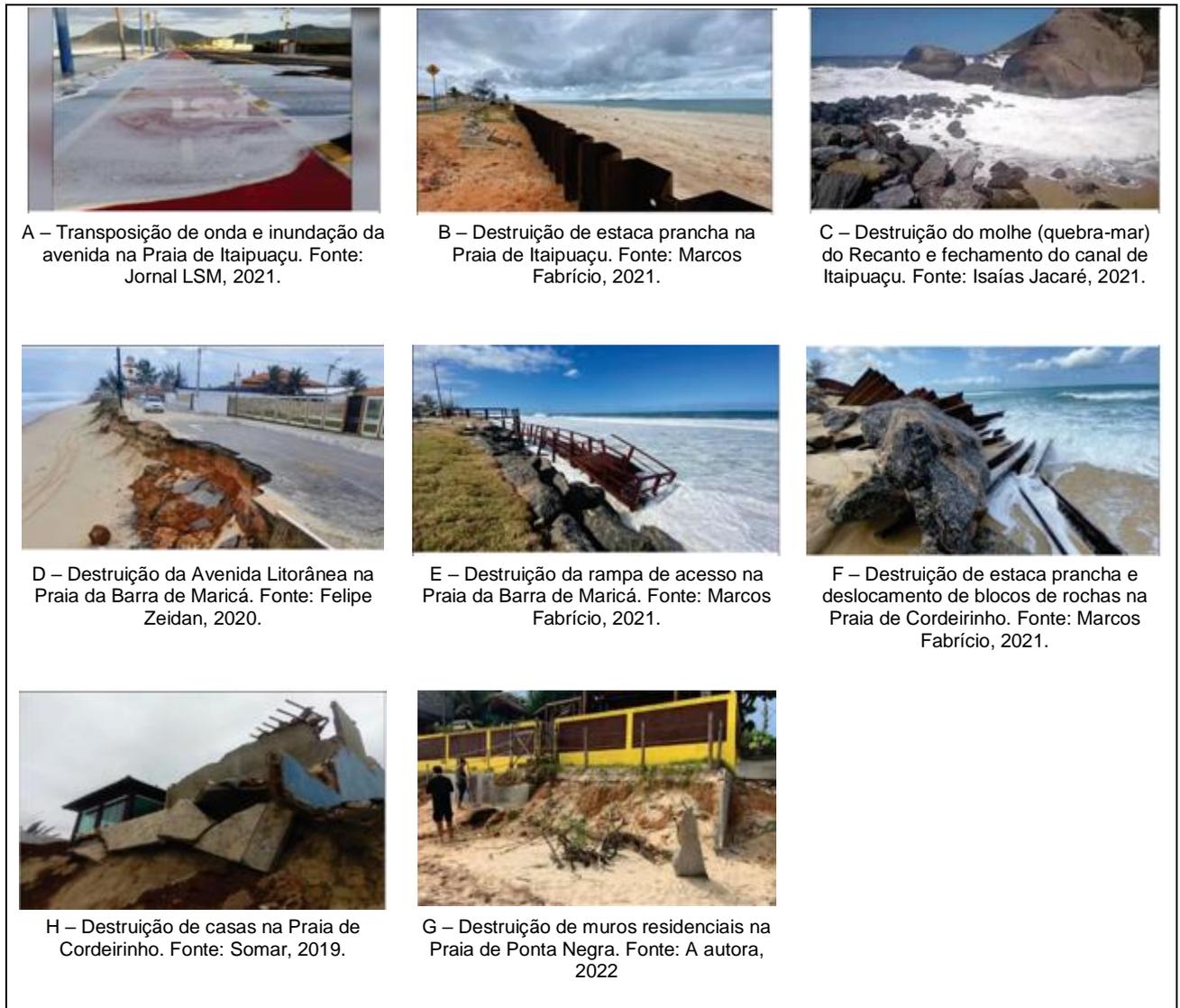


Fonte: A autora, 2023

Essas intervenções próximas ou dentro da faixa dinâmica da praia podem ser extremamente prejudiciais para o equilíbrio sedimentar desse ambiente. Os impactos de obras e estruturas rígidas de engenharia na faixa de areia podem acarretar a redução na quantidade de sedimentos, alteração na topografia da praia, aprisionamento de sedimentos junto as estruturas rígidas e, principalmente, erosão (Farinaccio, 2008).

Atualmente, diversos danos são causados as estruturas rígidas (Figura 43) por conta dos eventos de alta magnitude formados a partir de frentes frias e ciclones extratropicais que, quando associados as ressacas, podem produzir ondas de 4 m de altura, ou mais durante eventos de alta magnitude, ultrapassando facilmente o limite interno da praia.

Figura 43 – Danos causados por ondas de tempestades as estruturas de engenharia



Fonte: A autora, 2023

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Dinâmica morfossedimentar do arco praial de Maricá

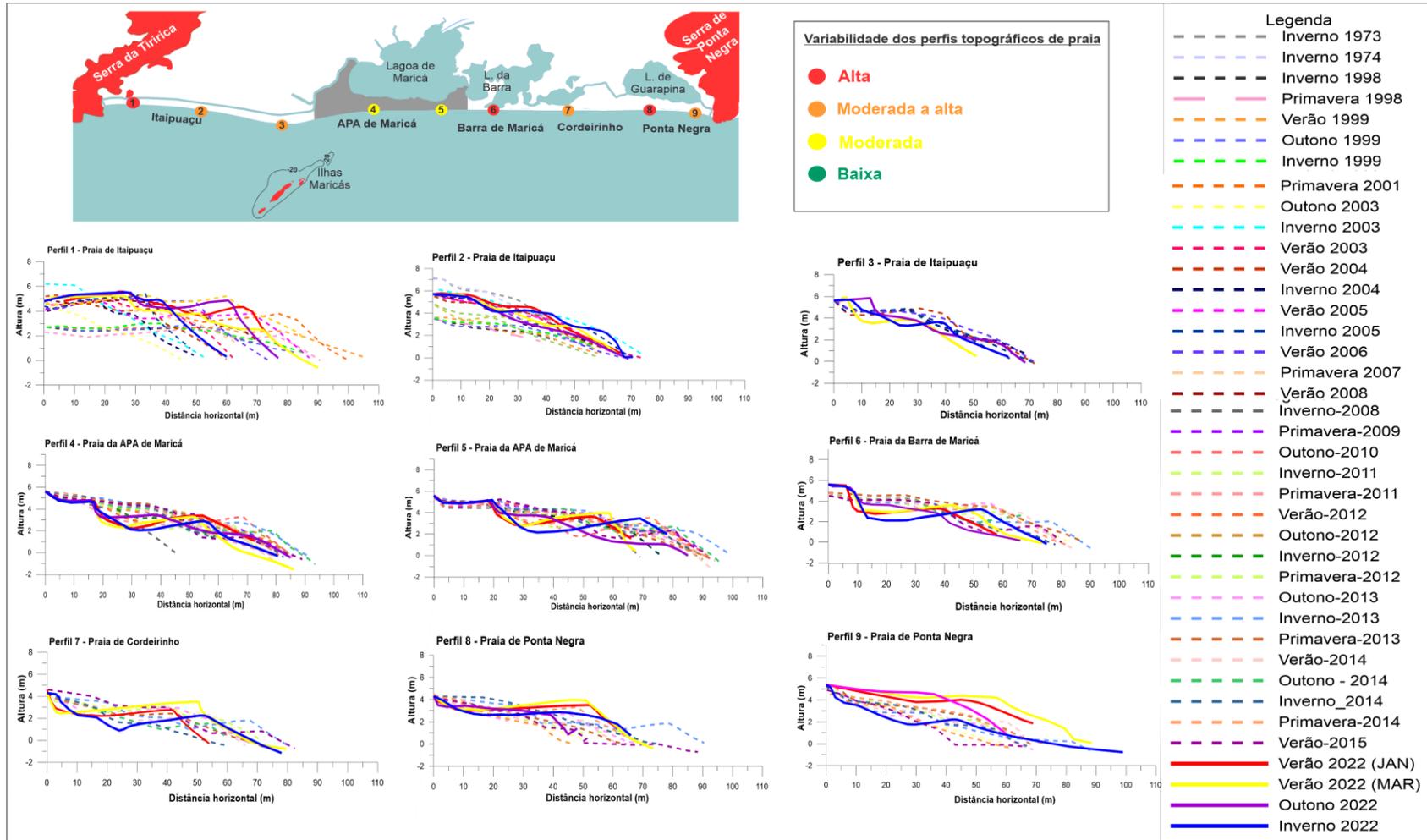
A sobreposição dos perfis topográficos indica uma dinâmica distinta ao longo do arco praial de Maricá (Figura 44). O extremo oeste do arco praial (perfil 1) apresentou as maiores variações na morfologia da praia, configurando-se como a região mais dinâmica de todo o arco praial. Essa dinâmica é influenciada pela presença do Costão da Pedra do Elefante, localizado no limite oeste da praia, que contribui para a convergência das ondas nessa área, conforme observado por Muehe (1979) e Silva et al. (2008a). Padrão semelhante foi identificado também por Dutra et. al. (2022) no litoral de Jaconé-Squarema e por Eccard et. al. (2017) nas praias oceânicas de Niterói.

A variabilidade dos perfis topográficos de praia na área de estudo (Figura 43) é o resultado da interação da dinâmica de ondas, com correntes formadas sob diferentes condições de mar e direção de incidência de ondas. A variabilidade da morfologia e largura das praias estudadas foi considerada moderada a alta, com exceção da porção centro-oeste do arco praial (APA de Maricá), que exibiu uma dinâmica moderada, quando comparada as demais áreas. O setor leste do arco praial (Ponta Negra) pode ser considerado o mais largo, atingindo até 100 metros no inverno de 2022. Esse acréscimo na largura do perfil de praia de oeste para leste, sugere a atuação de correntes de deriva litorânea, transportando e acumulando areias no setor leste, corroborando com dados obtidos no litoral de Jaconé-Squarema por Dutra et al. (2017).

