



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**GEOINDICADORES DE VULNERABILIDADE À EROSÃO
EM PRAIAS ESTUARINAS, COSTA AMAZÔNICA, PARÁ**

Dissertação apresentada por:

GABRIELA DE OLIVEIRA NOVAES

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Leilanne Almeida Ranieri (UFPA)

BELÉM-PA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N935g Novaes, Gabriela de Oliveira.
Geoindicadores de vulnerabilidade à erosão em praias
estuarinas, costa amazônica, Pará / Gabriela de Oliveira Novaes. —
2022.
118 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dra. Leilanne Almeida Ranieri
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Oceanografia, Belém, 2022.

1. Erosão Costeira. 2. Geoindicadores. 3. Ocupação
Antrópica. 4. Praias Amazônicas. 5. Zona Costeira. I. Título.

CDD 551.372



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

**GEOINDICADORES DE VULNERABILIDADE À
EROSÃO EM PRAIAS ESTUARINAS, COSTA
AMAZÔNICA, PARÁ**

Dissertação apresentada por:

GABRIELA DE OLIVEIRA NOVAES

**Como requisito parcial para à obtenção de Grau de Mestre em
OCEANOGRAFIA e Linha de Pesquisa em Avaliação e Gestão de Recursos
Aquáticos.**

Data da Aprovação: 19 / 04 / 2022

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Leilanne Almeida Ranieri
(Orientadora – UFPA)

Prof. Dr. Maamar El Robrini
(Membro – UFPA)

Prof^a. Dr^a. Luci Cajueiro Carneiro Pereira
(Membro – UFPA)

Dr^a. Juliana de Sá Guerreiro
(Membro – GEMC/UFPA)

Às famílias:
Novaes e Lobo.

AGRADECIMENTOS

Tudo o que fiz durante estes dois anos de mestrado, só foi possível porque Deus me ajudou o todo tempo. Pois, foram tempos ruins devido a pandemia que de forma inesperado mudou completamente a vida de todos. Muitas dificuldades e barreiras apareceram, não somente que interferiram em algum momento esta pesquisa (por um longo tempo não pude chegar nem próximo à praia), mas também que comprometeram a vida.

Agradeço primeiramente a Deus, por toda a força que me foi dada para continuar, mesmo diante de obstáculos que apareceram no decorrer desta caminhada e por cada conquista alcançada que me valeu de incentivo para persistir na concretização deste projeto. Á Ele toda glória!

Ao meu grande incentivador e amor, Fabrício Costa Lobo, por estar sempre comigo, ajudando em tudo e por contribuir valiosamente na realização deste trabalho, em todas as etapas. Muito obrigada por todo seu carinho, amor, companheirismo, força e compreensão.

Aos meus familiares, minha mãe Cristiane Novaes, meu pai Vilson Novaes e minha irmã Danyeli Novaes pelo apoio, por me ajudar financeiramente e por acreditar que teria mais essa conquista em minha vida. Obrigada!

À minha segunda família, composta por Iracy Lobo, Mercês Marques e Fabrício Lobo que sempre estão incentivando o que faço, dizendo palavras motivadoras e acolhendo-me.

À professora Leilanne Almeida Ranieri, por sua orientação e contribuições neste trabalho. Obrigada por compartilhar seus conhecimentos comigo e por toda ajuda.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) coordenado pela professora Leilanne Ranieri, que disponibilizou equipamentos usados em campo e para análise sedimentológica.

Ao professor Pedro Walfir responsável pelo Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT), que emprestou equipamentos utilizados em campo.

Aos meus auxiliares de coleta em campo, Danyeli Novaes e Fabrício Lobo, que me ajudaram imensamente durante todas as coletas. Muito obrigada pela colaboração e pelo esforço que fizeram. Seria impossível sem vocês.

Aos meus amigos Denise, Yuri e Larissa que estão no meu coração, que torcem para que eu conquiste meus objetivos

A Universidade Federal do Pará (UFPA) por retornar e poder realizar mais este projeto em minha trajetória profissional.

À turma de mestrado PPGOC de 2020. Em especial, ao meu amigo Herbert pela parceria nos trabalhos acadêmicos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGOC) pela oportunidade de ingresso para realizar esta pesquisa.

Aos professores do PPGOC por compartilhar seus conhecimentos e por contribuir em minha formação acadêmica.

A todos que contribuíram de maneira direta ou indiretamente para conclusão deste trabalho.

*“Bem-aventurado o homem que acha
sabedoria, e o homem que adquire
conhecimento”.*

(Provérbios 3:13)

*“Tenho esperança de que um maior
conhecimento do mar, que há milênios dá
sabedoria ao homem, inspire mais uma vez os
pensamentos e as ações daqueles que
preservarão o equilíbrio da natureza e
permitirão a conservação da própria vida”.*

(Jacques Cousteau)

RESUMO

A Zona Costeira (ZC) é uma região responsável por diversas funções ecológicas, e também objeto de preocupação devido aos seus usos e pressões antrópicas, que afetam seu equilíbrio e integridade ambiental. A praia é um dos ambientes mais importantes na ZC, devido sua intensa utilização pela população humana, ter função ecológica para muitos organismos e ser uma proteção natural contra as forças físicas (ondas, marés e correntes). A ocupação antrópica sobre uma determinada praia pode agravar a erosão costeira (processo natural da alteração morfológica do ambiente, decorrente da interação com os agentes físicos). Isso ocorre na Ilha de Mosqueiro, objeto de estudo deste trabalho, onde os processos erosivos vêm se intensificando nas últimas décadas, combinados aos de urbanização. Observando esta problemática, a presente pesquisa tem como objetivo analisar a vulnerabilidade à erosão nas praias estuarinas amazônicas da Ilha de Mosqueiro, além de avaliar o grau de risco costeiro a que estão expostas. Utilizando geoindicadores, foram obtidos índice e classificação da vulnerabilidade local. Sendo o índice composto por variáveis costeiras: morfologia e granulometria da praia, balanço sedimentar praial, variação da linha de costa, falésias, barreiras naturais; e variáveis continentais: elevação do terreno, vegetação, estruturas de engenharia costeira, percentagem de ocupação e permeabilidade do solo. Então realizou-se: (a) coleta de dados topográficos e amostragens de sedimentos em 16 praias; (b) análise observacional com checklist de geoindicadores de erosão costeira in loco e por meio de imagens de satélite; (c) tratamento dos dados coletados em campo e por meio do sensoriamento remoto; (d) utilização do índice de vulnerabilidade costeira para avaliar a erosão nas praias; e, (e) identificação de grau de risco nestas praias. Os resultados demonstram que 8 das 16 praias analisadas estão classificadas com alta vulnerabilidade (IVC: 5,0-7,4) e acentuado risco costeiro, e que a presença de falésias ativas, muro de arrimo e elevada ocupação próxima às praias destacaram-se como favorecedores para este resultado. Os dados indicaram elevada ocupação humana (> 70% na maioria das praias), visto que várias formas de uso do solo são frequentes na ilha, sejam por residências ou estabelecimentos (comércios, restaurantes, pousadas), o que intensifica o risco local para a ocorrência de danos provocados pela erosão. De forma geral, o método adaptado deste estudo para praias estuarinas amazônicas, mostrou-se uma ferramenta interessante a ser utilizada no planejamento urbano e para minimizar futuros impactos da erosão costeira. Pois fornece informações que podem auxiliar na tomada de decisões voltadas ao gerenciamento costeiro e na escolha de quais medidas mitigatórias podem ser realizadas. Assim, reforça-

se a importância desta análise e do contínuo monitoramento costeiro através do uso dos geoindicadores.

Palavras-chave: Erosão Costeira. Geoindicadores. Ocupação Antrópica. Praias Amazônicas. Zona Costeira.

ABSTRACT

The coastal zone (CZ) is a region responsible for various ecological functions, and also object of concern due to its uses and anthropic pressures, which affect its balance and environmental integrity. The beach is one of the most important environments in CZ, due to its intense use by the human population, having ecological function for many organisms and being a natural protection against physical forcings (waves, tides and chains). The anthropogenic occupation on a particular beach can aggravate coastal erosion (natural process of the morphological amendment of the environment, due to the interaction with physical agents). This occurs on the island of Mosqueiro, object of study of this work, where erosive processes have been intensified in recent decades, combined with urbanization. Observing this problem, the present research aims to analyze vulnerability to erosion on the Amazonian estuarine beaches of the Mosqueiro Island, well as evaluating the degree of coastal risk to which they are exposed. Using geoindicators, index and classification of local vulnerability were obtained. Being the index composed of coastal variables: morphology and granulometry of the beach, sedimentary swing, variation of the coast line, cliffs, natural barriers; and continental variables: land elevation, vegetation, coastal engineering structures, percentage of occupation and soil permeability. Then it was carried out: (a) collection of topographic data and sealing samples on 16 beaches; (b) observational analysis with Checklist of geoindicators of coastal erosion in loco and through satellite images; c) treatment of data collected in the field and by remote sensing; d) Use of the coastal vulnerability index to evaluate erosion on the beaches; and, e) identification of risk degree in these beaches. The results demonstrate that 8 of the 16 analyzed beaches are classified with high vulnerability (IVC: 5,0-7,4) and accentuated coastal risk, and that the presence of active cliffs, wall of arrimation and high occupation next the beaches stood out as favoring ones for this result. The data indicated high human occupation (> 70% on most beaches), since several forms of land use are frequent on the island, whether for homes or establishments (shops, restaurants, inns), which raises local risk for the occurrence of damage caused by erosion. In general, the adapted method of this study for Amazonian estuarine beaches, proved to be an interesting tool to be used in urban planning and to minimize future impacts of coastal erosion. It provides information that can aid in decision-making focused on coastal management and choosing which mitigatory measures can be carried out. Thus, the importance of this analysis and continuous coastal monitoring is reinforced through the use of geoindicators.

Keywords: Coastal Erosion. Ge indicators. Anthropic Occupation. Amazonian Beaches. Coastal Zone.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Zonação da praia de acordo com a hidrodinâmica e morfologia. Fonte: Ranieri (2014).	9
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo (Ilha de Mosqueiro), com destaque para as praias onde serão realizadas as pesquisas. Fonte: Autor.	12
Figura 3. Mapa de distribuição dos principais cursos d'água da ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.	14
Figura 4. Mapa geomorfológico da ilha de Mosqueiro. Fonte: Sales 2005.	17
Figura 5. Orientação das falhas na Ilha de Mosqueiro (Adaptado de Palheta 2008). Fonte: Autor.	18
Figura 6. Estratigrafia exposta na falésia da praia do Paraíso. 1) Apresenta 3 camadas distintas: a) Arenosa, b) Areno-argilosa a Areno-conglomerático e, c) Argilo-arenosa; 2) Foto real respectiva a falésia da praia. Fonte: Autor.	19
Figura 7. Fluxograma da metodologia aplicada. Fonte: Autor.	20
Figura 8. Medição topográfica utilizando Estação Total. Fonte: Autor.	24
Figura 9. Coleta de sedimentos e medição topográfica realizadas simultaneamente. Fonte: Autor.	25
Figura 10. Variação da linha de costa da ilha de Mosqueiro de 2006 para 2020. Avanço (Azul) e Recuo (Vermelho). Fonte: Autor.	33
Figura 11. Variação da linha de costa da ilha de Mosqueiro de 2006 para 2013. Avanço (Azul) e Recuo (Vermelho). Fonte: Autor.	34
Figura 12. Variação da linha de costa da ilha de Mosqueiro de 2013 para 2020. Avanço (Azul) e Recuo (Vermelho). Fonte: Autor.	35
Figura 13. Mapa de Estruturas de engenharia costeira (muro de arrimo e enrocamentos), distribuídas ao longo da LC das praias da Ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.	36
Figura 14. Mapa de Falésias, distribuídas ao longo da LC das praias da Ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.	37
Figura 15. Mapa de vegetação, distribuídas ao longo da LC das praias da Ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.	38
Figura 16. Praia do Bacuri: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	39
Figura 17. Local do perfil da praia do Bacuri. Fonte: Autor.	40
Figura 18. Praia da Baía do Sol (porção leste e oeste): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	42
Figura 19. Locais dos perfis da praia do Baía do sol, porção: a) leste e b) oeste. Fonte: Autor.	43