Desde os primeiros monitoramentos até 2015, os resultados apontam para uma variabilidade morfológica e na largura mais discreta, quando comparado ao ano de 2022, que apresentou diferenças mais acentuadas entre o verão e o inverno. Nesse período, a variação na largura e principalmente na morfologia dos perfis de praia foi mais expressiva, com destaque para a praia da Barra de Maricá (perfil 6) que mostra um perfil mais escavado em relação aos anos anteriores. Isso pode estar relacionado com a abertura do canal e da construção da ponte da Barra, como foi constatado por Pinheiro (2015), e pelas recentes intervenções na faixa dinâmica de areia da praia. É possível identificar mudanças significativas na morfologia da praia nas áreas dos perfis 7, 8 e 9 e que também podem estar relacionadas a inserção de materiais de obras dentro da faixa dinâmica de areia. Essas mudanças também evidenciam a

vulnerabilidade deste litoral à incidência de ondas de tempestade, o que foi ressaltado também por Lins-de-Barros et al. (2010) e outros autores.

Figura 44 – Variabilidade dos perfis topográficos no litoral de Maricá



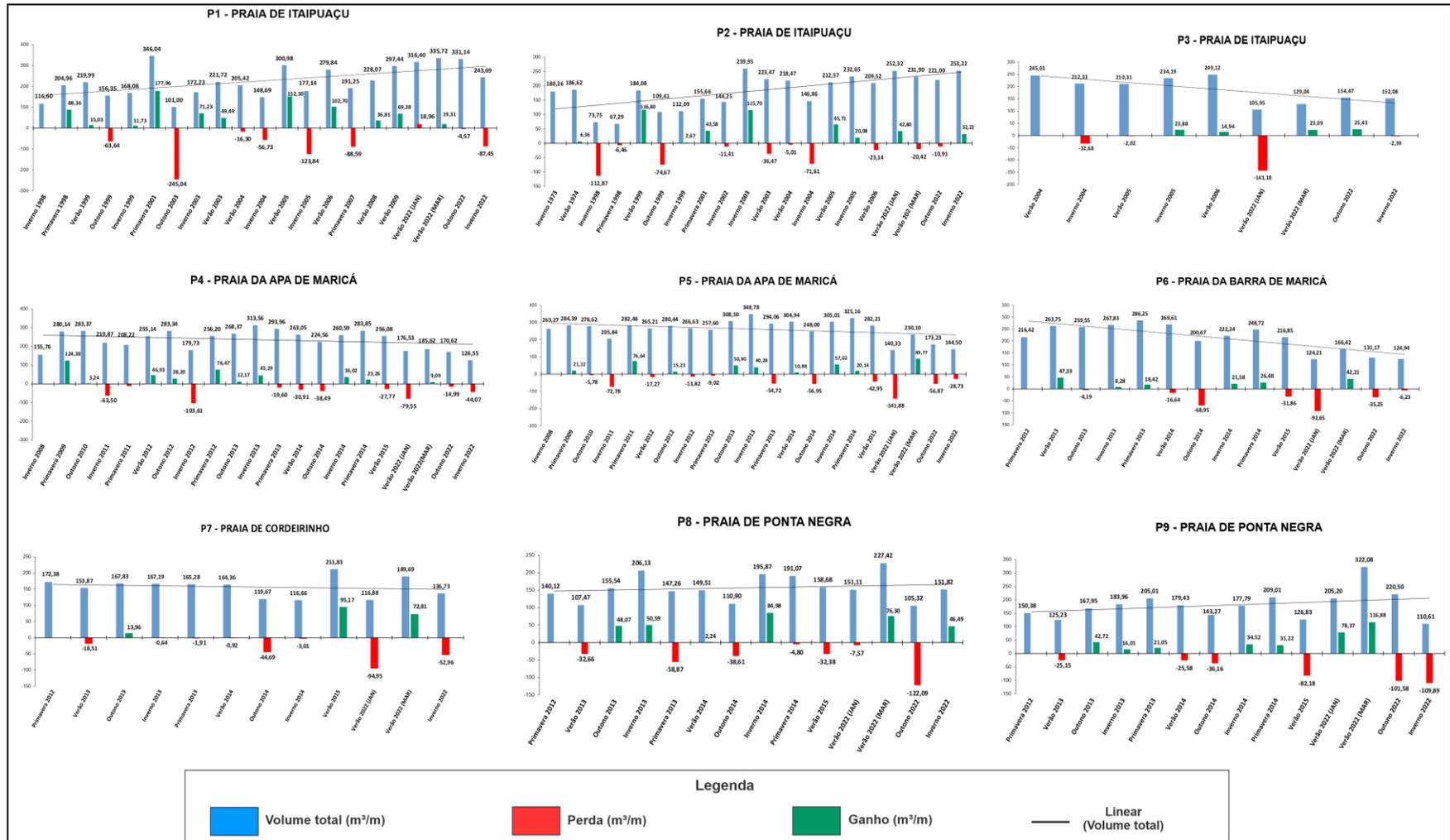
Fonte: A autora, 2023

Apesar da elevada dinâmica evidenciada pela variabilidade dos perfis topográficos, o arco praial de Maricá se apresenta, ao que tudo indica, em equilíbrio com as condições atuais, embora algumas áreas apresentem uma tendência erosiva. A análise do volume sedimentar emerso (Figura 45) possibilitou a identificação da relação entre ganho e perda de areias ao longo das duas últimas décadas e, excepcionalmente para o meio do arco praial de Itaipuaçu, quase cinco décadas. Os resultados apontam para a estabilidade na quase totalidade dos locais monitorados, em consonância com as indicações dos perfis topográficos de praia. Vale destacar que as flutuações no ganho e na perda de sedimentos não seguem um padrão sazonal esperado, com perdas significativas no verão e ganhos no inverno, como ocorre no litoral de Rio das Ostras (Oliveira Filho et. al., 2020).

A partir da análise dos dados, foi possível identificar um padrão de recuperação gradual do depósito sedimentar, com um destaque especial para o outono de 2003 no oeste do arco praial de Itaipuaçu (perfil 1) (Figura 44). Nesse período, sob condições de mar agitado, foi registrada uma perda de 245,04 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de sedimentos. No entanto, essa perda foi seguida por uma recuperação gradual subsequente, atingindo um ganho de 300 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> no verão de 2005. Esse mesmo padrão de comportamento foi observado no setor oeste da APA de Maricá (perfil 4), onde a praia apresentou um ganho de 256,20 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> na primavera de 2012, equivalente a 76% dos sedimentos previamente perdidos. Esse padrão de recuperação gradual também se manifestou nos outros setores do arco praial (Figura 45).

O perfil 5 se destaca com a maior perda registrada, com uma diminuição de 141,88 m<sup>3</sup>/m de sedimentos durante o verão de 2022 (janeiro), equivalente a aproximadamente 50% do total. No entanto, no monitoramento subsequente, também no verão de 2022 (março), houve uma recuperação completa do volume de sedimentos, com um ganho de 89,77 m<sup>3</sup>/m, representando cerca de aproximadamente 64% do estoque sedimentar (Figura 45). É importante destacar que a praia na APA de Maricá (perfis 4 e 5) está num contexto litorâneo com dunas bem desenvolvidas e vegetação de restinga a retaguarda. Esses sistemas de dunas costeiras fornecem uma proteção natural contra os impactos de tempestades e inundações costeiras (Hird, et. al. 2021) e consequentemente demonstram como o ambiente de praia (sem alterações) se comporta durante eventos de tempestade.

Figura 45 – Volume emerso de sedimentos do arco praial de Maricá



Fonte: A autora, 2023

Na praia da Barra de Maricá (perfil 6), observou-se uma menor capacidade de recuperação de sedimentos, com base nos monitoramentos atuais, em comparação com os dados de volume obtidos anteriormente (Figura 45). Essa constatação indica uma redução no acúmulo de sedimentos na praia. Até o final do período de monitoramento atual, não foi observada recuperação do depósito sedimentar, permanecendo o volume de sedimentos em 124 m<sup>3</sup>/m, o mesmo valor registrado no início do monitoramento em 2022. Apesar das praias no litoral do Estado do Rio de Janeiro apresentarem um comportamento caracterizado por alternâncias entre períodos de erosão e estabilidade, influenciados pelas condições das ondas (Fernandez et al., 2015), o padrão de perda constante sem recuperação observado, neste caso específico, pode estar indicando o início de um processo erosivo, com registros constantes de danos às estruturas urbanas, constantemente atingidas por grandes ondas de tempestades.

O arco praial de Maricá exibe características que oscilam entre os estágios morfodinâmicos refletivo e intermediário, com base na classificação proposta por Wright e Short (1984). A presença de cúspides de praia rítmicos, estoque de areias geralmente reduzido e granulometria predominantemente grossa, bem como uma zona de arrebentação estreita, onde as ondas quebram próximo à linha d'água, resultando em um alargamento maior da zona de surfe. Essas características morfodinâmicas praias estão em consonância com o que foi apresentado por Lins-de-Barros (2010) e Araujo (2022) para o litoral de Maricá.

A integração dos dados obtidos no ano de 2022 com estudos anteriores, conduzidos nas décadas de 1970 (Muehe, 1975), 1990 (Santos, 2000) e 2000-2015 (Silva et al. 2008; Pardal, 2009; Silva et al. 2014; Pinheiro et al. 2015), aponta para uma elevada dinâmica do arco praial e uma condição de estabilidade para o sistema costeiro, embora exista uma tendência erosiva identificada no trecho correspondente à praia da Barra.

A estabilidade do arco praial de Maricá é evidenciada a partir da acumulação de areias suficiente para compensar as perdas ocasionadas durante às tempestades. Os sedimentos são devolvidos à faixa de areia emersa da praia em poucos dias, sob a influência de ondas construtivas provenientes de sul e sudeste, contribuindo para uma rápida reconstrução do perfil praial (Muehe e Corrêa, 1989).