Figura 20. Praia do Paraíso (porção leste, centro e oeste): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.....	45
Figura 21. Locais dos perfis da praia do Paraíso, porção: a) leste, b) centro e c) oeste. Fonte: Autor.....	46
Figura 22. Praia do Caruara: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	48
Figura 23. Local do perfil da praia do Caruara. Fonte: Autor.	48
Figura 24. Construção de barreiras criadas pelo morador local. Fonte: Autor.....	49
Figura 25. Praia do Marahu (porção leste, centro e oeste): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.....	51
Figura 26. Locais dos perfis da praia do Marahu, porção: a) leste, b) centro e c) oeste. Fonte: Autor.....	52
Figura 27. Praia do Carananduba: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	53
Figura 28. Local do perfil da praia do Carananduba. Fonte: Autor.....	54
Figura 29. Praia do São Francisco (porção nordeste e sudoeste): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.....	55
Figura 30. Locais dos perfis da praia do São Francisco, porção: a) nordeste e b) sudoeste. Fonte: Autor.....	56
Figura 31. Praia do Ariramba (porção nordeste e sudoeste): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.....	58
Figura 32. Locais dos perfis da praia do Ariramba, porção: a) nordeste e b) sudoeste. Fonte: Autor.....	59
Figura 33. Praia do Murubira: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	60
Figura 34. Local do perfil da praia do Murubira. Fonte: Autor.....	60
Figura 35. Praia do Porto Arthur: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	61
Figura 36. Local do perfil da praia do Porto Arthur. Fonte: Autor.	62
Figura 37. Praia do Chapéu Virado: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	63
Figura 38. Local do perfil da praia do Chapéu Virado. Fonte: Autor.	63
Figura 39. Praia do Farol: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	64
Figura 40. Local do perfil da praia do Farol. Fonte: Autor.	65

Figura 41. Praia Prainha: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	66
Figura 42. Local do perfil da praia Prainha. Fonte: Autor.	66
Figura 43. Praia Grande: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio) e menos chuvoso (Outubro). Fonte: Autor.....	67
Figura 44. Local do perfil da praia Grande. Fonte: Autor.....	68
Figura 45. Praia do Bispo (porção norte, centro e sul): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.....	70
Figura 46. Locais dos perfis da praia do Bispo, porção: a) norte, b) centro e c) sul. Fonte: Autor.....	71
Figura 47. Praia do Areião (porção norte e sul): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.	73
Figura 48. Locais dos perfis da praia do Areião, porção: a) norte e b) sul. Fonte: Autor.	74
Figura 49. Mapa de ocupação humana, ano de 2006 (imagem Landsat 5/TM). Contempla área de 200 m a partir da LC em direção ao continente. Fonte: Autor.....	75
Figura 50. Mapa de ocupação humana, ano de 2013 (imagem Landsat 8/OLI). Contempla área de 200 m a partir da LC em direção ao continente. Fonte: Autor.....	76
Figura 51. Mapa de ocupação humana, ano de 2020 (imagem Landsat 8/OLI). Contempla área de 200 m a partir da LC em direção ao continente. Fonte: Autor.....	77
Figura 52. Mapa geral da Vulnerabilidade Costeira das praias da Ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.....	80
Figura 53. Mapa de risco costeiro nas praias da Ilha de Mosqueiro. Risco acentuado em vermelho e Risco moderado em amarelo. Fonte: Autor.	82
Figura 54. Imagem da praia do Paraíso (porção central): a) Erosão no muro de arrimo e geração de dano. Foto registrada em: 28/02/2021, e b) Muro reconstruído. Foto registrada em: 08/10/2021. Fonte: Autor.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Indicadores de vulnerabilidade aplicados nas praias da Ilha de Mosqueiro. Adaptado de Sousa <i>et al.</i> (2013).....	21
Tabela 2. Informações das imagens de satélite utilizadas na análise da dinâmica da linha de costa das praias da Ilha de Mosqueiro.	27
Tabela 3. Margem de erro geométrico individual e cumulativo das imagens processadas.	27
Tabela 4. Classificação do índice de vulnerabilidade costeira em: alta, moderada e baixa com seus respectivos valores.	30
Tabela 5. Classificação do posicionamento das construções em relação a linha de costa.	31
Tabela 6. Grau de risco nas praias e variáveis associadas.....	31
Tabela 7. Dados das praias analisadas de acordo com a sua variação de linha de costa entre 2006 e 2020 e sobre o processo costeiro dominante (erosão ou acreção).	32
Tabela 8. Índice de Vulnerabilidade da praia do Bacuri, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	39
Tabela 9. Índice de Vulnerabilidade da praia do Baía do Sol, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	41
Tabela 10. Índice de Vulnerabilidade da praia do Paraíso, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	44
Tabela 11. Índice de Vulnerabilidade da praia do Caruara, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	47
Tabela 12. Índice de Vulnerabilidade da praia do Marahu (leste, centro e oeste), com seus respectivos valores de peso e classificação.	50
Tabela 13. Índice de Vulnerabilidade da praia do Carananduba, com seus respectivos valores de peso e classificação.	53
Tabela 14. Índice de Vulnerabilidade da praia do São Francisco, com seus respectivos valores de peso e classificação.	55
Tabela 15. Índice de Vulnerabilidade da praia do Ariramba, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	57
Tabela 16. Índice de Vulnerabilidade da praia do Murubira, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	60
Tabela 17. Índice de Vulnerabilidade da praia do Porto Arthur, com seus respectivos valores de peso e classificação.	61
Tabela 18. Índice de Vulnerabilidade da praia do Chapéu Virado, com seus respectivos valores de peso e classificação.	62
Tabela 19. Índice de Vulnerabilidade da praia do Farol, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	64

Tabela 20. Índice de Vulnerabilidade da praia da Prainha, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	66
Tabela 21. Índice de Vulnerabilidade da praia Grande, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	67
Tabela 22. Índice de Vulnerabilidade da praia do Bispo, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	69
Tabela 23. Índice de Vulnerabilidade da praia do Areião, com seus respectivos valores de peso e classificação.....	72
Tabela 24. Percentagem de ocupação humana em cada praia da Ilha de Mosqueiro.....	77
Tabela 25. Resultado da vulnerabilidade costeira a erosão das praias analisadas da Ilha de Mosqueiro.....	79
Tabela 26. Grau de risco das praias da ilha de Mosqueiro, como resultado da relação da classificação do IVC e posição das construções.....	81

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xii
LISTA DE TABELAS	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
3.1 ZONA COSTEIRA.....	6
3.2 PRAIAS	6
3.2.1 Praias Estuarinas.....	8
3.2.2 Zonação Praial	8
3.3 VULNERABILIDADE À EROSÃO COSTEIRA	9
3.4 GEOINDICADORES DE EROSÃO COSTEIRA	11
4 ÁREA DE ESTUDO	12
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	12
4.2 ASPECTOS FISIOGRAFICOS.....	13
4.2.1 Clima	13
4.2.2 Hidrografia.....	14
4.2.3 Ondas	15
4.2.4 Marés	15
4.2.5 Corrente de marés.....	15
4.2.6 Vegetação	16
4.2.7 Geomorfologia e geologia	16
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
5.1 INDICADORES AMBIENTAIS DE EROSÃO COSTEIRA.....	20
5.2 TRABALHOS DE CAMPO.....	24
5.2.1 Medições topográficas, largura praial e altura de falésias.....	24
5.2.2 Coleta de sedimentos superficiais.....	25
5.3 ANÁLISE LABORATORIAL	25
5.3.1 Análise sedimentológica.....	25
5.4 ANÁLISE DE DADOS	26

5.4.1	Morfologia praial.....	26
5.4.2	Variação da linha de costa.....	26
5.4.3	Percentagem de ocupação.....	28
5.4.4	Estruturas de engenharia costeira, vegetação e falésia.....	29
5.4.5	Índice de vulnerabilidade.....	30
5.4.6	Grau de Risco	31
6	RESULTADOS	32
6.1	VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	32
6.2	ESTRUTURAS DE ENGENHARIA COSTEIRA, VEGETAÇÃO E FALÉSIA.....	35
6.3	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE E INDICADORES	38
6.3.1	Setor Norte:	38
6.3.1.1	Praia do Bacuri	38
6.3.1.2	Praia da Baía do Sol	40
6.3.1.3	Praia do Paraíso	43
6.3.1.4	Praia do Caruara	47
6.3.1.5	Praia do Marahu	49
6.3.2	Setor Noroeste	53
6.3.2.1	Praia do Carananduba.....	53
6.3.2.2	Praia do São Francisco	54
6.3.2.3	Praia do Ariramba	56
6.3.2.4	Praia do Murubira.....	59
6.3.2.5	Praia do Porto Arthur	61
6.3.2.6	Praia do Chapéu Virado	62
6.3.2.7	Praia do Farol	64
6.3.3	Setor Oeste.....	65
6.3.3.1	Praia Prainha	65
6.3.3.2	Praia Grande.....	67
6.3.3.3	Praia do Bispo	68
6.3.3.4	Praia do Areião.....	72
6.4	PERCENTAGEM DE OCUPAÇÃO.....	75
6.5	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA	79
6.6	GRAU DE RISCO	81
7	DISCUSSÃO.....	83
8	CONCLUSÃO.....	89

REFERÊNCIAS.....	90
------------------	----

1 INTRODUÇÃO

A Zona Costeira (ZC) pode ser denominada como a unidade territorial que se estende “desde o limite da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) até o limite terrestre afetado pelo clima marítimo” (Clark 1996, Gesamp, 1997), ou seja, até onde algum processo oceanográfico, como a maré, esteja agindo num dado espaço geográfico. Trata-se de uma zona de transição entre o continente e oceano, onde ocorrem mudanças de curto, médio e longo períodos, causados por processos mistos, tanto continentais quanto oceânicos, que interagem entre si, e resulta em paisagens com alta complexidade dinâmica (Martins & Barboza 2006). Ou seja, devido interações que envolvem, dentre outros processos, a descarga de água e sedimentos de estuários, orientação da linha de costa, correntes costeiras, ondas e correntes das marés (Brand *et al.* 2020).

Esta zona é responsável por diversas funções ecológicas, mas também é objeto de preocupação devido aos seus usos e pressões antrópicas, o que afeta o seu equilíbrio e integridade ambiental (Ranieri & El-Robrini 2016). O estresse ambiental resulta da exploração de recursos naturais e uso desordenado do solo (Halpern *et al.* 2008, 2012).

Entre os ambientes que compõem a ZC, a praia é um dos mais importantes, pois é o mais utilizado por populações humanas (Schlacher *et al.* 2007), principalmente devido ao turismo associado à diversas atividades recreativas. Seus frequentadores se dividem entre o uso para o lazer e ambiente de trabalho, e buscam as melhores combinações das variáveis socioeconômicas (infraestrutura, segurança) e geoambientais (morfologia praial, ecossistema saudável) do local (Sousa *et al.* 2017a, Sousa *et al.* 2017b).

No entanto, o aumento da intensidade do uso para fins de turismo e os processos de ocupação do litoral, impulsionados por múltiplos fatores de desenvolvimento (o que inclui a própria exploração turística, imobiliária e a expansão urbana), ocasionam diversos impactos negativos de ordem ambiental, econômica, social e cultural para a própria comunidade (Butler 1980).

Dentre os impactos negativos que ocorrem na ZC está a erosão que origina alterações morfológicas e sedimentares no ambiente, decorrente de interações entre ele e os agentes físicos (ondas, ventos, correntes), as variações do nível do mar e os processos antrópicos (Nicolodi 2008, Prasetya 2007). Bird (2008) estimou que a erosão tem afetado cerca de 70% das praias ao redor do mundo. A erosão nessas áreas pode ser influenciada pelo denso povoamento, pelo

seu desenvolvimento e pode impactar no desenvolvimento social, urbano e na economia local (Luijendijk *et al.* 2018).

Uma das formas de investigar os processos de erosão pode ser por meio da análise de conjunto de geoindicadores que possuem índices identificáveis no ambiente estudado, como ocorre no emprego de algumas metodologias de avaliação da vulnerabilidade costeira. Sendo a vulnerabilidade costeira à erosão, o estado ao qual determinados setores da costa são identificados como vulneráveis ou não a este processo, diante da ação de agentes de natureza física, responsáveis pela dinâmica local, tais como as ondas, as marés e a elevação do nível do mar (Gornitz 1991). Em escala regional, forçantes climatológicas e oceanográficas, atuam sobre aos ambientes costeiros de forma diferenciada (Muehe 2001).