## 4.2 Intervenções costeiras e áreas susceptíveis a erosão

Atualmente as estruturas rígidas com o propósito de proteger o litoral vem aumentando, devido a diversos fatores como a elevação do nível do mar e das tempestades (Firth et. al. 2014) e também devido a presença da urbanização, determinando tipologias de estruturas que facilitem o acesso, o lazer e o turismo local. Essas intervenções são capazes de provocar não só o impacto no ambiente, mas também, quando adequadamente introduzidas, de fornecer habitat para a fauna marinha e aves, e conservar os recursos naturais (Oceana et. al. 2019).

No litoral de Maricá, foram identificados diversos padrões de intervenções na zona costeira. Os aterros de loteamento e os aterros de passagem se destacaram como as tipologias mais predominantes, presentes em todos os setores da praia. Isso pode ser atribuída possivelmente à evolução da ocupação e dispersão da população na região. Anteriormente, a ocupação estava mais relacionada ao uso temporário (veraneio), enquanto atualmente está mais associada a uma ocupação residencial permanente, fruto de um crescimento econômico local e, conseqüentemente, de um aumento na oferta de trabalho na região. Esse mesmo padrão também é observado em outros países, como em Portugal (Santos et. al. 2009), na Colômbia (Pereira et. al. 2019), na Itália (Romagnoli et. al. 2021).

A tipologia “muro” representa a estrutura mais comum observada na área de estudo. Os muros desempenham um papel de sustentação dos aterros de passagem (calçadão, avenida, rua, ciclovia). A implantação desse tipo de estrutura pode alterar a dinâmica de transporte e a deposição de sedimentos sobre a praia, aumentando a susceptibilidade da mesma à remobilização de sedimentos e erosão, em decorrência da reflexão de ondas que atingem os muros junto ao limite interno da praia, como ocorre em Piratininga na Região Oceânica de Niterói (Eccard et al., 2017). Os perfis de praia e o cálculo do volume de sedimentos emersos confirmam essa redução. E isso se dá, provavelmente por conta das diversas estruturas instaladas na faixa dinâmica de praia, apontando para um comportamento erosivo. Os dados obtidos a partir da análise de geoindicadores (Figura 39), corroboram com os demais dados e mostram que essa área se apresenta altamente suscetível a erosão costeira.

Nos setores onde os muros estão instalados, é observável a sobreposição dos sedimentos e sua deposição sobre os calçadões da praia, principalmente a partir do avanço das ondas de tempestades, que acabam acumulando água e sedimento a retaguarda da praia. Esse mesmo padrão também ocorre em São Paulo (Farinaccio, 2010).

Em contrapartida, as intervenções menos representativas ao longo do arco praial de Maricá são as de espigões e gabiões. Os espigões aparecem apenas em dois setores da praia, que são os extremos do arco praial (Praia de Itaipuaçu a oeste e Praia de Ponta Negra a leste). Essas estruturas possuem a função de recuperar as praias a partir da estabilização e acumulação de sedimentos (Farinaccio, 2010). Porém, apresentam diversos problemas, principalmente em relação a destruição das estruturas pela ação de eventos de tempestades que ocorrem durante o ano (Tabela 6 e Figura 46).

Tabela 6 – Tabela síntese com obras realizadas no litoral de Maricá e os danos recorrentes

LITORAL DE MARICÁ		Setores da praia									Recorrentes danos causados pela ação das ondas de tempestades (ressacas)
		Itaipuaçu			APA de Maricá		Barra e Cordeirinho		Ponta Negra		
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	
Obras de proteção	Muros		x				x			x	Destruição de muros em Itaipuaçu e Barra.
	Barreiras de rocha			x			x				Desagregação de barreiras de rocha em Barra.
	Molhes e enrocamentos	x					x				Destruição de enrocamentos em Barra e molhe em Itaipuaçu
	Estacas prancha		x					x			Exposição de estacas enterradas em Itaipuaçu e Cordeirinho
Obras de recuperação	Engordamento de praia										
	Espigões e gabiões						x			x	Destruição do espigão do Recanto e Deslocamento de pedras no espigão da Praia de Ponta Negra.
Obras de Infraestrutura	Emissários (dutos emersos e enterrados)										
	Canais de águas superficiais	x								x	Fechamento do canal de Itaipuaçu e Barra.
	Aterros de loteamento	x	x	x			x	x	x	x	Destruição de residências, muros e escadas em Itaipuaçu, Barra e Ponta Negra.
	Aterros de invasões										
	Palafitas	x	x								Destruição e inundação de quiosques em Itaipuaçu, Barra, Cordeirinho.
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)	x	x	x			x	x	x	x	Rachadura em ruas, transposição de ondas, sedimentos, e inundação em Itaipuaçu, Barra e Ponta Negra.
	Pier ou plataforma de embarque										
Obras de lazer e turismo	Aterros	x	x	x			x	x	x	x	Inundação de áreas aterradas em Itaipuaçu e Barra.
	Marinas										
	Pier (deck) ou plataforma de pescas						x				Destruição de deck em Itaipuaçu e Barra.

Fonte: A autora, 2023

Figura 46 – Compilado de imagens mostram estruturas rígidas no litoral de Maricá e sua destruição



A – Construção do molhe (quebra-mar) do Recanto na Praia de Itaipuaçu. Fonte: Simone Boechat, 2019.



A' – Molhe (quebra-mar) do Recanto da Praia de Itaipuaçu. Fonte: Simone Boechat, 2019.



A'' – Destruição do molhe (quebra-mar) do Recanto da Praia de Itaipuaçu e fechamento do canal. Fonte: Isaias Jacaré, 2021



B – Início da inserção de estaca prancha na Praia de Itaipuaçu. Fonte: Somar, 2020.



B' – Colocação de estaca prancha na Praia de Itaipuaçu. Fonte: Somar, 2020.



B'' – Destruição de estaca prancha na Praia de Itaipuaçu. Fonte: Marcos Fabrício, 2021.



C- Colocação de enrocamento na Praia da Barra de Maricá. Fonte: Vitor Soares, 2021



C' – Reconstrução da Avenida Litoranea e enrocamento na Praia da Barra de Maricá. Fonte: Somar, 2022.



C'' – Destruição do calçadão da Praia da Barra de Maricá. Fonte: A autora, 2022.



D – Construção de rampa de acesso na praia da Barra de Maricá. Fonte: Lucia Saldanha, 2021.



D' – Destruição da rampa de acesso na praia da Barra de Maricá. Fonte: Marcos Fabrício, 2021.



D'' – Ondas de tempestade destruindo a rampa de acesso da praia da Barra e Maricá. Fonte: Errejota Notícia, 2021.



E – Instalação de estaca prancha na Praia de Cordeirinho. Fonte: Somar, 2021.



E' – Destruição de estaca prancha e deslocamento de blocos de rocha na Praia de Cordeirinho. Fonte: Marcos Fabrício, 2021.



E''- Destruição do calçadão e de estaca prancha na Praia de Cordeirinho. Fonte: Marcos Fabrício, 2021.



F – Barreira de pedras e muro de concreto na Praia de Ponta Negra. Fonte: Ponta Negra News, 2022



F' – Destruição da barreira de pedras na Praia de Ponta Negra. Fonte: LSM, 2019.



F'' – Realocação de barreira de pedras na entrada do canal da Praia de Ponta Negra. Fonte: Somar, 2022.

Somente no período entre 2016 e 2022, aproximadamente 140 eventos de ressaca foram registrados no litoral do Estado do Rio de Janeiro (DHN, 2022). Esses eventos se concentraram principalmente durante o outono e o inverno, abrangendo os meses de março a setembro. Essa observação está em concordância com os dados documentados por Santos et al. (2004), Lins-de-Barros et al. (2018) e Machado et al. (2019). Dutra (2017) demonstrou que durante os anos de 2016 a 2018, ocorreram 53 eventos de ressaca entre janeiro e dezembro. Esse período foi marcado por uma transição entre os fenômenos El Niño e La Niña.