Visando entender os níveis no qual determinada costa está sujeita à erosão, tem sido utilizada a classificação do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) em vários litorais do mundo, como aplicados na costa canadense (Shaw *et al.* 1998), na costa norte-americana (Thieler & Hammar-Klose 1999), costa da Irlanda do Norte (McLaughlin *et al.* 2002), costa de Puducherry, Índia (Murali *et al.* 2013), costa do Piauí (Araújo *et al.* 2019) e do Pará, Brasil (Braga *et al.* 2019).

A vulnerabilidade costeira é intensificada pela ação antrópica, assim como pelo aumento do nível do mar, porém recebe menos atenção quando comparado à esta componente climática/oceanográfica, e por ser um processo comum, deveria ser mais investigado (Nicholls & Cazenave 2010).

No Brasil, cerca de 80% das causas da erosão estão relacionadas à intervenção humana, tanto pelo modo de uso da costa, como pela interferência no balanço sedimentar devido a construções de estruturas rígidas (Muehe 2005). É um processo mútuo, pois o contrário também pode ser destacado: o evento natural interferindo numa zona ocupada (ocupação em atuais áreas erosivas). De acordo com Cutter (2011), a ocupação humana em costas de países subdesenvolvidos, por exemplo, possui parcela considerável de populações vulneráveis, tanto à erosão costeira, quanto a vulnerabilidade social ou socioeconômica. Ou seja, em condições de desamparo financeiro que os deixam susceptíveis à eventos naturais.

Outras variáveis relativas a eventos naturais e a presença do homem no ambiente são a suscetibilidade e o risco, a primeira está relacionada à intensidade ou probabilidade de um determinado ambiente sofrer impacto devido a um perigo natural, considerando as condições físicas da região (UNDP 2004). Enquanto o segundo é compreendido como a probabilidade de

ocorrerem impactos negativos diretos ou indiretos causados por fenômenos considerados perigosos ao homem ou seus bens (Lins-de-Barros 2018). Por envolver iminência de eventos danosos às populações, pode-se dizer que determinada área ocupada e sob efeito de erosão costeira não está apenas suscetível, mas também em risco.

Como o Brasil é um país subdesenvolvido, embora emergente e, banhado pelo Oceano Atlântico a leste, defronta com a situação destacada acima de suscetibilidade e risco à erosão costeira em grande parte de seu território, especialmente ao considerar os custos elevados de manutenção do espaço físico costeiro. A grande extensão do litoral brasileiro, com suas particularidades fisiográficas regionais é outro fator limitante da gestão de uma costa tão heterogênea (Souza *et al.* 2005) que possui amplas orlas, com presença desde costões rochosos até planícies lamosas de marés (Muehe 2006).

Alguns terrenos sedimentares elevados no encontro com a área terrestre originam também falésias do Grupo Barreiras e, em alguns locais do Pós Barreiras. Estas escarpas erosivas são formadas devido a abrasão marinha pela ação de ondas, impulsionado pela elevação do nível do mar. Quando a remoção é facilitada pela baixa resistência ou coesão do pacote sedimentar, tende a expandir a retrogradação costeira (Muehe 2001). Os sedimentos erodidos acumulam-se em planícies ao longo da costa, controlados pelas variações do nível do mar e, em sua maioria formam depósitos arenosos praias (Dominguez 1983).

Os ambientes praias podem responder de forma variada as mudanças que nele ocorrem, seja de forma natural ou antrópica. Avaliar a resposta destes ambientes à erosão costeira, ajuda a decidir as melhores estratégias de recuperação e conservação. Estudos que possuem essa abordagem são de grande importância para o planejamento ambiental, pois podem ser aplicados no zoneamento e gestão de territórios (Spörl 2007).

Na Zona Costeira Amazônica, os ambientes praias também são afetados com a erosão, seja de origem apenas natural ou intensificada pelo homem, mesmo sendo uma zona que recebe elevado aporte sedimentar de vários estuários que compõem a bacia hidrográfica do Amazonas. Como exemplo, temos as praias da Ilha de Mosqueiro, situada no Setor Continental Estuarino da costa paraense, bordejadas, em sua maioria, por falésias ativas e, sob efeito de processos erosivos que têm se intensificado nas últimas décadas, combinado ao processo de urbanização (Viana 2017) e chuvas regulares.

No ano de 2017 foram implantadas na Ilha obras de proteção costeira, com a construção de muros de arrimo em 10 praias (Baía do Sol, Marahu, Paraíso, Praia Grande, Murubira,

Ariramba, Porto Artur, Bispo, Chapéu Virado e Areião), visando amenizar o problema da erosão (Agência Belém 2022). Contudo, questiona-se a persistência do processo erosivo na área, propondo-se analisar a situação atual nas praias da ilha e, a adaptação de um índice de vulnerabilidade à erosão que possa ser utilizado nas praias estuarinas.

Sendo assim, pretendeu-se responder as seguintes hipóteses: 1) Todas as praias da ilha, especialmente as bordejadas por falésias, apresentam vulnerabilidade à erosão costeira moderada a alta; 2) A ocupação humana muito próxima às praias contribui para a vulnerabilidade costeira, estando a população submetida a riscos provocados pela erosão que variam de moderado a acentuado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a vulnerabilidade à erosão nas praias estuarinas amazônicas da Ilha de Mosqueiro, estuário do Rio Pará.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar áreas de ocupação humana e variações na linha de costa entre os anos de 2006 a 2020 e, a relação com os processos erosivos;
- Identificar o índice (alto, moderado ou baixo) de vulnerabilidade costeira em dezesseis praias da ilha a partir de geoindicadores;
- Avaliar o atual grau de risco costeiro presente nas praias da ilha;
- Analisar a morfologia e sedimentação das praias num curto período (ano de 2021), visando identificar alterações sazonais (processo de erosão ou acreção sedimentar).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ZONA COSTEIRA

A Zona Costeira (ZC) é conceituada como “o espaço delimitado pela interface entre o oceano e a terra, ou seja, a faixa terrestre que recebe influência marítima e a faixa marítima que recebe influência terrestre” (Rodríguez & Windevoxhel 1998, Clark 1996, Gesamp 1997).

No Brasil os limites da ZC são definidos pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC II (instituído pela Lei nº 7.661/1988 e regulamentado pelo Decreto nº 5.300/2004). O dispositivo legal considera a ZC como patrimônio nacional, compreendendo o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais, abrangendo uma faixa marítima, que se estende mar afora, até 12 milhas marítimas (22,2km). Compreende a totalidade do Mar Territorial e uma faixa terrestre, formada pelos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na Costa (MMA 2006). Os limites internos do Brasil são notadamente delimitações políticas e, na atualidade, é composta por 27 unidades administrativas e 5570 Municípios com população estimada em cerca de 211 milhões (IBGE 2010), entre os estados brasileiros, 17 são costeiros possuindo 412 municípios (PORTARIA MMA Nº 34, DE 2 DE FEVEREIRO DE 2021).

A ZC é uma fonte de riquezas de suma importância para o desenvolvimento econômico, sendo possível a exploração de diversos recursos (Gruber *et al.* 2003). De modo que as diversas formas de uso (atividades portuárias e turísticas, expansão imobiliária, extração de recursos naturais) da ZC tem gerado preocupação e se tornado um grande desafio em sua gestão, visto que as atividades humanas tendem a se concentrar nesta zona (Ranieri & El-Robrini 2016), podendo gerar estresse ambiental resultante da inadequada exploração de recursos naturais, uso desordenado do solo, poluição e diversas modificações estabelecidas pelo homem (Halpern *et al.* 2008, 2012).

3.2 PRAIAS

Dentre os ambientes que compõem a ZC, a praia destaca-se não apenas pela sua função ecológica para diversos organismos, mas também como um atrativo à população humana e, devido a essa ligação do homem com esse ambiente, muitos trabalhos são desenvolvidos nessa região para que se aprimore o conhecimento sobre essa relação.

Muitos autores desenvolveram conceitos sobre praias, o que fez existir diversas definições, que apesar de apresentarem diferenças, compartilham da ideia de que (1) os

sedimentos são inconsolidados e que (2) as ondas e marés são os seus principais agentes hidrodinâmicos. Dentre as principais definições de praias podemos destacar as seguintes:

- (a) Praia é uma acumulação de sedimentos inconsolidados de tamanhos diversos, como areia ou cascalho que se estende, em direção à costa, do nível médio de maré baixa até alguma alteração fisiográficas como uma falésia, um campo de dunas ou simplesmente até o ponto de fixação permanente da vegetação (Komar 1976).
- (b) As praias são depósitos de sedimentos, mais comumente arenosos, acumulados por ação de ondas que, por apresentar mobilidade, se ajustam às condições de ondas e marés. Esses possuem a importante função de proteção do litoral, através de um contato em material móvel e frequentemente permeável, adequado para a dissipação da energia da onda, e ao mesmo tempo em que são amplamente usadas para o lazer (Muehe 2001).
- (c) Depósito de sedimentos não coesivos e inconsolidados sobre a zona costeira, dominado primariamente por ondas e limitado internamente pelos níveis máximos de ação das ondas de tempestade ou pelo início da ocorrência de dunas fixadas ou de qualquer outra alteração fisiográfica brusca, caso existam; e externamente pela profundidade de fechamento de interna, ou pelo início da zona de arrebenção quando da determinação visual e instantânea deste limite (Hoefel 1998).
- (d) As praias ocorrem em todas as latitudes, climas, amplitudes de marés e tipos de costas. E sua extensão e características depende da variação de maré, altura de onda, período de onda, tamanho do grão e forma da praia (Short 1999).

As praias são ambientes de grande valor ecológico, desempenham um papel importante no desenvolvimento econômico (Mahony *et al.* 2009). Contudo, pressões humanas sobre esses ambientes podem resultar em impactos negativos de ordem ambiental (erosão acelerada, perda de vegetação) e sociais (como danos materiais) (Lozoya *et al.* 2011).

As praias apresentam diversos desafios de gestão, como destacado pelo Projeto Orla (MMA 2006), dentre eles estão: ordenamento dos empreendimentos turísticos e de projetos urbanísticos, ordenamento de barracas/quiosques de praia, manutenção da acessibilidade à praia, conservação de biodiversidade, minimização de processos erosivos; demonstrando que nem sempre as atividades desenvolvidas nas praias são devidamente ordenadas. Mas que esses usos e atividades deveriam ser regulamentados e fiscalizados.

Os limites de proteção costeira proposto pelo Projeto Orla são de 50 metros para áreas urbanizadas e 200 metros em áreas não urbanizadas, sendo o último critério aplicável a ilha de Mosqueiro. O limite é contado em direção ao continente, a partir do limite de contato terra/mar, em qualquer de suas feições: costão, praia, restinga, duna, manguezal, etc (Projeto Orla 2004).

3.2.1 Praias Estuarinas

Nordstrom (1992) descreve a praia estuarina como depósitos intermareais de areia ou cascalho onde os processos de retrabalhamento do sedimento são dominados por ondas de baixa energia geradas localmente sobre uma pista curta de ventos. Estas possuem uma influência significativa de amplitude de maré, sendo dominantes nestes ambientes as correntes de maré nos estuários, o que as difere da maioria das praias oceânicas, pois podem apresentar características morfológicas distintas destas, devido principalmente à hidrodinâmica estuarina e a importância da amplitude de maré relativa à altura de ondas.

Segundo Nordstrom & Roman (1996), as praias estuarinas são definidas como depósitos de sedimentos inconsolidados (areia, cascalho ou conchas) livremente retrabalhados por ondas e correntes associadas. São comumente encontradas ao longo de linhas de costa onde a energia das ondas é adequada para erodir o material inconsolidado das formações costeiras. Também dominam em linhas de costa estuarina próximas a *inlets* oceânicos, onde os sedimentos são depositados e redistribuídos no estuário por ondas e correntes de maré enchente.

3.2.2 Zonação Praial

As praias são divididas em subambientes ou zonas que compõe o perfil praial (Figura 1). Na literatura, os ambientes praias apresentam diferentes nomenclaturas. Desta forma, será apresentada duas propostas de zonções: a) morfológica, sugerida por Short (1999) e b) hidrodinâmica, sugerida por Davis (1985).

a) Zonção morfológica (Short 1999):

- Zona de supramaré (Pós-praia): está situada a partir nível de maré alta de sizígia até a presença de alguma mudança fisiográfica, como por exemplo, falésias, dunas ou vegetação permanente, e pode ser encontrada feições como o berma, comum nessa região, além de ocorrer o transporte eólico de sedimentos.
- Zona de intermaré (Face praial): está situada entre o nível de maré alta de sizígia e o nível de maré baixa de sizígia (zona em que ocorre a ação da maré). Em ambientes dominados por marés, essa zona pode ser subdividida em: zona de intermaré superior (entre a linha de maré alta de sizígia e linha de maré alta de quadratura), zona de intermaré média (entre a linha de maré alta e baixa de

quadratura), zona de intermaré inferior (entre a linha de maré baixa de quadratura e linha de maré baixa de sizígia).