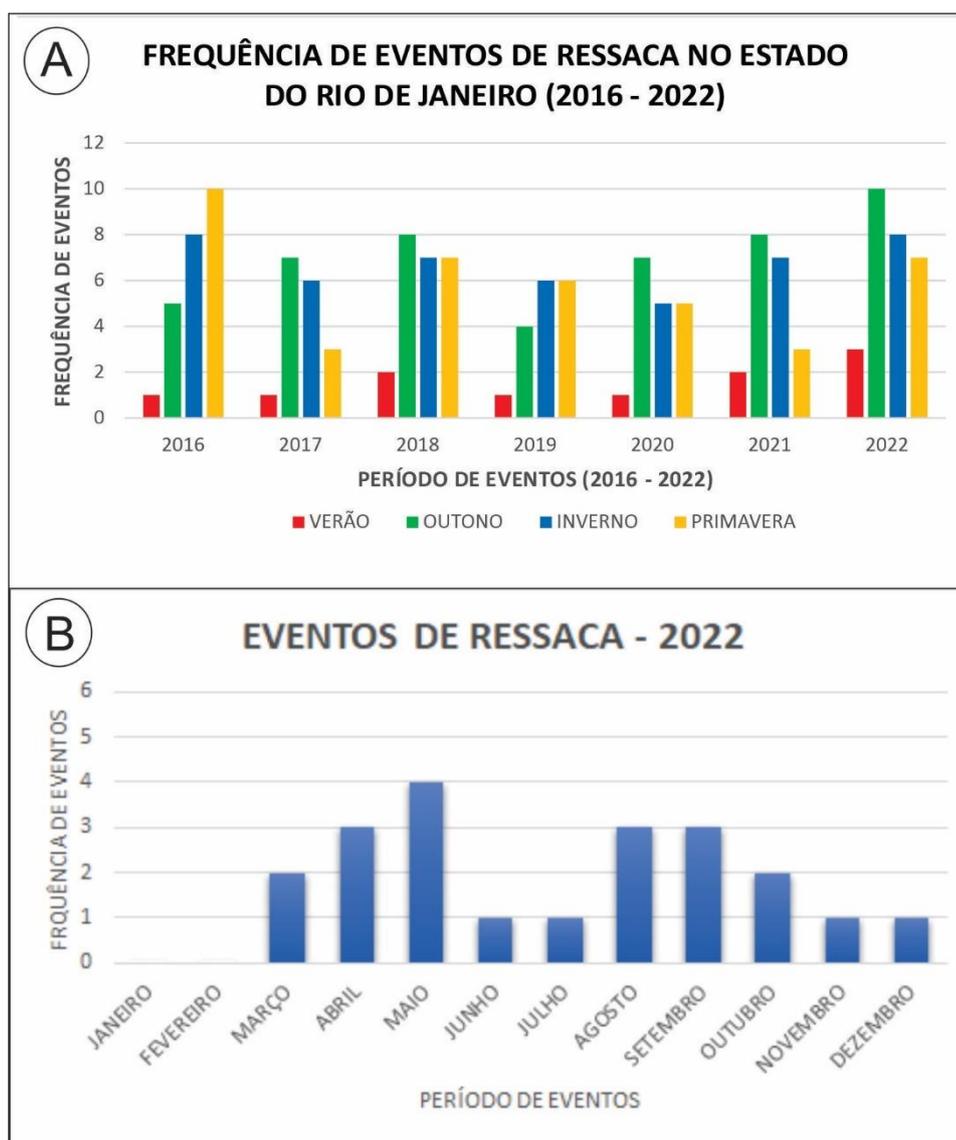
Segundo dados da Organização Meteorológica Mundial (OMM) (disponível em [www.news.un.org/pt/tags/organizacao-meteorologica-mundial](http://www.news.un.org/pt/tags/organizacao-meteorologica-mundial)), o último La Niña ocorreu de forma fraca a moderada entre novembro de 2017 e abril de 2018. Entre setembro de 2020 e agosto de 2023 um novo evento se desenvolveu. A fase de maior intensificação desse evento foi observada durante o período de 2020 a 2021, mas a sua força diminuiu a partir do ano de 2022.

No ano específico de 2022, quando os dados foram coletados, foram registrados cerca de 21 eventos de tempestades (ressacas) ao longo do litoral. Esses eventos ocorreram principalmente nas estações do outono e inverno, sendo o mês de maio especialmente notável, com a ocorrência de 4 eventos de ressaca (Figura 47B).

As ações humanas nas zonas costeiras, combinadas com as transformações globais observadas nas últimas décadas nos padrões de vento e ondas (incluindo um aumento na frequência e magnitude das ondas), aumentam o potencial de danos em estruturas de engenharia permanentes (Hemer et al., 2013). Essas estruturas permanentes podem interromper os processos costeiros naturais, alterar o transporte de sedimentos e afetar o equilíbrio da zona costeira. As estratégias de gestão costeira precisam considerar essas interações complexas para desenvolver soluções eficazes que equilibrem as necessidades humanas com a preservação do ambiente costeiro natural.

É nesse contexto, que existe um debate em andamento sobre a eficácia das estruturas rígidas e/ou duras no combate a erosão costeira, já que entre as medidas mitigadoras, as principais costumam se concentrar na realocação da infraestrutura. Atualmente, é possível identificar esse padrão em outras praias do litoral do Rio de Janeiro, como por exemplo, a Praia da Macumba e de Piratininga, no qual os muros de contenção são constantemente destruídos pelas ondas de tempestade e essas estruturas são reposicionadas no mesmo local, sem levar em conta qualquer característica dinâmica e natural do ambiente (Pereira et. al., 2018 e Pereira et. al. 2017).

Figura 47 – Frequência de ventos de ressaca no Estado do Rio de Janeiro entre 2016 a 2022



Fonte: DNH (2018; 2022)

O arco praias de Maricá é composto por praias que possuem uma elevada suscetibilidade a erosão costeira, de acordo com dados obtidos a partir dos geoindicadores. A proliferação e ineficácia das obras de proteção costeira contra a erosão são visíveis. Dentre os 16 tipos de estruturas rígidas encontradas ao longo do litoral de Maricá, nenhuma aparentemente se mostrou totalmente eficaz, pelo contrário, algumas estão até induzindo um processo erosivo, como é o caso observado na praia da Barra de Maricá.

A erosão costeira induzida por ondas de tempestade ocasiona perda de terreno, danos a infraestrutura e a degradação do ecossistema costeiro (Spencer et al., 2015). Diversos países vêm apresentando problemas relacionados a erosão costeira, sobretudo influenciadas por

fatores naturais como a localização geográfica e as condições hidrodinâmicas, mas também por conta da intensificação do desenvolvimento urbano no litoral (Dongy Li et al., 2022).

A costa dos Estados Unidos é uma das áreas que vivencia um intenso processo erosivo, principalmente na Costa Leste, e no Estado da Califórnia na Costa Oeste (Ludka et al., 2016; Zurduchen et al., 2020). Outros países que enfrentam o mesmo problema são Portugal (Ferreira et al., 2021), Inglaterra (JA Kirby et al, 2021); Reino Unido (Masselink et al., 2020); China (Wang et. al. 2020; Dongyi Li, et al., 2022), Indonésia (Handayani et al., 2020) e outros. Os resultados obtidos e os desafios relacionados ao processo erosivo global destacam a importância de implementar medidas mitigadoras que sejam favoráveis ao planejamento urbano, especialmente para as regiões costeiras suscetíveis a eventos de ressaca. Na área de estudo, Muehe (2001) propôs a revisão do Plano de Desenvolvimento do Município de Maricá, com o objetivo de estabelecer uma delimitação adequada da faixa de proteção costeira, especialmente para as áreas mais vulneráveis. Atualmente, o plano diretor de Maricá está passando por uma revisão abrangendo três grupos principais: a) temas focais: habitação, mobilidade, saneamento básico e meio ambiente; b) temas transversais: mudanças climáticas, clima urbano e desenvolvimento econômico e c) patrimônio histórico, cultural e paisagístico, turismo e petróleo e gás. (Prefeitura de Maricá, 2022).

Dentro do contexto das mudanças climáticas, a revisão do plano diretor em Maricá está direcionada para encontrar formas de mitigar e adaptar impactos ambientais no território. No que diz respeito aos impactos na zona costeira, a revisão do plano diretor parece focar principalmente em soluções radicais para conter o avanço da erosão marinha e da energia das ondas de ressaca. Contudo, medidas mais eficazes, como a delimitação da faixa de proteção ou a criação de uma zona de amortecimento não é apresentada no documento.

Vários estudos nacionais e internacionais apontam (Ludka, et. al., 2016; Ferreira, et. al., 2021; Masselink, et. al.,2020; Bulhões, et. al., 2020 e outros) para diversas medidas que de fato consigam mitigar e combater o problema da erosão costeira no litoral, substituindo obras “duras” e rígidas por obras “leves” e flexíveis (Tabela 7) a partir de soluções baseadas na natureza, como a alimentação artificial das praias e dunas e até mesmo o recuo da urbanização (Lins-de-Barros, 2005).

No Reino Unido a proposta de adaptação em relação ao rápido avanço da erosão costeira, implica em estratégias que envolvem a prática de “Trabalhar com a Natureza”, “Construir com a Natureza” ou “Trabalhar com processos naturais”, levando em consideração características sobre taxas de recessão de falésias, fluxos de sedimentos, impactos extremos

de tempestades e modelos numéricos que possam ajudar a antecipar eventuais riscos de erosão (Masselink et al., 2020).

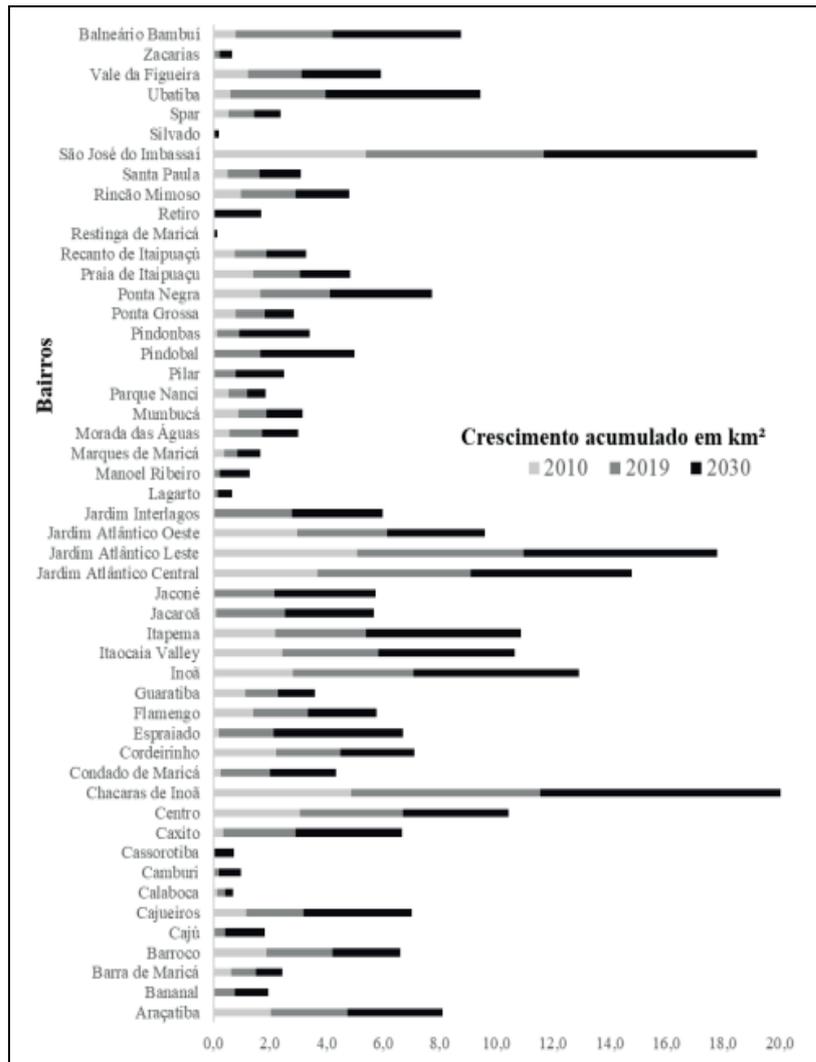
Nos Estados Unidos, há um século ocorre a alimentação das praias nos estados da Califórnia, Flórida, Nova Jersey, Carolina do Norte, Nova York e Louisiana. Desde 1923 foram alimentadas praias de 475 comunidades, com mais de 1,2 bilhão de m<sup>3</sup> de areia inseridos no litoral (Elko, et al., 2021) e tem dado respostas positivas em relação a erosão costeira. Porém, em outras áreas entre os estados de Jacksonville a Flórida, ocorre um planejamento de deslocamento da população para fora de áreas impactadas pela erosão costeira (National Geographic, 2022).