- Zona de inframaré (Face litorânea): está situada entre o nível de maré baixa de sizígia, se estendendo um pouco além do nível de base da ação de ondas de bom tempo (quebra das ondas), até onde há mobilidade de sedimentos. Zona permanentemente submersa da praia.
- b) Zonação hidrodinâmica (Davis 1985):
- Zona de espraimento: está situada entre o nível de maré alta e baixa de sizígia. Nessa zona ocorrem os fluxos e refluxos de ondas, a propagação das ondas e os transportes transversal e longitudinal de sedimentos na preamar, e transporte eólico na baixa-mar.
 - Zona de Surf: está situada entre o nível de maré baixa de sizígia até a zona de arrebenção de ondas. Nessa zona ocorre a dissipação energética das ondas que quebram próximo à costa na Zona de Arrebenção, e que geram os transportes transversal e longitudinal de sedimentos.
 - Zona de Arrebenção: faixa restrita onde ocorre a quebra das ondas, delimitada entre o nível de base da ação de ondas de bom tempo e de ondas de tempestade. Também pode envolver múltiplos bancos arenosos submersos.

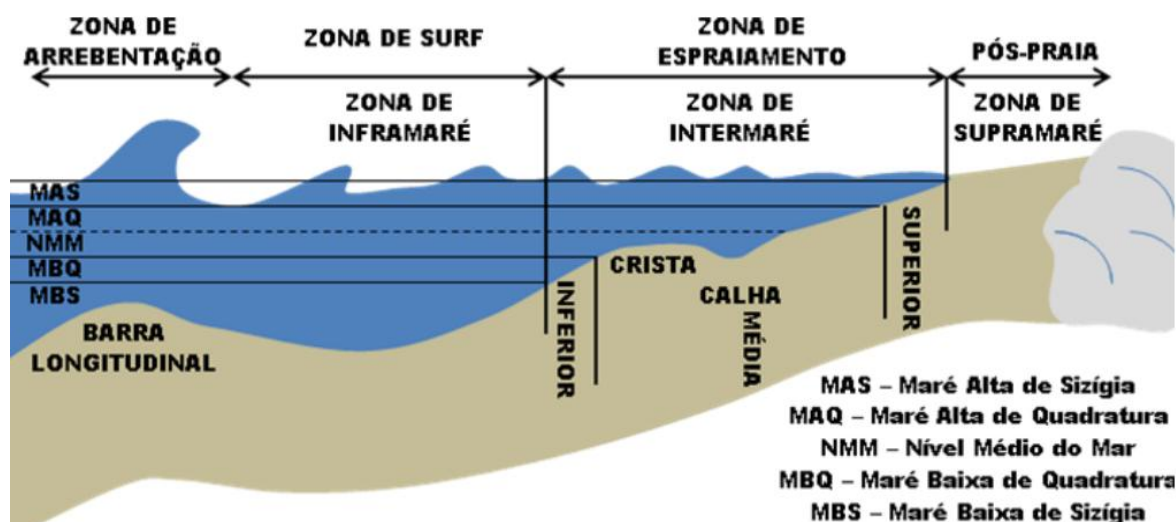


Figura 1. Zonação da praia de acordo com a hidrodinâmica e morfologia. Fonte: Ranieri (2014).

3.3 VULNERABILIDADE À EROSÃO COSTEIRA

A erosão costeira é considerada um problema identificado em inúmeras costas urbanizadas e não urbanizadas ao redor do mundo. Este processo ocorre quando o balanço sedimentar de um determinado ambiente se torna negativo ao longo do tempo. Em diversos

cenários, este evento trata-se de um processo natural potencializado pela interferência de fatores diversificados, como a elevação do nível do mar, intensificação de tempestades e ação antrópica (um dos indicadores analisados no contexto da vulnerabilidade costeira) (Komar 1976).

De acordo com Mazzer *et al.* (2008), a vulnerabilidade à erosão costeira é descrita como um arranjo de atribuições ou variáveis que identificam áreas com maior fragilidade, fraqueza, passividade ou susceptibilidade em relação a incidência de um evento de potencial destrutivo, seja caracterizado como antrópico ou natural.

Para a realização da identificação da vulnerabilidade à erosão costeira é necessário identificar e medir os elementos que contribuem para eventos de natureza antrópica e social, além de medidas mitigadoras de prevenção a danos que possam acarretar a perda das áreas costeiras ou reduzam a capacidade de recuperação dos ambientes que ali se encontram (Bush *et al.* 1999).

A avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira tem se mostrado como uma importante ferramenta para a prevenção e identificação dos impactos socioeconômicos gerados nas cidades litorâneas. No Brasil, existe uma baixa disponibilidade de dados de monitoramento de longo prazo da zona costeira, o que torna o conhecimento sobre essas áreas prejudicado. A vulnerabilidade da zona costeira pode ser avaliada tendo em consideração o aumento do nível do mar, erosão costeira e tempestades. De modo que estudos que abordem essa temática são importantes e devem ser realizados e aplicados no planejamento urbano e regional de áreas litorâneas (Ribeiro *et al.* 2013).

A metodologia mais utilizada na avaliação da vulnerabilidade costeira é a aplicação dos índices, níveis ou graus de vulnerabilidade, este método simplifica a análise de parâmetros físicos ou socioeconômicos (McLaughlin *et al.* 2011). Gornitz (1990) foi um dos pioneiros a utilizar a metodologia em que elaborou e aplicou o conhecido Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC), sendo esta uma das mais utilizadas em trabalhos que seguem essa temática.

Posterior à colaboração de Gornitz (Gornitz 1990, Gornitz *et al.* 1991, Gornitz *et al.* 1997) foram realizados outros trabalhos por pesquisadores que utilizaram o IVC para determinar a vulnerabilidade costeira em escala regional e, também local, o que fez desse método um dos mais conhecidos e colaborativo para a ciência (Rocha 2016). Uma das primeiras derivações do IVC foi utilizada por Shaw *et al.* (1998) na costa canadense e Thieler & Hammar-Klose (1999) na costa norte-americana. No Brasil, o método também foi utilizado, a exemplo dos trabalhos de Araújo *et al.* (2019) e Braga *et al.* (2019).

No trabalho de McLaughlin *et al.* (2002), de forma precursora, foi introduzido um subíndice, o socioeconômico, sua inserção é omitida em muitos trabalhos, pois se torna de difícil obtenção e classificação.

3.4 GEOINDICADORES DE EROÇÃO COSTEIRA

O uso de geoindicadores foi utilizado pela primeira vez como uma forma de realizar avaliações do potencial risco de desastres naturais em áreas costeiras. Por meio dos indicadores estabelecidos torna-se possível verificar tendências que auxiliam no entendimento dos processos atuantes na costa e a quais perigos está sujeita. Os geoindicadores podem ter características gerais como a elevação topográfica e a vegetação; características específicas como a estabilidade e a configuração da linha de costa; presença de estruturas de engenharia costeira, dentre outros aspectos naturais e artificiais. Esses indicadores são aplicados na compreensão de cenários e podem ser utilizados em ações de monitoramento ambiental, sendo uma alternativa de baixo custo para a gestão costeira (Bush *et al.* 1999).

Para verificar a vulnerabilidade à erosão costeira, geoindicadores podem ser utilizados por meio de observações de parâmetros qualitativos e quantitativos. Tendo como resultado a identificação e classificação do grau de intensidade (baixo, moderado e alto) para uma área de interesse (Boruff *et al.* 2005, Mazzer *et al.* 2008, Mallman & Araújo 2010, Sousa *et al.* 2011 e 2013, Martins & Pereira, 2014, França *et al.* 2020).

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

A Ilha de Mosqueiro que se localiza entre latitudes $01^{\circ}03'15''\text{S}$ e $01^{\circ}13'56''\text{S}$, e longitudes $48^{\circ}18'15''\text{W}$ e $48^{\circ}28'09''\text{W}$, no estuário Amazônico do estado do Pará, região norte do Brasil (Figura 2). Seu território possui uma área de 212 Km², com aproximadamente, 17 km de praias, sofrendo influência das águas do Oceano Atlântico, mesmo situada à 90 km da foz da Baía do Marajó. A ilha fica localizada na costa oriental do Rio Pará, em frente a Baía do Guajará, limitada ao Norte pela Baía do Sol, ao Sul pela Baía de Santo Antônio e à Leste pelo Furo das Marinhas, que a separa do continente. Está a uma distância de 80 km da capital Belém, sendo a maior ilha deste município, ao qual pertence o seu distrito administrativo (IBGE 2020).

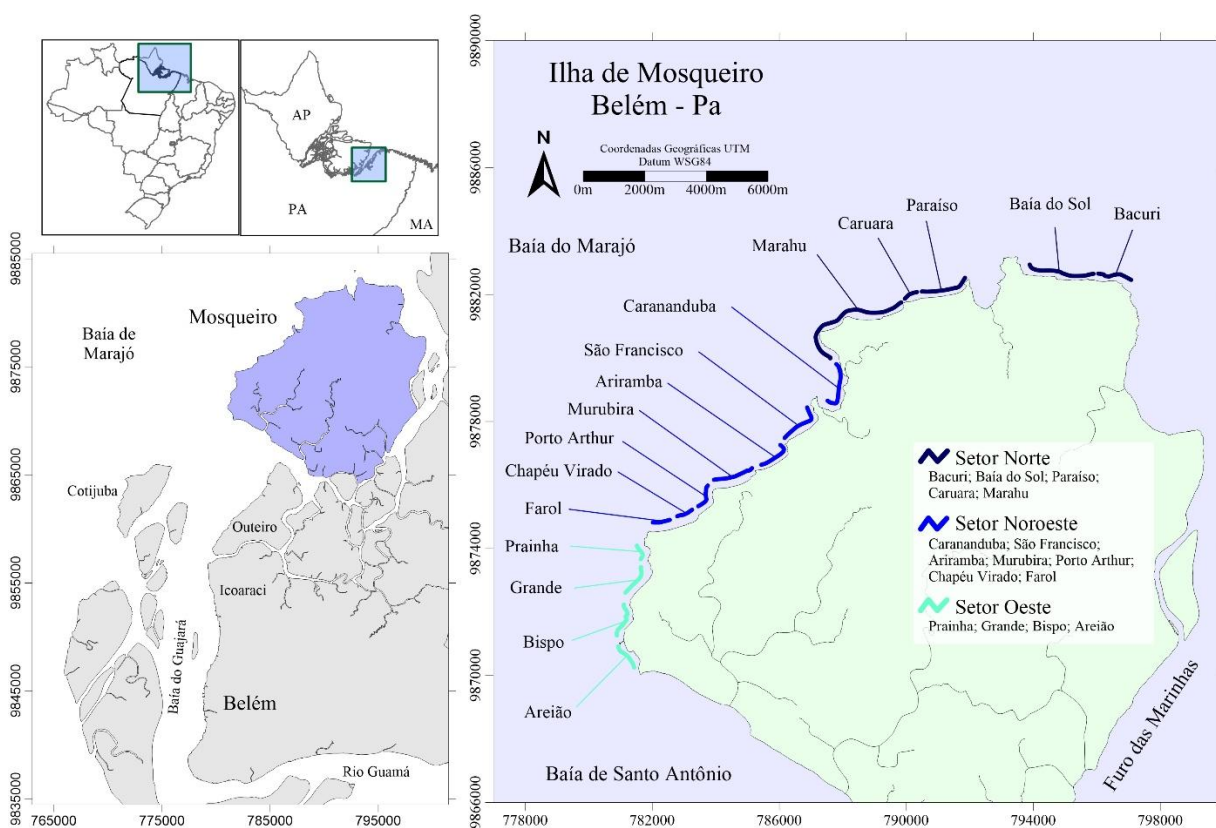


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo (Ilha de Mosqueiro), com destaque para as praias onde serão realizadas as pesquisas. Fonte: Autor.