No litoral de Portugal, 14% da linha de costa possui estruturas rígidas de proteção, como esporões e quebra mar. Uma das primeiras ações do governo, foram manter a posição da linha de costa através da inserção de estruturas de rochas na praia, mas não foram eficientes para conter o processo de erosão. Atualmente as principais estratégias estão relacionadas também a alimentação artificial das praias e ao alojamento e realocização da ocupação no litoral (Marinho et al., 2019).

Segundo Masselink et al. (2020) a vulnerabilidade do litoral frente as condições das ondas estão diretamente relacionadas com a intensa ocupação e o uso da zona costeira. Essa postura impede que ocorra uma adaptação natural do litoral, que seria a migração da praia em direção ao continente, evitando a perda da zona costeira.

Um estudo proposto por Souza et al. (2021) mostra um modelo de expansão urbana para a cidade de Maricá em 2030, no qual a previsão é de crescimento contínuo, com cerca de 134 km<sup>2</sup> de área edificada, ou seja, 40% de crescimento urbano em comparação ao ano de 2019. Na figura 48, a autora destaca alguns bairros do município de Maricá e a projeção de crescimento para 2030. Em relação ao litoral, todo ele possui uma projeção de crescimento urbano, principalmente a Praia de Ponta Negra, seguida pela Praia de Cordeirinho. E isso mostra que se não for feito um gerenciamento costeiro adequado, o litoral de Maricá tende a sofrer cada vez mais com os danos causados pelas ondas de tempestade.

Figura 48 – Projeção de crescimento da cidade de Maricá para 2030



Fonte: Souza, et. al. 2021

Os dados apresentados deixam evidente que sem um gerenciamento costeiro adequado, o litoral de Maricá está propenso a sofrer cada vez mais danos causados pelas ondas de tempestade. Nesse sentido, torna-se essencial a implementação de medidas que efetivamente protejam a região. Isso inclui a demarcação da orla com limites para construções de residências e quiosques, criando uma zona de amortecimento eficaz entre o litoral e o continente. Além disso, é crucial reavaliar o uso de estruturas rígidas dentro do limite interno das praias. Muitos países que adotaram essas estruturas agora reconhecem sua ineficácia e estão explorando alternativas mais flexíveis para combater a erosão costeira, capitalizando a capacidade natural de resiliência do litoral (Marinho et. al., 2019; Masselink et. al., 2020). Sem a adoção dessas medidas, é provável que a faixa de areia sofra um desgaste gradual ao longo do tempo, seguindo um caminho semelhante ao das praias do Nordeste do Brasil, como

a famosa Praia de Boa Viagem em Pernambuco (Villa Verde, 2019). Portanto, é essencial adotar abordagens sustentáveis e de longo prazo para proteger e preservar o litoral de Maricá.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O arco praiial de Maricá é marcado por uma dinâmica distinta ao longo dos seus 32 km de extensão, causada pelas mudanças na energia das ondas que incidem no litoral e devido à presença de costões rochosos que parecem contribuir para a convergência de ondas de tempestade, especialmente no setor oeste em Itaipuaçu.

A praia de Itaipuaçu apresentou as maiores variações morfológicas, principalmente no perfil 1 e 2 (setor oeste). A comparação e sobreposição dos perfis coletados em 2022 com os dados pretéritos, juntamente com os dados de volume de sedimentos emersos, indica que a praia nas últimas décadas apresenta um comportamento altamente dinâmico, porém sem indicativo de erosão, como constatado também nos diversos estudos anteriormente mencionados. As diversas intervenções realizadas na orla de Itaipuaçu, no entanto, preocupam e chamam a atenção pela ineficiência das mesmas, constantemente danificados pela ação das grandes ondas de tempestade (Figura 49).

A praia na APA de Maricá, apesar de dinâmica, apresenta um comportamento bastante característico de uma praia em equilíbrio com as condições ambientais atuais, com as dunas frontais e a vegetação de restinga desempenhando um importante papel de proteção deste trecho costeiro. Os dados obtidos através do cálculo do volume de sedimentos emersos corroboram com os resultados dos perfis topográficos de praia, evidenciando a estabilidade e o caráter dinâmico deste ambiente (Figura 49).

O trecho costeiro correspondente às praias da Barra de Maricá e Cordeirinho é preocupante. A praia da Barra de Maricá, em especial, apresentou uma redução na largura, acompanhada de mudanças na morfologia do perfil emerso, que se tornou mais côncavo na última década. Os dados de volume de sedimentos emersos mostraram uma redução acentuada na quantidade de areias disponíveis na praia (Figura 49). O mesmo se aplica a barreira arenosa neste setor, devido a abertura do canal e constantes intervenções realizadas para escoar o excedente de água das lagoas à retaguarda. Tais evidências, juntamente com os geoindicadores observados, apontam para a ocorrência de erosão deste setor praiial. Os variados tipos de intervenções realizadas pela administração municipal até o momento, ao que tudo indica, não deram conta de conter a destruição das estruturas urbanas locais.

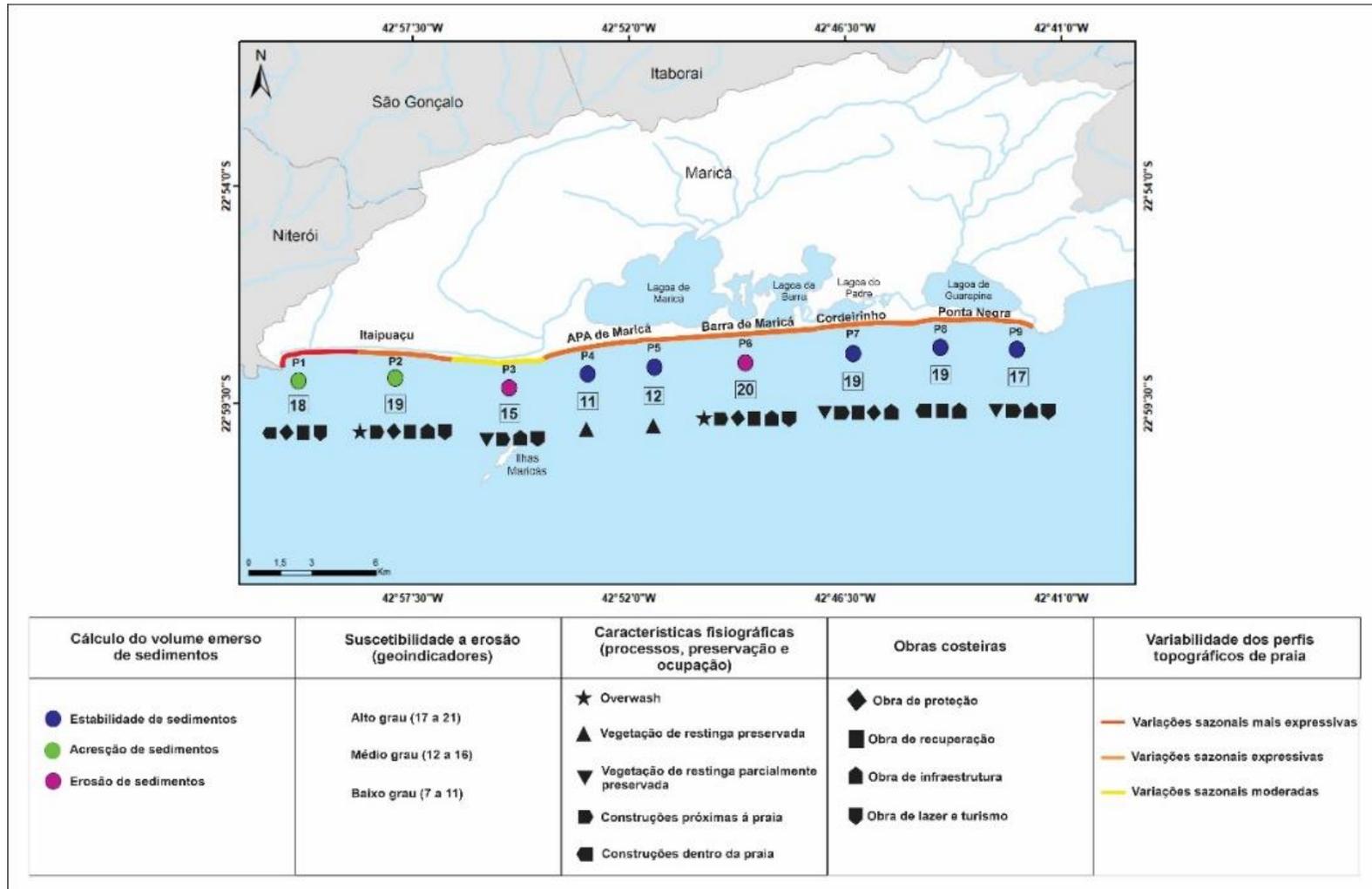
A praia de Cordeirinho exibiu uma dinâmica acentuada e uma rápida variabilidade nas condições hidrodinâmicas (Figura 49). Os dados obtidos através de perfis topográficos e do cálculo de volume de sedimentos emersos apontam para uma estabilidade desse setor. Em

relação as intervenções e construções, essa praia é urbanizada, porém ainda apresenta um pouco de vegetação de restinga preservada. A principal estrutura instalada nesse setor são as de estaca prancha e que também já sofreram diversos danos devido as ressacas, o que evidencia a ineficiência dessas estruturas para a proteção da orla.