O acesso à ilha pode ser através do meio fluvial ou terrestre, partindo de Belém pela BR-316 e seguidamente da PA-391, esta conexão com a ilha é facilitada pela Ponte Sebastião de Oliveira, sobre o furo das Marinhas (Prefeitura Municipal de Belém 2020). Sua população é de aproximadamente 30 mil habitantes (IBGE 2010). Seus atrativos são suas praias, entre elas: Baía do Sol, Bacuri, Paraíso, Caruara, Marahu (setor norte); Carananduba, São Francisco, Murubira, Ariramba, Porto Artur, Chapéu Virado, Farol (setor noroeste); Prainha, Grande, Bispo, Areião

Bispo e Areião (setor oeste), as quais são objetos de estudo deste trabalho. De forma geral, nas praias predominam formato de enseadas com estreitas faixas de areias quartzosas, diminuindo suas larguras da porção central em direção as extremidades, além de exibirem falésias na maioria.

4.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

4.2.1 Clima

O clima da região é tropical úmido ou superúmido – Af (Köppen 1918), semelhante ao município de Belém. Apresenta elevada precipitação pluviométrica, com média anual entre 2.400 e 3330 mm, em que os meses de dezembro a maio e de junho a novembro compreende a estação chuvosa e menos chuvosa, respectivamente. A temperatura média anual é de 26 °C, e a média anual da umidade relativa do ar é acima de 80% em todos os meses do ano (Moraes *et al.* 2005).

Variações climáticas geralmente são causadas por anomalias, como o El Niño /La Niña - Oscilação Sul (ENOS), fenômenos que decorrem das variações de fluxos de calor e de vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera. O El Niño (EN) é caracterizado pelo enfraquecimento dos ventos alísios e pelo aquecimento atmosférico-oceânico nas águas da superfície do Oceano Pacífico acima do normal, mudando os padrões de vento e alterando os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias. No La Niña (LN), os ventos alísios são mais intensos e as águas de superfície do pacífico se resfriam (Moreira *et al.* 2018),

Esses fenômenos podem ser refletidos na América do Sul na forma de alterações significativas nos regimes pluviométricos e de temperatura, especificamente na região Amazônica, contribui para a ocorrência de períodos de secas (El Niño), enchentes (La Niña) e, conseqüentemente, alterações nas estações do ano (Gonzalez *et al.* 2013, Romero *et al.* 2014).

Na região amazônica, o potencial erosivo das chuvas é afetado pelo fenômeno ENOS, de modo que durante a ocorrência do EN se observa menor potencial erosivo, com menores taxas de erosão pluvial no continente, o que dificulta o transporte de sedimentos para a plataforma continental. O inverso, durante os períodos de LN, na qual a erosão é maior, ocasionando mais aporte sedimentar para os rios (Costa & Blanco 2018).

Os ventos alísios de NE e SE atuam com maior intensidade na costa nordeste do estado do Pará e são formados pelo Anticiclone Tropical Atlântico (ATA) e pelo Anticiclone Tropical Atlântico Norte (ATAN). Esses ventos quando convergem com a linha do Equador resultam na

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) com ventos fracos e com direções variáveis (Fonza 1994).

Os ventos possuem importante papel no transporte, retrabalhamento e dispersão de sedimentos (Ogston *et al.* 2005). Na Ilha de Mosqueiro ocorrem o regime de ventos Alísios de Nordeste (ENE) que atuam na formação das ondas na costa paraense, inclusive com importante atuação no desenvolvimento de ondas local em algumas praias da Ilha de Mosqueiro, especialmente as situadas ao norte da ilha.

Num estudo de Moreira *et al.* (2019) no município de Belém, durante o período mais chuvoso, que compreende os meses de dezembro-janeiro-fevereiro, os ventos estiveram mais em sentido de nordeste com velocidades de 1,0 a 1,4 m/s. No período menos chuvoso, que ocorre principalmente nos meses de junho-julho-agosto, os ventos tiveram mais sentido leste, com velocidades de 1,0 a 1,4 m/s, não havendo variação sazonal na velocidade dos ventos, mas sim levemente na direção.

4.2.2 Hidrografia

A Ilha do Mosqueiro é banhada pelas águas da Baía do Marajó, Baía do Sol, Furo das Marinhas. Os principais rios da ilha são: Murubira, Pratiçara e Mari-Mari (NE-SW), Pirajuçara, do Engenho (NW-SE); e os igarapés: Tamanduá, Cajueiro, Sucuriçuara, Queimada (NW-SE), Jacareçuara, Santana (SW-NE) e Carananduba (NE-SW) (Palheta 2008) (Figura 3).

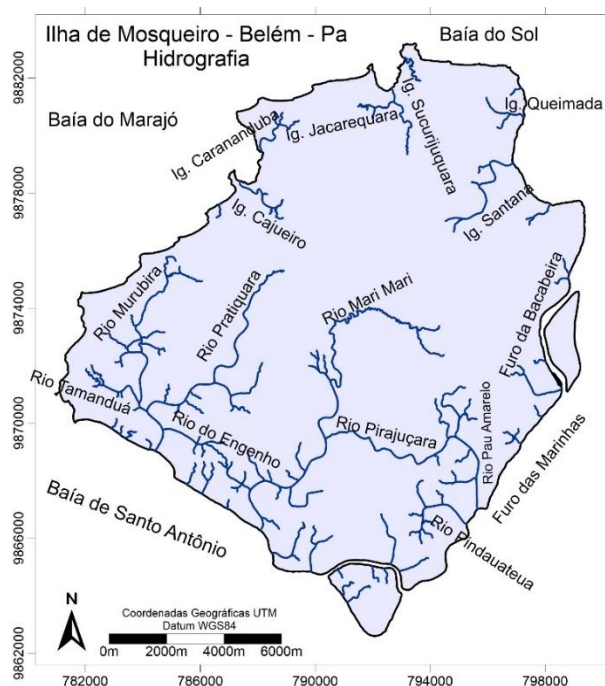


Figura 3. Mapa de distribuição dos principais cursos d'água da ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.

4.2.3 Ondas

As ondas são importantes agentes que atuam no retrabalhamento dos sedimentos trazidos pelas correntes de maré, ou dos que resultaram da erosão costeira pela sua ação abrasiva nas falésias, promontórios rochosos e face praial. As ondas são consideradas um dos principais agentes dos processos responsáveis pelas modificações no ambiente praial (Davis 1985, Bird 2008).

As variações morfológicas que ocorrem nas praias resultam das mudanças sazonais na energia das ondas, com alargamento da face praial principalmente no verão/período menos chuvoso amazônico (típico dessa estação), devido a maior ocorrência de ondas de baixa energia, e com deposição de sedimentos na região emersa da praia. Com o aumento na frequência e energia das ondas, tende a ocorrer estreitamento da praia e a formação de escarpas íngremes (maior ocorrência no inverno/período chuvoso amazônico). Essas ondas retiram sedimentos da parte emersa e os depositam na parte submersa da praia (Silva *et al.* 2020).

As ondas são o agente modificador secundário da Ilha de Mosqueiro (principal agente modificador é a maré) e essas possuem baixa energia com alturas de 0,35-0,6m (Valente 2019).

No estudo de El-Robrini (2001), os sedimentos coletados em oito praias de Mosqueiro apresentaram variedade granulométrica com predomínio de areia média, justificada pela baixa energia de ondas (H_b médio=0,8 m), o que favorece a pouca remoção de sedimentos de maior granulometria. Também foi verificado a inexistência de ondas de swell longas e ocorrência de alturas de ondas significativas (H_b) maiores que 1 m durante preamares.

4.2.4 Marés

A Ilha de Mosqueiro é dominada por mesomarés semidiurna, nessas ocorrem duas preamares (PM) e duas baixamares (BM) no período de um dia lunar (com duração de 24 h e 50 min), o intervalo entre uma PM e uma BM é de aproximadamente 6 horas. As praias da ilha sofrem variação média de marés de 3,5 m na sizígia e 1,4 m na quadratura. As amplitudes máximas registradas ocorrem durante marés de Sizígia (Lua cheia e Lua nova) e as menores amplitudes em marés de quadratura (Lua Quarto Minguante e Lua Crescente) (Alves 2002).

4.2.5 Corrente de marés

As principais correntes que atuam na costa Paraense são as correntes de maré. Durante os períodos de maré de sizígia estas correntes podem atingir a velocidade máxima de 2,8 nós (1,44 m/s) e mínima de 2,2 nós (1,13 m/s), enquanto nas marés de quadratura, a velocidade máxima é de 1,48 nós (0,76 m/s) e mínima de 1,16 nós (0,59 m/s) (Carvalho 2003). As direções das correntes podem indicar a direção de transportes (Héquette *et al.* 2008).

Rosário (2016) realizou medições de correntes de maré em dois períodos distintos no Rio Pará, onde situa-se a Ilha de Mosqueiro (margem leste deste estuário). Durante o período de baixa descarga, a máxima velocidade de corrente vazante foi 1,64 m/s e a máxima velocidade de enchente foi de -1,76 m/s (o sinal negativo indica sentido a montante do rio). Já no período de alta descarga, a máxima velocidade de corrente vazante foi de 1,3 m/s e a máxima corrente de enchente foi de -1,6 m/s.

4.2.6 Vegetação

Na vegetação da Ilha de Mosqueiro observa-se uma relação com os dois domínios geomorfológicos presentes. De forma que nos Terraços Aluviais Pleistocênicos possui espécies arbóreas de grande porte (mata de terra firme) e de menor porte. E na Planície Aluvial de Inundação predominam as espécies de porte médio (mata de várzea), como as hidrófilas. Enquanto em regiões restritas com maior influência salina estão presentes os mangues: vermelho, tamanqueiro, siriúba, mangerana e rama (Silva 1975).

4.2.7 Geomorfologia e geologia

A geomorfologia presente na Ilha de Mosqueiro contém duas unidades regionais (Silva 1975) (Figura 4):

- a) Terraços Aluviais Pleistocênicos: constituídos por latossolos amarelos álicos de textura média, areias quartzosas álicas, materiais concrecionários laterítico sálicos de textura argilosa, podzólicos vermelho-amarelados álicos de textura argilosa e podzóis hidromórficos de textura arenosa, situados a N-NE.
- b) Planície Aluvial de Inundação (Holocênica): Latossolo amarelado com textura média, concrecionário laterítico de textura argilosa, areia quartzosa e podzólico vermelho-amarelo de textura argilosa, podzol hidromórfico de textura arenosa, clay pouco húmico com textura argilosa e hidromórficos indiscriminados, situadas a S-SE.

Segundo Sales (2005), no entorno da ilha estão presentes pontais rochosos e enseadas, sendo que em algumas destas ocorrem falésias, que estão susceptíveis a intensa ação erosiva. Além da presença de falésias também ocorrem acumulação de formas agradativas de relevo (superfícies topográficas de acumulação relativamente planas e/ou inclinadas, desenvolvidas em cotas inferiores a 5 m, onde são frequentes os bancos arenosos com estratificação cruzada de baixo ângulo e de formatos semilunares ao longo da praia).

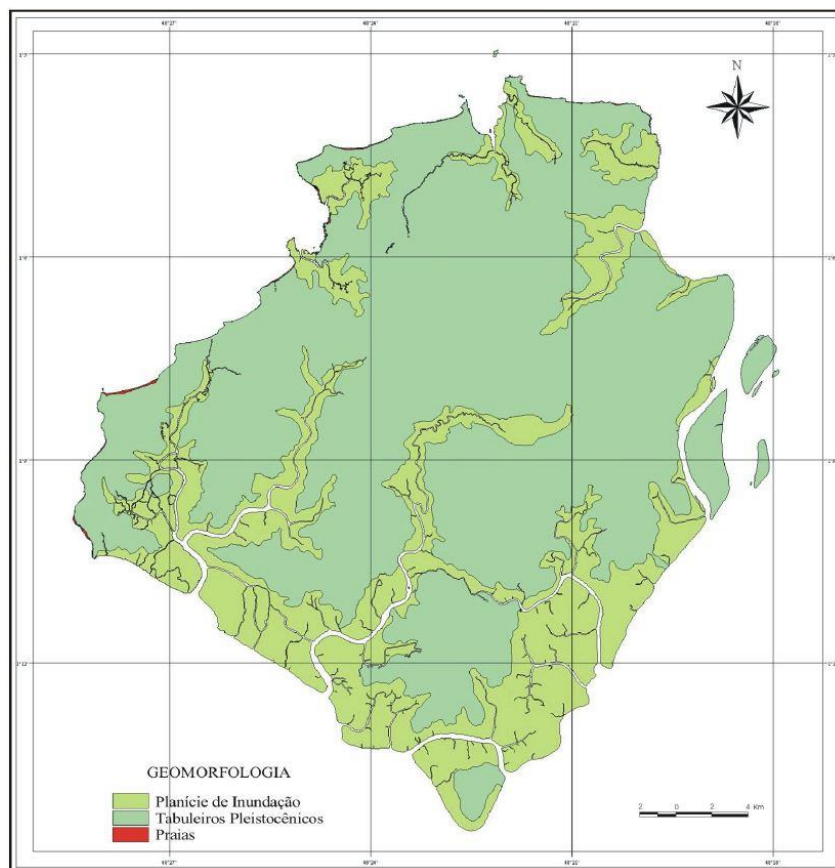


Figura 4. Mapa geomorfológico da ilha de Mosqueiro. Fonte: Sales 2005.

A Ilha exibe terraços rochosos constituídos pelos sedimentos dos grupos Barreiras e Pós-Barreiras, que possuem topo aplainado, com altitudes médias de 10 m e declives muito suaves. Em regiões internas mais protegidas podem ser encontrados mangues e planícies de inundação. Também é possível verificar registros de paleomangues, segundo o mesmo autor.

Ainda segundo o mesmo autor, a formação de estruturas romboédricas transtensivas, representadas por falhas transcorrentes dextrais de direção E-W, induzidas pelo deslocamento da Placa Sul-Americana para oeste (Hasui 1990), interligadas a falhas normais NW-SE, NNW-SSE e N-S ocorrido durante o Pleistoceno-Holoceno, permitiu o desenvolvimento de bacias de afastamento (Costa *et al.* 1996), afetando o desenvolvimento das sequências sedimentares, redes de drenagem e feições naturais regionais, bem como a abertura da Baía de Marajó.

A descrição de falhas na região da Ilha de Mosqueiro é feita nos trabalhos de Katzer (1933), Costa & El-Robrini (1992), Borges *et al.* (1997) e, recentemente, Sales (2005). Dentre estes, Igreja *et al.* (1990) definiu duas direções principais de falhamentos (Figura 5): a) Falhas Transcorrentes caracterizadas por movimentos horizontais, o qual influenciou na formação de promontórios, enseadas e também à delimitação das praias arenosas com o planalto costeiro em

grande parte da zona costeira.; b) Falhas Normais apresentando ruptura vertical ou quase vertical, associadas a formação das falésias que devido a sua formação sedimentar (Grupo Barreiras) estão susceptíveis à erosão costeira (El-Robrini *et al.* 2006).

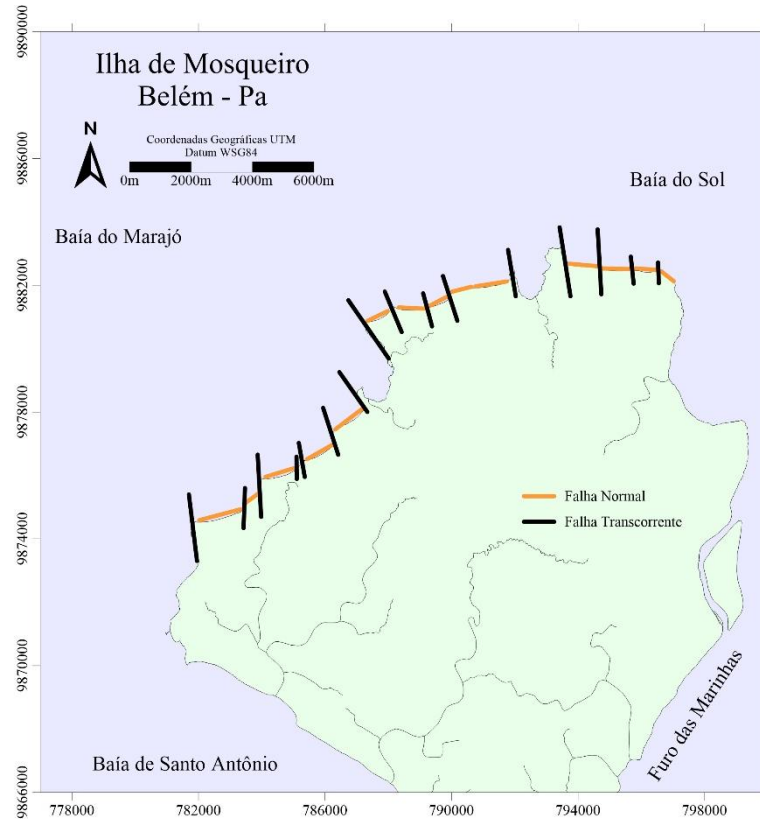


Figura 5. Orientação das falhas na Ilha de Mosqueiro (Adaptado de Palheta 2008). Fonte: Autor.

As falésias são importantes feições geomorfológicas que estão presentes na Ilha, direcionadas para as baías de Marajó e do Sol. As falésias possuem escarpas retilíneas e estão posicionadas nas áreas Norte, Noroeste e Oeste da ilha, moldadas em litotipos da Formação Barreiras e Pós-Barreiras. Estas possuem direções: NE-SW, NNW-SSE, NW-SE e W-E (Palheta 2008).

Os estudos de Borges & Angélica (1986) nas falésias de Mosqueiro identificaram três camadas principais (Figura 6) com propriedades distintas:

- Camada Arenosa: É composta predominantemente de sedimentos arenosos, contendo argilas e seixos, com coloração amarelada típica, homogênea e maciça. Esta marca o nível de topo das falésias, onde observa-se a gradação para o húmus.
- Camada Areno-argilosa a Areno-conglomerático: ocorre estratigraficamente acima da camada argilo-arenosa, geralmente sobre o nível goethitizado. É granulosa a conglomerática na base, gradando até níveis areno-argilosos no topo. Possui

laterização mais intensa nesses níveis, com grandes faixas contínuas em quase todas as falésias da Ilha de Mosqueiro.

- c) Camada Argilo-Arenosa: constitui a base das falésias, estando exposta muitas vezes horizontalmente, onde se desenvolvem as praias. Possui predomínio de argila esbranquiçada, com manchas vermelhas, amarelas e roxas. Acima desta ocorre um nível de laterita, denominado como argilito gohetizado de coloração amarelo marrom.

Devido a porção superior das falésias serem constituída de material sedimentar arenoso, sendo esse material pouco coesivo e resistente, ocorre um agravante para a instabilidade costeira, visto que a erosão pluvial se torna facilitada por esse fator (França *et al.* 2020).

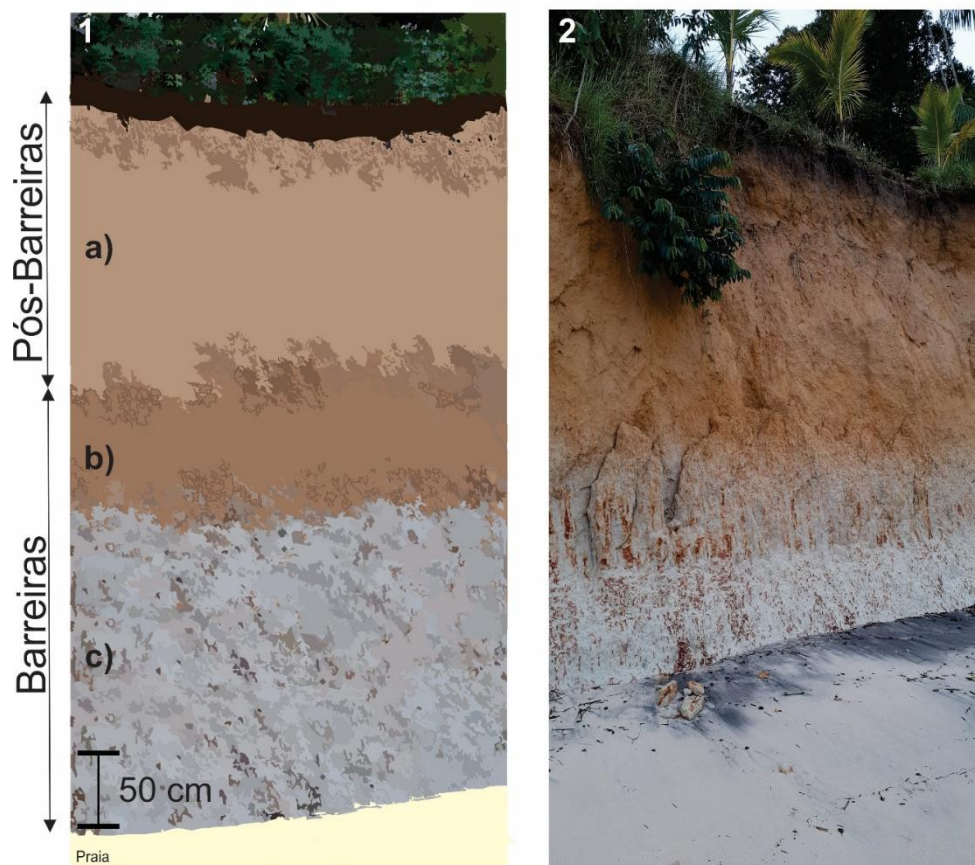


Figura 6. Estratigrafia exposta na falésia da praia do Paraíso. 1) Apresenta 3 camadas distintas: a) Arenosa, b) Areno-argilosa a Areno-conglomerático e, c) Argilo-arenosa; 2) Foto real respectiva a falésia da praia. Fonte: Autor.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa consistiu em (Figura 7): **a)** coleta de dados topográficos e amostragens de sedimentos realizadas nas 16 praias da Ilha de Mosqueiro, dividida em três setores, sendo Setor Norte (Baía do Sol, Bacuri, Paraíso, Caruara e Marahu), Setor Noroeste (Carananduba, São Francisco, Murubira, Ariramba, Porto Artur, Chapéu Virado e Farol) e Setor Oeste (Prainha, Grande, Bispo e Areião); **b)** análise observacional de indicadores ambientais de erosão costeira, tanto *in loco*, como por meio de imagens de satélite; **c)** tratamento de dados coletados em campo e por meio de sensoriamento remoto; **d)** utilização de índice de vulnerabilidade costeira para avaliar a erosão nas praias da ilha e; **e)** identificação de grau de risco nestas praias.

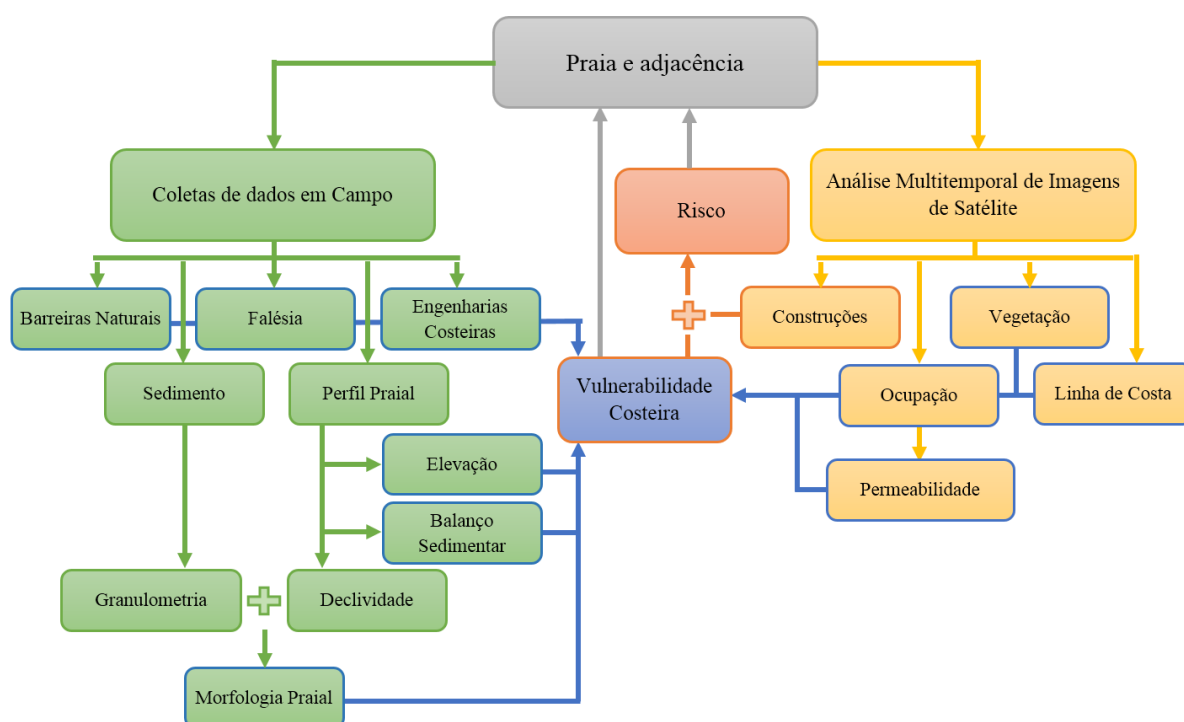


Figura 7. Fluxograma da metodologia aplicada. Fonte: Autor.