A Praia de Ponta Negra, no setor leste do arco praial, apresentou uma dinâmica bastante acentuada e com rápidas mudanças na morfologia e largura em resposta às oscilações nas condições hidrodinâmicas (Figura 49). A maior largura da faixa de areia de Ponta negra em comparação com os demais setores e a rápida capacidade de recuperação da mesma após eventos de ressacas, apontam para uma condição de equilíbrio dinâmico do arco praial nessa área. A destruição de casas que se encontram dentro do ambiente praial reflete a necessidade de se considerar a existência de uma área com a vegetação de restinga preservada e com capacidade para amortecer as grandes ondas de tempestades, que normalmente alcançam as estruturas localizadas próximo ou mesmo dentro da faixa de areia.

A realização desse trabalho e os resultados obtidos buscam contribuir para a preservação do ambiente praial e para orientar os gestores municipais em relação ao uso e a ocupação do litoral de Maricá, sobretudo devido aos investimentos que vem ocorrendo no litoral, tornando-se um ambiente cada vez mais susceptível as ondas de tempestade e propensos a erosão costeira. Além disso, o trabalho busca contribuir para a identificação de padrões de comportamento de ondas quando influenciados por fenômenos climáticos, como o el nino e a la nina.

Figura 49 – Mapa síntese do litoral de Maricá



Fonte: A autora, 2023

## REFERÊNCIAS

AAGARD, T.; VINTHER, N. Cross-shore currents in the surf zone: rips or undertow? *Journal of Coastal Research* 24(3):561-570. 2008.

ALMEIDA, G.M., SILVA-JUNIOR, G.C. Fatores hidrogeológicos no estudo da intrusão salina em aquíferos costeiros da região litorânea do município de Maricá-RJ. *Yearbook of the Institute of Geosciences, Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 104-117. 2007

ARAÚJO, J. S.; SILVA, A. L. C.; ALVES, L. F. S. Riscos e perigos em praia de alta energia. In: Adilson Tadeu (Org). *Geografia: A superfície do planeta Terra em análise*. 1ed. Ponta Grossa: Atena, 2022, v. 1, p. 143-155

BASTOS, A. C. Estudo da Variação Morfológica a partir de Perfis de Praia em Piratininga, Niterói-RJ, Brasil. Relatório final da Disciplina Estágio de Campo IV-D. Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense do Rio de Janeiro. pp.121. 1994.

BARROSO-VANACÔR, L., PERRIN, P. CARMOUZE, J. P. Le système lagunaire de Maricá-Guarapina (Brésil) et ses modifications écologiques récentes d'origine antropique. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale* 27(3), p. 189-197. 1994.

BIGARELLA, J. J. et al. Contribuição ao estudo dos sedimentos praias recentes. III. Características texturais das praias e terraços da região litorânea paulista. *Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geografia Física*, 7:1-34, 1966.

BIRKEMEIER, W. A. A user's guide to ISRP. The interactive survey reduction program. In: *Instruction Report CERC-84-1*, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Reserach Center, Vicksburg, 1984.

BULHÕES, E. M. R. et al. Impactos costeiros induzidos por ondas de tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. *Quaternary na Environmental Geosciences*, v. 5, nº 2, pp: 155-165. 2004.

BULHÕES, E. M. R. et al. Impactos costeiros induzidos por ondas de tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences* 05(2), 155-165, 2014.

BRAGA, J. P. Maricá ganhará fundo artificial. *Surf Connect*, Rio de Janeiro, 18 de jan. De 2019. Disponível em: <<http://www.surfconnect.com.br/news-marica-ganhara-fundo-artificial>>. Acesso em: 24 de fev. De 2021.

BRASIL. Decreto Federal Nº 5.300, de 7 de Dezembro de 2004. Disponível em: . Acesso em: 20 de out. de 2023.

BRASIL. Lei Federal Nº 7. 661, de 16 de Maio de 1988. Disponível em: . Acesso em: 20 de out. de 2023.

- BROOKS, S. M.; SPENCER, T.; CHRISTIE, E. K. Storm impacts and shoreline recovery. Mechanisms and controls in the southern North Sea. *Geomorphology*, v. 283, p. 48-60, 2017.
- CALLIARI, L. J. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 51, p. 63-78, 2003.
- CANTARELLI, E. V. F. et. al. Implantação de um resort e seu impacto socioambiental – Maricpa – RJ. In: XII SEGet, AEDB. pp. 1-10. 2019.
- CARRACO, C. S. et al. Análise do projeto de resort na APA de Maricá: Impactos ambientais presentes no RIMA. *Anais do Uso Público em Unidades de Conservação*. pp 71-83. 2023.
- CARTER, R. W. G. *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. London, Academic Press. pp. 99-134. 1988.
- CASTILHO, G. B.; SILVA, A. L. C.; HERNÁNDEZ, A. V.; CALDERÓN, J. F. V. Dinámica litoral y erosión em playa Moín, Caribe Sur con la construcción de la terminal de contenedores. *Revista da ANPEGE*, v. 17, n. 33, p. 251-270. 2021.
- CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O. & RIO, G. A. P. Riscos ambientais e geografia: Conceituações, abordagens e escalas. *Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ)*, V. 28(2), p.11-30.2005.
- CASTRO, J. W. A.; FERNANDES, D.; DIAS, F. F. Monitoramento do Processo de Erosão Costeira na Praia das Tartarugas, Rio das Ostras – Estado do Rio de Janeiro/Brasil: Aplicação de Metodologia Quantitativa. *Revista da Gestão Costeira Integrada. Journal Of Integrated Coastal Zone Management*. 11 (3); 355-368. 2011.
- CARVALHO, C. R. WOODROGGE, C. D. Sediment budget of a river-fed wave-dominated coastal compartment. *Marine Geology*. V. 441. 2021.
- COCO, G.; MURRAY, B.; ASHTON, A. Rhythmic patterns in the surfzone. *Sandy Beach Morphodynamic*, p. 297-316, 2020.
- CRUZ, A. C. Análises de intervenções no sistema lagunar de Maricá-RJ com auxílio de modelagem hidrodinâmica ambiental. *Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 63p. 2010.
- DAVIS, JR. A. R. *Coastal sedimentary environments*. Springer-verlag. pp. 716. 1985.
- DAVIS, JR. A. R & FITZGERALD, D.M. *Beaches on coasts*. Blackwell publishing. pp. 115-166. 2004.
- DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D. BAUER, B.O. HOUSER, C. *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press, Cambridge, England, p. 523. 2019.
- DAVIDSON, S. G.; HESP, P. A.; MIOT DA SILVA, G. Controls on dune scarping. *Progress in Physical Geography*, v. 44, n. 6, p. 923-947, 2020.

DIAS, G. T. M. “Introdução”. In: Muehe, D. (org) Panorama da Erosão Costeira no Brasil. Ed., MMA. pp. 15-18. 2018

DIÁRIO DO PORTO. Porto em Maricá terá investimento de R\$ 12, 8 bilhões. 2021. Disponível em: < <https://diariodoporto.com.br/porto-em-marica-tera-investimento-de-r-128-bilhoes/>> Acesso em: 25/03/2023

DHN. Serviço Meteorológico Marinho – Avisos de Mau Tempo. 2022. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-avisos-de-mau-tempo>>

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, 23(2), 1435-1455. 2022

DONGYI, L. et al. Erosion and siltation dynamics in na urban-influenced coastal settin, Xiamen Island, China. Marine Geology. V. 451. 2022

ECCARD, L. R.; SILVA, A. L. C.; SILVESTRE, C. P. Morphological variations of ocean beaches of Niterói (RJ) in response to storms wave incidence. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, p. 41-55. 2017.

ENFOCO. Obras do emissário de Itaipuaçu, em Maricá, são retomadas. 2019. Disponível em: <<https://enfoco.com.br/noticias/cidades/obras-do-emissario-de-itaipuacu-em-marica-sao-retomadas-13273>> Acesso em: 25/03/2023

EMERY, K. O. A simple method of measuring beach profiles. Limnology and oceanographic, v. 6. p. 90-93. 1961.

ELKO, N. et al. A century of U.S. beach nourishment. Ocean & Coastal Management. V. 1999. 2021

FARIA, C. P. & BOHRER, C. B. A. As Unidades de Paisagem da APA Estadual de Maricá/RJ. Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, USP, 2.947-2.953. 2005.

FARINACCIO, A.; GONSALEZ, T. M. Avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira – Uma proposta metodológica. Revista de Gestão Costeira Integrada – Hounal of Integrated Coastal Zone Management, v. 10, n 4, pp-419-434, 2010.

FARINACCIO, A. Impactos na dinâmica costeira decorrentes de intervenções em praias arenosas e canais estuarinos de áreas densamente ocupadas no litoral de São Paulo, uma aplicação do conhecimento a áreas não ocupadas. Tese de doutorado. Instituto Oceanografico da Universidade de São Paulo. pp 229. 2008.

FERREIRA, J. R. Avaliação do estágio morfodinâmico das praias de Maricá, RJ. Monografia do curso de graduação em Geografia da UERJ-FFP, São Gonçalo. pp. 63. 2014.

FERREIRA, A. M. COELHO, C. NARRA, P. Coastal erosion risk assessment to discuss mitigation strategies: Barra-Vagueira, Portugal. Nat Hazards 105, 1069-1107 (2021).

FERNANDEZ, G. B. et al. Impactos morfológicos e resiliência das praias do litoral do Rio de Janeiro: referência especial à morfodinâmica praial. In: PAULA, D. P., DIAS, J. A. (Orgs.). *Ressacas do mar/temporais e gestão costeira*. Fortaleza, Premius, 2015, p.277-329. 2015.

FLEMMING, B. Beach sand and its origins. *Sandy Beach Morphodynamics*, p. 15-37, 2020.

FOLK, R. L. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas, EUA. pp. 182. 1980.

FRIEDMAN, G. M & SANDERS, J. E. *Principles of sedimentology*. New York, John Wiley & Sons. pp. 792. 1978.

G1. *Obra de restauração da orla da praia da Barra da Tijuca tem causado polêmica*. 2023. Disponível em: < <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/rj1/video/obra-de-restauracao-da-orla-da-praia-da-barra-da-tijuca-tem-causado-polemica-11255016.ghtml>> Acesso em 16/01/2023

GALLOP, S. L.; BRUAN, K. R.; WINTER, G. The surf zone. *Sandy Beach Morphodynamics*, n. 1962, p. 131-153, 2020.

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

HALLERMEIER, R. J. A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. *Coastal Engineering*, 4:253-277. 1981.

HANDAYANI, S. et al. Alternative livelihoods strategy for coastal communities affected by coastal erosion in Sayung coastal area, Demak Regency, Central Java Province, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation; Cluj-Napoca*. V. 13. Ed. 6. 2020.

HEMER, M. A. et al. Projected changes in wave climate from a multi-model ensemble. *Nature Climate Change* 3, 471–476. 2013.

HIRD, S. STOKES, C. MASSELINK, G. Emergent coastal behaviour results in extreme dune erosion decoupled from hydrodynamic forcing. *Marine Geology*. V. 442. 2021

HOUSER, C. Rip Currents. In: JACKSON, D. W. T., SHORTMAN, A. D. *Sandy beach morphodynamics*. 1 ed. Amsterdam: Elsevier, p. 255-276. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010*.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Distribuição da população*. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

INEA. *Diagnóstico do setor costeiro da baía da Ilha Grande subsidies à elaboração do zoneamento ecológico-econômico costeiro*. Volume I. Rio de Janeiro. 242p. 2015.

INCEAC. *Justiça concede decisão favorável à construção de resort na orla de Maricá*. 2022. Disponível em: < <https://www.ineac.uff.br/index.php/noticias/item/902-justica-concede-decisao-favoravel-a-construcao-de-resort-na-orla-de-marica> > Acesso em: 25/03/2023

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos. 2017.

JA KIRBY. et al. Coastal adaptation to climate change through zonation: A review of coastal chance management (CCMAs) in England. *Ocean & Coastal Management*. V. 215. 2021.

JACKSON, D.W.T.; SHORT, A. D. Introduction to beach morphodynamics. In:\_\_\_\_\_. *Sand beach morphodynamics*. 1 ed. Amsterdam: Elsevier, p. 1-13. 2020.

KLIPPEL, L. R. Ação inédita para conter a erosão costeira na ponta da praia do município de Santos – SP. *Supply Chain e Portos*. ed. Poisson: Belo Horizonte. v.1. p 89-95. 2022.

KVASSAY, G. et al. Aproveitamento do Material Dragado: Uma análise para o contexto Brasileiro. VI CIDESPORT – Congresso Internacional de Desempenho Portuário. Florianópolis p. 733-801. 2019.

KOMAR, P. D. *Beach Process and Sedimentation*. Prentice Hall. New Jersey. 429 p. 1976.

KOMAR, P. D. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. 1998

KOERICH, M. P. Expansão e impactos de obras de engenharia costeira no litoral do Estado de Santa Catarina, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. p.99. 2023

KLUMB-OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, N. E. S.; LEÃO, R. R. Morfodinâmica multitemporal em praia refletiva na costa centro norte do RJ em resposta ao clima de ondas regional. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 16 (1). 2015.

LEAMAN, C. K et al. A storm hazard matrix combining coastal flooding and beach erosion. *Costal Engineering*, v. 170, p. 1-12. 2021

LINS-DE-BARROS, F. M.; ZEIDAN, F.; LIMA, R. Adaptações e percepção da população a eventos de ressaca do mar no litoral de Maricá, Rio de Janeiro, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, 16(2),147-161. 2016.

LINS-DE-BARROS, F. M.; MUEHE, D. Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 2, p. 55-66. 2010.

LINS-DE-BARROS, F. M.; KLUMB-OLIVEIRA, L.; 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). *Journal of Integrated Coastal Zone Management. Revista de Gestão Costeira Integrada*, 18 (2); 85-102. 2018

LINS-DE-BARROS, F.; SAUZEAU, T.; GUERRA, J. V. Historical Evolution of seafront occupation in France (Bay of Biscay) and Brazil (Rio de Janeiro) face to coastal erosion vulnerability and risks (19th-21th centuries). *Revista Confins*, 39. 2019.

LINS-DE-BARROS, F. M.; GUERRA, J. V. Do Centro ao Pontal: as transformações das praias cariocas”. *Ciência hoje*. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/do-centro-ao-pontal-as-transformacoes-das-praias-cariocas/#commente-17126>. 2020

LINS-DE-BARROS, F. M., 2005. Risco, Vulnerabilidade Física à Erosão Costeira e Impactos Sócio-econômicos na Orla Urbanizada do Município de Maricá, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia – Ano 6, nº 2*, pp. 83-90.

LINS-DE-BARROS, F., PARENTE-RIBEIRO L. How Much Is a Beach Worth: Economic Use and Vulnerability to Coastal Erosion: The Case of Ipanema and Arpoador Beaches, Rio de Janeiro (Brazil). In: Leal Filho W., Esteves de Freitas L. (eds) *Climate Change Adaptation in Latin America*. *Climate Change Management*. Springer, Cham. Online ISBN978-3-319-56946-8. 2018.

LUIJENDIJK, A. et al. The State of the World’s Beaches. *Sci. Rep.* 8, 6641. 2018.

LUDKA, B. C. et al. Mid-El Niño erosion at nourished and unnourished Southern California beaches. *Geophysical Research Letters*. 2016

MAIOLO, M., MEL. R. A., SINOPOLI, S. A Stepwise Approach to Beach Restoration at Calabaia Beach. *Reviewed Water*. v. 12 (10). 2020.

MARINHO, B. et al. Coastal management in Portugal: Practices for reflection and learning. *Ocean & Coastal Management*. V. 181, 1. 2019

MASSELINK, G. GEHRELS, R. *Coastal Environments and Global Change*. John Wiley & Sons Ltd. 448 p. 2014.

MASSELINK, G. et al. Impacts of climate change on coastal geomorphology and coastal erosion relevant to the coastal and marine environment around the UK. *MCCIP Science Review*. 2020

MORAES, A. C. R. *Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro*. São Paulo, Ed. Annablume, 232 p. 2007.

MORAES, Antonio Carlos ; ZAMBONI, Ademilson. *Construindo o conceito de orla marítima*. In: *Subsídios para um projeto de gestão / Brasília: MMA e MPO, 2004. (Projeto Orla)*. 104 p.

MOLINA, R. et al. The Mediterranean Coast of Andalusia (Spain): Medium-Term Evolution and Impacts of Coastal Structures. *Journals Sustainability*. v.11 (13). 2019.

MUEHE, D. Pós-praia não deve ser traduzido como bacjshore – uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia – antepraia. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 10 (1), 40-43. 2019.

MUEHE, D. C. E. H. *Análise ambiental no sistema costeiro sul-oriental do Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pp.141. 1975.

- MUEHE, D. C. E. H. Evidências de recuo dos cordões litorâneos em direção ao continente no litoral do Rio de Janeiro. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.DE.; CERQUEIRA, R. E. TURCQ, B. Restingas: origem, estruturas e processos. Anais do Simpósio sobre restingas brasileiras. CEUFF – Universidade Federal Fluminense, pp 75- 80. 1984.
- 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, pp. 369-386. 2015.
- MUEHE, D. C. E. H. Distribuição e caracterização dos sedimentos arenosos da plataforma continental interna entre Niterói e Ponta Negra. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 19, n.1, p. 25-36. 1989.
- MUEHE, D. C. E. H. Erosão Costeira – tendência ou evento extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 11, p. 315-325. 2011.
- MUEHE, D. Definição de limites e tipologias de orla sob os aspectos morfodinâmicos e evolutivos. *Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão*. 13-32p. 2004
- MUEHE, D. C. E. H. A geomorfologia costeira e seu desdobramento para a geografia costeira e Marinha. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 63, p. 29-59. 2018.
- MURRAY, N. J. et al. The global distribution and trajectory of tidal flats. *Nature* 565, 222–225. 2019.
- MURRAY, A. B.; ASHTON, A. D.; COCO, G. From cusps to capes: self-organised shoreline shapes. *Sandy Beach Morphodynamics*, p. 277-295, 2020.
- NOVAK, L. P.; LAMOUR, M. R. Avaliação do risco à erosão costeira em praias urbanizadas do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 22, nº 1, p. 163-185. 2021.
- OLIVEIRA FILHO., S. R., SANTOS, R. A., FERNANDES, 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, nº 2, pp. 289-312. 2020.
- 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
- OPEN UNIVERSITY M J. H., PORTER, D. L. *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*. 2 ed., The Open University. 1999.
- O GLOBO. Obras contra ressaca na Praia da Barara da Tijuca são questionadas por especialistas. 2023. Disponível em <<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/barra/noticia/2023/01/especialistas-questionam-obras-contra-ressaca-na-praia-da-barra-da-tijuca.ghtml>> Acesso em 17/10/2023
- OSILIERI, P. R. G.; SEOANE, K. C. S.; F. F. Coastal Vulnerability Index. *Revisto: estudo de caso para Maricá, RJ, Brasil. Revista de Cartografia*, [S, l.,], v. 72, n. 1, p 81-99, 2020. DOI: 10.14393/rbcv72n1-47025. Acesso em: 10 nov 2021.