5.1 INDICADORES AMBIENTAIS DE EROSÃO COSTEIRA

Para avaliar o índice de vulnerabilidade costeira à erosão das praias da Ilha de Mosqueiro foi utilizado o método modificado de Sousa *et al.* (2013) em que são verificados geoindicadores naturais e antrópicos. Estes foram obtidos tanto em trabalhos de campo, como por meio de sensoriamento remoto.

A aplicação do método por geoindicadores ambientais engloba uma abordagem aos processos erosivos que atuam sobre a vulnerabilidade costeira, na qual são consideradas variáveis costeiras (morfologia de praia, posição da linha costeira, características de falésias, presença de barreiras naturais) e continentais (elevação do terreno, vegetação, estruturas de

engenharia costeira, percentagem de ocupação e permeabilidade do solo) (Tabela 1), descritos a seguir:

Tabela 1. Indicadores de vulnerabilidade aplicados nas praias da Ilha de Mosqueiro. Adaptado de Sousa *et al.* (2013).

Variáveis	Indicadores	Baixo	Moderado	Alto
Costeiro	Morfologia e granulometria da praia (I)	Presença de areia muito fina a média, praia com declividade $<2^\circ$	Presença de areia média, praia com declividade $>2^\circ$	Presença de sedimentos mais grosseiros (areia média a muito grossa), praia com declividade $>4^\circ$
	Balanço sedimentar praial - sazonal (II)	Positivo ($>10\text{m}^3/\text{m}$)	Aproximadamente estável (até $10\text{m}^3/\text{m}$)	Negativo ($>10\text{m}^3/\text{m}$)
	Variação da linha de costa (III)	Avanço ($> 1 \text{ m}$)	Estável (até $\pm 1 \text{ m}$)	Recuo ($> 1 \text{ m}$)
	Falésias (IV)	Presença de falésias inativas, mais de 50% da faixa de pós-praia	Presença de falésias ativas, mais de 50% da faixa de pós-praia	Presença de falésias ativas, menos de 50% ou ausentes no pós-praia
	Barreiras naturais (V)	Presença de barreiras naturais (promontórios, afloramentos rochosos, barra arenosa)	Presença de bancos de areia <i>offshore</i>	Sem obstáculos naturais
Continental	Elevação do terreno (VI)	$>6 \text{ m}$	4-6 m	$<4 \text{ m}$
	Vegetação (VII)	Densa com floresta madura e sem evidências erosivas (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor)	Pouca ou nenhuma vegetação (menos de 50% do pós-praia ou setor)
	Estruturas de engenharia costeira (VIII)	Ausência de estruturas costeiras	Estruturas pequenas ou poucas significativas (menos de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)	Presença de paredões, quebra-mares, molhes, muros de arrimo, etc. (mais de 50% do perfil longitudinal da praia ou setor)

Percentagem de ocupação (IX)	<30%	Entre 30 e 70%	>70%
Permeabilidade do solo (X)	Permeável (>70%) quando há pouca ou nenhuma ocupação	Permeabilidade moderada (de 70 a 30%) quando há densidade média de ocupação / urbanização	Permeabilidade seriamente afetada (<30%) quando há presença de assentamento urbano bem desenvolvido

- *Variáveis Costeiras:*

(I) A morfologia da praia e granulometria dos sedimentos são os indicadores mais importantes, pois auxilia na compreensão dos processos dinâmicos da linha de costa. É o fator resultante de processos hidrodinâmicos, geológicos e climatológicos. Podendo ocorrer em longa ou curta duração, na ordem de metros a quilômetros. Para Komar (1976), a granulometria e a declividade da praia estão diretamente relacionadas. A declividade varia da terra em direção ao mar e está diretamente relacionada ao tamanho dos materiais que a compõem, ou seja, quanto mais grosseiro o sedimento maior será a declividade.

(II) O balanço sedimentar sazonal indica tendência erosiva (balanço negativo) ou deposicional (balanço positivo) na praia ao longo do ano, envolvendo as estações climáticas de uma região; sendo calculado por meio do volume sedimentar (m^3/m) obtido pela sobreposição de perfis topográficos medidos em praia.

(III) A posição da linha de costa sofre constantes alterações, sendo que estas podem ser intensas ou insignificantes. E podem ser mensuradas pela avaliação das alterações históricas do ambiente praial por sensoriamento remoto. Utilizou-se nesta pesquisa a referência de 1 metro para mais (avanço costeiro) ou para menos (recoo costeiro) na Ilha de Mosqueiro, para o intervalo de mais de uma década, por se tratar de um local margeado por praias estuarinas com falésias, em sua maioria, que as torna mais resistentes às variações bruscas de vários metros.

(IV) As falésias atuam como barreiras naturais que protegem a zona costeira contra os agentes hidrodinâmicos, funcionam como fontes de sedimentos e proteção para as praias adjacentes. Embora a presença de falésias ativas represente um indicador potencial de erosão, a ausência delas implica num avanço ainda maior da erosão em direção ao pós-praia.

(V) As barreiras naturais atuam como proteção da praia contra a erosão. Para isso é necessário observar sua presença, na forma de promontórios ou afloramentos rochosos – mais resistente –, ou bancos de areia *offshore* – menos resistentes, ou mesmo a ausência de ambos.

- *Variáveis Continentais:*

(VI) A elevação do terreno está relacionada ao alcance da ação das ondas e subida do nível do mar. Por exemplo, uma região com elevação acima de 6 m será mais improvável de sofrer inundações causadas por períodos de maré alta acompanhados de eventos mais energéticos, enquanto terrenos com elevação abaixo de 3 m estão mais suscetíveis à esta ação.

(VII) A existência de vegetação (rasteira, arbustiva ou arbórea) na zona de pós-praia representa um indicador de estabilidade do solo, pois sua presença funciona como retentora de sedimentos. Além disso, quando arbórea com copas altas e bem desenvolvidas sugere um cenário de baixa erosão, enquanto a ocorrência de raízes expostas e árvores inclinadas sugerem processo de erosão em curso.

(VIII) Estruturas de engenharia costeira são bastante utilizadas para minimizar impactos na linha de costa contra a erosão. Embora providencie a proteção em curto prazo, elas muitas vezes representam áreas de possível instabilidade para projeções futuras, pois podem causar mudanças na circulação de células (correntes) costeiras e, conseqüentemente, alterar área antes de erosão ou deposição.

(IX) A ocupação pode causar severos danos para a costa intensificando os processos erosivos, como por exemplo, a construção de alvenarias em locais impróprios, que desencadeia mudanças no balanço sedimentar, além de serem afetadas com a elevação do nível do mar local.

(X) A permeabilidade do solo é um indicador que está inversamente relacionado ao percentual de ocupação. Locais onde o solo foi impermeabilizado devido as construções ou implementação de pavimento (asfáltico ou de concreto), possuem maiores riscos devido ao fluxo canalizado de água, provocando lixiviação ou intensa erosão em áreas antes protegidas por vegetação. Uma percentagem de ocupação menor que 30% possui permeabilidade do solo maior que 70% (Sousa *et al.* 2013).

Todas as variáveis citadas anteriormente foram observadas em todas as praias, aqui analisadas, por meio do *checklist* dos geoindicadores (Tabela 1). O índice de vulnerabilidade costeira foi adquirido por meio da equação (4) proposta por Sousa *et al.* (2013).

5.2 TRABALHOS DE CAMPO

A aquisição de dados em campo foi realizada nos dias 23 a 25 de maio, durante a estação mais chuvosa e, 5 a 8 de outubro, na estação menos chuvosa (também conhecida como período seco), ambas durante o ano de 2021. Na qual ocorreram em todas as praias do presente estudo: a) Medições topográficas, de largura praial e altura de falésias; coleta de sedimentos superficiais e avaliação dos geoindicadores ambientais citados anteriormente.

5.2.1 Medições topográficas, largura praial e altura de falésias

As medições dos perfis topográficos ocorreram durante a maré baixa de sizígia com auxílio do equipamento Estação Total (marca *Topcon* ES105), cedido pelo Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido (LAIT/UFPA) (Figura 8). Todos os pontos de identificação dos perfis foram previamente determinados e georreferenciados com auxílio de GPS (*Global Positioning System*). As leituras de cotas topográficas se iniciaram na linha de costa (orla das praias/calçadas, topo de falésias ou 1 m antes da linha de preamar de sizígia, dependendo da praia). Seguiram transversalmente à linha de costa até um pouco além da linha de baixa-mar (nível mínimo da maré). Cada levantamento topográfico foi vinculado a um ponto estável georreferenciado (lugar fixo pouco provável de alteração).



Figura 8. Medição topográfica utilizando Estação Total. Fonte: Autor.

Destaca-se que os dados topográficos das praias permitem analisar as alterações morfológicas e compreender o dinamismo destas áreas, possibilitando diagnosticar feições erosivas e deposicionais, ou tendência à erosão e à deposição sedimentar. Além de agregar nos perfis, a fisiografia das estruturas oriundas da interferência humana, como calçadão sobre o

pós-praia, pavimentação de ruas ou outras obras. O levantamento desses dados visa contribuir na elucidação de como a morfologia local interfere sobre a vulnerabilidade costeira.

Através das medições da topografia praial é possível a obtenção dos indicadores “Morfologia da praia”(I), “Balanço Sedimentar” (II), “Elevação do Terreno”(VI), contidos na Tabela 1 e, também o indicativo da presença de falésias (IV).

5.2.2 Coleta de sedimentos superficiais

Os sedimentos foram coletados com auxílio de uma pá e armazenados em sacos plásticos previamente etiquetados para posterior análise em laboratório. As amostras sedimentares foram coletadas simultaneamente à realização dos perfis topográficos (Figura 9), nas zonas de supramaré, intermaré e inframaré, em que foram utilizados como base para verificar como a sedimentação na praia se apresenta mediante a atuação dos agentes naturais (ex.: corrente de maré, onda).

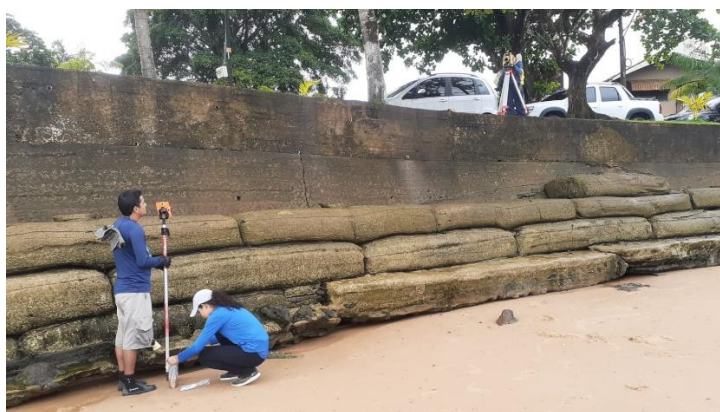


Figura 9. Coleta de sedimentos e medição topográfica realizadas simultaneamente. Fonte: Autor.

5.3 ANÁLISE LABORATORIAL

5.3.1 Análise sedimentológica

O sedimento superficial coletado (200g) foi submetido à lavagem e secagem. Após essa etapa, 100g de amostra tratada e quarteada foi peneirada nas malhas do intervalo de 2 a 0.063 mm, seguindo o método clássico de peneiramento à seco (Suguio 1973). As frações foram separadas de acordo com a escala $\frac{1}{2} \phi$ (phi) da classificação de Wentworth (1922) e pesadas em balança de precisão, obtendo as porcentagens relativas de abundância. A análise estatística granulométrica foi feita utilizando o *software Sysgran*, para obtenção da média, seleção de acordo com Folk & Ward (1957).

Pela verificação de tendência granulométrica pode-se inferir as características deposicionais ou erosionais de distintas áreas do ambiente praial. Desta forma, os resultados

aqui obtidos interferem e integram no indicador “Morfologia e granulometria da praia” (indicador 1 da Tabela 1).

5.4 ANÁLISE DE DADOS

5.4.1 Morfologia praial

Os dados dos perfis topográficos foram processados nos softwares *Microsoft Office Excel* e inseridos no *Grapher 19* da *Golden Software*, para representação gráfica da morfologia da praia e pós-praia.

Parâmetros morfométricos sugeridos por Short & Hesp (1982) também foram calculados no *Excel*, sendo eles: declividade da praia (β) e largura da praia (Y_b).