Orla de Ponta Negra, em Maricá, será totalmente revitalizada. Maricá Info, Maricá, 19 de nov. De 2019. Disponível em: <https://maricainfo.com/2019/11/19/orla-de-ponta-negra-em-marica-sera-totalmente-revitalizada.html>. Acesso em: 23 de fev. De 2021.

PROJETO ORLA. Fundamentos para gestão integrada. Brasília. 78 p. 2022

PASSOS, R. C. S. Variação morfotextural da praia de Camburi, Vitória – Es, após engordamento artificial. Monografia de conclusão de curso. Universidade Federal do Espírito Santo. 81 p. 2004.

PARDAL, M. T. C. Mudanças Morfológicas e suas implicações para a estabilidade da praia na região do recanto de Itaipuaçu, Maricá, RJ. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, pp. 148. 2009.

PATSCH, K., GRIGGS, G. Littoral Cells, Sand Budgets, and Beaches: Understanding California's Shoreline. Institute of Marine Sciences, University of California, Santa Cruz. 2006.

PEREIRA, C. I. et al. Regulating human interventions in Colombian coastal areas: Implications for the environmental licensing procedure in middle-income countries. Environmental Impact Assessment Review. 79. 2019.

PEREIRA, T. G. et al. Impacto das tempestades de 2016 em Orla Urbanizada: Arco Praial de Piranitinga, Niterói – RJ. Revista do Departamento de Geografia USP – Volume Especial – XVII SBGFA/I CNGF (2017)

PEREIRA, T. et al. Morfodinâmica praial e os episódios erosivos na praia da Macumba, Cidade do Rio de Janeiro, RJ. XII SINAGEO. 2018.

PREFEITURA DE NITERÓI. Prefeitura de Niterói faz obras na orla de Camboinhas. 2022. Disponível em: < <http://www.niteroi.rj.gov.br/2022/07/18/prefeitura-de-niteroi-faz-obras-na-orla-de-camboinhas/>> Acesso em 25/01/2023

PREFEITURA DE MARICÁ. Obras avançam na orla de Jaconé e em Ponta Negra. 2020. Disponível em: < <https://www.marica.rj.gov.br/noticia/obras-avancam-na-orla-de-jacone-e-em-ponta-negra/>> Acesso em 25/03/2023

PETTIJOHN, F. J. Sedimentary Rocks. Third Ed. Harper and Row Publishers. p.68-81. 1975.

PINHEIRO, A. B. Geomorfologia de praias e sensibilidade ambiental do litoral de Paraty (RJ) a potenciais eventos de derramamento de óleo. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pp. 143. 2018.

PINHEIRO, A. B.; SILVA, A. L.C.; PEREIRA, T. G. Coastal Erosion and Flood Susceptibility in Paraty Southeast Brasil. Revista Geográfica de Chile – Terra Australis. n. 1, vol. 51. pp. 111-128. 2021

PINHEIRO, A. B. et al. Dinâmica e estabilidade da praia da APA de Maricá (RJ) entre 2008 e 2014. In: XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 2015.

PINTO, V. C. S. Caracterização morfológica e sedimentar da planície costeira e vulnerabilidade do litoral de Jaconé-Saquarema (RJ) às ondas de tempestade. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pp. 2018.

Proteção e Defesa Civil vai ganhar 15 postos guarda-vidas em toda orla. Prefeitura de Maricá, Maricá, 7 de Nov. de 2018. Disponível em <https://www.marica.rj.gov.br/2018/11/07/protecao-e-defesa-civil-vai-ganhar-15-postos-guarda-vidas-em-toda-orla/>. Acesso em: 01 de Abr. de 2021

POWER, H. E. Breaking Waves. In: Jackson, D. W. T.; SHORT, A. D. Sandy Beach Morphodynamics. 1 ed. Amsterdam: Elsevier, p. 103-130. 2020.

RAMAGNOLI, C. et al. Beach Monitoring and Morphological Response in the Presence of Coastal Defense Strategis at Riccione (Italy). *Journal Of Marine Science and Engineering*. V 9 (8). 2021.

ROSATI, J. D. Concepts in sediment budgets. *J. Coast. Res.* 307–322. <https://doi.org/10.2112/02-475A.1>. 2005.

SANTOS, R. P. et al. Evolution of Coastal Works in Portugal and their Interference with Local Morphodynamics. *Journal of Coastal Research*. 757-761. 2009

SANTOS, C. P. et al. Caracterização das comunidades vegetais na restinga de Maricá, Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil. *Revista Tamoios*. v. 13, n. 1. 2017.

SANTOS, R. H. de M. Morfodinâmica e Sedimentologia da Praia de Itaipuaçu, Maricá-RJ. Trabalho de conclusão do curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense. pp. 1-79. 2000.

SANTOS, C. L. Dinâmica Sazonal e os Efeitos das Ressacas nas Praias de Niterói (Rio de Janeiro). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, pp. 151. 2001.

SCHERER, M. E. G. Gestão de Praias no Brasil: Subsídios para uma Reflexão. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 13, n. 1, p. 3–13, 2013

SILVA, C. G. et al. Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos Atuantes na Linha de Costa. In: BAPTISTA NETO, J. A., PONZI, V. R. A & SICHEL, S. E. Introdução à Geologia Marinha. Rio de Janeiro. Editora Interciência, pp. 175-218. 2004.

SILVA, W. S. A. Vulnerabilidade do litoral do município de Paulista-PE à erosão costeira. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia. 110 p. 2021.

SILVA, P. L.; LINS-DE-BARROS, F. M. A alimentação artificial da Praia de Copacabana (RJ) após 51 anos. *Terra Brasilis [Online]*, 16. 2021.

SILVA, A. L. C. Comportamento morfológico e sedimentológicos do litoral de Itaipuaçu (Maricá) e Piratininga (Niterói), RJ, nas últimas três décadas. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-graduação em Geologia e Geofísica da Marinha da Universidade Federal Fluminense, pp. 153. 2006.

SILVA, A. L. C., SILVA, M. A. M., SANTOS, C. L. Comportamento Morfológico e Sedimentar da Praia de Itaipuaçu (Maricá, Rj) nas últimas três décadas. Revista Brasileira de Geociências. Revista Brasileira de Geociências, v. 38, p. 87-97. 2008a

SILVA, A. L. C. et al. Retrogradação da barreira arenosa e formação de leques de arrombamento na praia de Itaipuaçu (Oeste de Maricá, RJ). Revista Brasileira de Geomorfologia, v.9, p. 75-82. 2008b

SILVA, A. L. C. et al. Geomorfológica e Sedimentar da Planície Costeira de Maricá (Rio de Janeiro). Revista Brasileira de Geociências, volume 15, (2). pp. 231-249. 2014a

SILVA, A. L. C. et al. The role of beachrocks on the Evolution of the Holocene barrier systems in Rio de Janeiro, southeasern Brazil. Journal Of Coastal Reserach, Special Issue, n. 70, p. 170-175, 2014b.

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

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. Nº 71 (4) pp. 962-967.1999.

SILVA, F. P., SEABRA, V. D. S. O uso do sensoriamento remoto para análise da evolução das manchas urbanas no município de Maricá entre os anos de 1975, 1990 e 2008. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba. p. 26-33. 2011.

SILVA, T. S. et a.. Morfologia e sedimentologia das praias da Barra de Maricá, Guaratiba, Cordirinho e Ponta Negra no litoral oriental de Maricá (RJ). Anais do XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – Territórios Brasileiros: Dinâmicas, Potencialidades e Vulnerabilidades. Teresina, Piauí 28 de junho a 04 de julho de 2015, v.1. ISSN: 2236-5311. 2015.

SILVESTRE, C. P.; SILVA, A. L. C. A utilização do georadar em estudos de evolução de ambientes costeiros: litoral de Maricá (Rio de Janeiro). Revista Equador, v. 4, p. 1318-1325. 2015.

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

SOUZA, E. M. F. R. VIEGAS, V. S. Perspectivas para Maricá em 2030: Modelo da expansão urbana utilizando autômatos celulares. Estudos Maricenses: O municipio de Maricá em debate. Ed. Darcy Ribeiro. pp. 133-153. 2021

- SPENCER, T. et al. Southern North Sea storm surge event of 5 December 2013: Water levels, waves and coastal impacts. *Eath-Science Reviews*. V. 146. 2015
- SUGUIO, L. Dicionário de geologia marinha com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol. T. A. Queiroz Editor Ltda., São Paulo, 171 p. 1992.
- TESSLER, M. G., GOYA, S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 17. p.11-23. 2005.
- TOWNEND, I., WHITEHEAD, P. A preliminary net sediment budget for the Humber Estuary. *Sci. Total Environ.* 314, 755–767. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00082-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00082-2). 2003.
- VARGAS, R. et al. Mapping of the vulnerability to storm surges in the municipality of Maricá, Brazil. *Shore & Beach*, volume 85, (2). pp. 1-9. 2017.
- VILLA VERDE. Diagnóstico da erosão urbana da cidade de Recife, Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, pp. 161. 2019
- WANG, J. YOU, Z. J. LIANG, B. Laboratory investigation of coastal beach erosion processes under storm waves of slowly varying height. *Marine Geology*. V. 430. 2020.
- WRIGHT, L. D. & SHOT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches. A synthesis. *Marine Geology*, v. 56, p 93-118. 1984.
- ZURBUCHEM, K. SIMMS, R. A. HUOUT, S. Episodic Coastal Progradations of the Oxnard Plain, Southern California, USA. *Journal of Coastal Research*. V. 36 (6). 2020.