O parâmetro de declividade praial (β) é calculado a partir da tangente de β ($Tg\beta$) pela seguinte fórmula (Equação 1):

$$Tg\beta = \frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Cateto Adjacente}} \quad (1)$$

Onde:

Cateto Oposto equivale a altura do perfil;

Cateto Adjacente equivale a distância do perfil.

O valor de declividade da face praial (β) obtido foi usado também para averiguar o estado morfodinâmico de praias no modelo de Sazaki (1980), que se baseia nas características desses estados (declive praial $< 2^\circ$: praia dissipativa; entre 2° a 4° : praia intermediária; $> 4^\circ$ praia refletiva). Comumente esse modelo é útil quando os dados de clima de ondas não estão disponíveis.

5.4.2 Variação da linha de costa

As imagens de satélite utilizadas neste trabalho foram obtidas gratuitamente no site do *United States Geological Survey* (USGS) “<https://earthexplorer.usgs.gov/>”, em que foram selecionadas as dos anos de 2006 (Landsat 4-5/TM), 2013 e 2020 (Landsat 8/OLI), adquiridas previamente ortorretificadas (Tabela 2), visando a quantificação de alterações ocorridas na linha de costa (LC), em períodos superiores e inferiores a uma década, escolhendo-se as imagens que oferecesse melhor visualização do espaço e com baixa cobertura de nuvens e processadas com o uso de sistemas de informações geográficas (SIG's).

Tabela 2. Informações das imagens de satélite utilizadas na análise da dinâmica da linha de costa das praias da Ilha de Mosqueiro.

Data de aquisição	Satélite	Sensor	Resolução espacial (m)	Bandas (RGB)
09/08/2006	Landsat 5	Landsat Thematic Mapper (TM)	30	7, 5 e 3
27/07/2013	Landsat 8	OLI/OLI-2 Multispectral bands	30	4, 3 e 2
		OLI/OLI-2 panchromatic band	15	
14/07/2020	Landsat 8	OLI/OLI-2 Multispectral bands	30	4, 3 e 2
		OLI/OLI-2 panchromatic band	15	

O processamento das imagens de satélite foi realizado no software *ArcGIS* 10.5, as imagens foram reprojatadas para o sistema Universal Transverse Mercator (UTM), Zona 22S, Datum WGS-1984 e registradas. Tendo em vista o erro obtido durante o processo de georreferenciamento, determinou-se a partir de regra de três simples a margem de erro geométrico individual para cada imagem e de erro geométrico cumulativo por período analisado, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Margem de erro geométrico individual e cumulativo das imagens processadas.

Ano de Aquisição da Imagem	Erro Geométrico Individual				Erro Geométrico Cumulativo		
	Resolução (m)	RMSE* (pixel)	Erro (km ²)	Erro Linear (m)	Períodos Analisados	Erro (km ²)	Erro Linear (m)
2006	30	0,16	0,02	4,93	2006-2013	0,08	12,28
2013	15	0,48	0,05	7,33	2006-2020	0,08	12,20
2020	15	0,48	0,05	7,26	2013-2020	0,11	14,60

*RMSE: “Root Mean Square Error” ou Erro médio da raiz quadrada.

As quantificações dos erros da correção geométrica das imagens, previne análises incorretas sobre a erosão e sedimentação costeira, por exemplo, para o período de 2006-2013, mudanças iguais ou menores que 0,08 km² não são consideradas como variações da linha de costa, sendo até este valor consideradas estáveis.

Para digitalizar a LC, utilizou-se: a) a linha limite da vegetação (marcador de mudanças do geoindicador variação da linha de costa) (Morton 1991) em praias e trechos de praia sem falésias e estruturas rígidas artificiais, b) orlas/calçadões em praias ou trechos de praia mais urbanizados e, c) borda superior das falésias em praias ou trechos dela onde essa feição sedimentar ocorre. Em cada imagem foi criado um *shape* referente a linha de costa correspondente a cada ano (2006, 2013 e 2020), cuja finalidade foi verificar a variação entre estes períodos, utilizando-se das funções *merge* e *erase* para obter as áreas de recuo e avanço da linha de costa. Todos os valores das áreas foram obtidos através do cálculo de suas geometrias em m² no próprio *software*.

5.4.3 Percentagem de ocupação

Um dos indicadores para o obter o índice de vulnerabilidade costeira é a percentagem de ocupação (indicador 8 da tabela 1), obtida por meio do processamento das imagens de satélite citadas anteriormente, sendo possível verificar áreas com presença da ocupação humana, e diferenciá-las de áreas naturais de modo a limitar o espaço de interesse para o cálculo. A delimitação sugerida pelo projeto Orla (MMA 2006) se estende da LC identificada até 200 m em direção ao continente, tal limite é considerado o ideal para conservação, sendo uma distância segura na qual haveria recuo da ocupação humana.

Com o uso do software ArcGIS 10.5 foram criados *shapefiles* das áreas analisadas por meio de polígonos, considerando a área total (A_T) em m², se estendendo um pouco além da LC seguindo em direção ao continente (da linha d'água até 200 m) para uma análise que englobasse a ocupação geral da região, áreas urbanas e não urbanas, dentro da área estabelecida de até 200 m.

As formas mais significativas de uso do solo nas proximidades das praias da ilha de Mosqueiro são as edificações (casa, prédios, pousadas, hotéis, estabelecimentos comerciais), ruas e estradas.

Para obter a percentagem de ocupação, primeiramente é necessário realizar o cálculo da área ocupada, adquirida pela soma de todas as variáveis urbanas, pela equação 2:

$$A_o = A_b + A_r + \dots + A_n \quad (2)$$

Onde:

A_o é a área de ocupada (em m²);

A_b é a área de edificações;

A_r é a área das estradas;

A_n é a n-ésima variável que pode ser adicionada.

Tal equação, assim como as demais apresentadas abaixo foram propostas por Sousa *et al.* (2013).

Posteriormente ao cálculo da área ocupada (A_o), o resultado obtido integra a equação da percentagem de ocupação em que (A_T) equivale a área total do espaço que foi delimitado para adquirir as áreas das variáveis urbanas, permitindo assim estimar a percentagem de ocupação (P_o), calculada através da equação 3:

$$P_o = \frac{(A_o \times 100)}{A_T} \quad (3)$$

Onde:

P_o é a percentagem de ocupação (%);

A_T é a área total (m²);

A_o é a área de ocupação (m²).

Após o cálculo da equação 3, é proposto que resultados inferiores a 30% indicam baixa, entre 30% e 70% é moderada e acima de 70% indica alta percentagem de ocupação.

5.4.4 Estruturas de engenharia costeira, vegetação e falésia

Para obter a área total que ocupam as falésias, vegetação e estruturas de engenharia costeiras (de maneira independente) em relação à praia analisada, foi utilizado o software ArcGIS 10.5 a partir da interpretação das imagens de satélite e validação desses dados em campo, posteriormente foram calculadas suas áreas utilizando a equação 4:

$$A = \frac{(E \times 100)}{P} \quad (4)$$

Onde:

A é o total da área que a estrutura, vegetação ou falésia ocupa em relação a praia (%);

E é a área linear da estrutura encontrada sobre a praia (m);

P é a área total linear da praia (m).

Os valores obtidos nos percentuais, como identificado na Tabela 1, são utilizados para obter o índice de vulnerabilidade de cada praia.

5.4.5 Índice de vulnerabilidade

Para classificar as praias quanto a vulnerabilidade à erosão costeira, a partir dos indicadores apresentados na Tabela 1, atribui-se pesos para cada variável na seguinte forma: 0 para baixa, 5 para moderada e 10 para alta vulnerabilidade. Estes dados são calculados de acordo com a equação 5:

$$I = \left(\frac{1}{n_v}\right) \cdot \sum_v \left(\frac{1}{n_i}\right) \cdot \sum_i x_i \quad (5)$$

Onde:

I é a média aritmética das variáveis;

n_v é o número de variáveis;

n_i é o número de indicadores de uma variável;

x_i é a soma dos indicadores.

A partir do cálculo do índice de vulnerabilidade costeira é verificado o resultado da classificação das praias analisadas da ilha de Mosqueiro, conforme Tabela 4 (adaptado de Sousa *et al.* 2013).

Tabela 4. Classificação do índice de vulnerabilidade costeira em: alta, moderada e baixa com seus respectivos valores.

Índice de Vulnerabilidade	
Muito Alta	7,5-10
Alta	5-7,4
Moderada	2,5-4,9
Baixa	0-2,4

5.4.6 Grau de Risco

Na análise do Grau de Risco, deve-se considerar a maior ou menor exposição das estruturas ou da população a eventos que podem causar danos (Dal Cin & Simeoni 1994, Dolan & Walker 2004).

Desta forma, para essa classificação é considerada a vulnerabilidade local (índice de vulnerabilidade costeira) relacionada à posição das construções (residências, comércios, restaurantes bares, prédios), tendo como base sua proximidade com a LC, visto que, quanto mais próximo a ocupação humana estiver de áreas com alta vulnerabilidade costeira, maior será o risco previsto (Lins-de-Barros 2005).

Os dados foram obtidos por meio da observação em campo e análise de imagens de satélite recentes disponíveis, utilizando a ferramenta “régua” presente no *software ArcMap 10.5* onde foi possível medir o posicionamento das construções, definindo-se três posições: mais distante, próximo e muito próximo (Tabela 5).

Tabela 5. Classificação do posicionamento das construções em relação a linha de costa.

Posicionamento das construções – Classificação	
Distante	Construções distantes, a partir de 100 metros da linha de costa
Próximo	Construções próximas, de 50 a 100 metros da linha de costa
Muito Próximo	Construções próximas, em menos 50 metros da linha de costa

Para obter o grau de risco costeiro, são feitas as relações em que o risco é: a) *Acentuado* – se houver vulnerabilidade alta à erosão e construções muito próxima ou próxima da LC; b) *Moderado* – se houver vulnerabilidade moderada à erosão e construções muito próxima ou próxima da LC; c) *Iminente* – se houver vulnerabilidade baixa à erosão e construções próxima da LC; e d) *Sem risco iminente* – se houver baixa vulnerabilidade à erosão e construções distante da LC ou sem ocupação (Tabela 6).

Tabela 6. Grau de risco nas praias e variáveis associadas.

Grau de risco		
<i>Classe de risco</i>	<i>Vulnerabilidade</i>	<i>Posição das Construções*</i>
Acentuado	Alta	Muito próxima ou Próxima
Moderado	Moderada	Muito próxima ou Próxima
Iminente	Baixa	Próxima
Sem risco Iminente	Baixa	Distante ou Sem ocupação

*Em relação à proximidade com a linha de costa.

6 RESULTADOS

6.1 VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

Após o processamento das imagens de satélite e verificado os dados do indicador Variação da Linha de Costa (VLC) (III da tabela 1). Verificou-se que a LC respectiva aos anos de 2006, 2013 e 2020 apresentaram acreção ou erosão como processo costeiro dominante e nenhuma esteve estável (Tabela 7).

Tabela 7. Dados das praias analisadas de acordo com a sua variação de linha de costa entre 2006 e 2020 e sobre o processo costeiro dominante (erosão ou acreção).

Praia	VLC entre 2006 e 2020 (km²)	VLC entre 2006 e 2013 (km²)	VLC entre 2013 e 2020 (km²)	Processo costeiro dominante	Variação da Linha de costa
Areião	29,32	19,45	9,87	Acreção	Avanço
Ariramba	1,83	4,37	-2,54	Acreção	Avanço
Bacuri	1,59	3,19	-1,60	Acreção	Avanço
Baía do Sol	7,09	0,58	6,51	Acreção	Avanço
Bispo	-2,70	5,30	-8,01	Erosão	Recuo
Carananduba	10,16	49,09	-38,94	Acreção	Avanço
Caruara	-4,72	-3,64	-1,08	Erosão	Recuo
Chapéu Virado	1,50	2,97	-1,47	Acreção	Avanço
Farol	5,17	-3,55	8,71	Acreção	Avanço
Grande	-1,17	5,60	-6,77	Erosão	Recuo
Marahu	9,23	-11,67	20,90	Acreção	Avanço
Murubira	1,17	-5,96	7,13	Acreção	Avanço
Paraíso	-2,39	0,16	-2,56	Erosão	Recuo
Porto Arthur	1,55	-2,25	3,80	Acreção	Avanço
Prainha	1,54	12,30	-10,76	Acreção	Avanço
São Francisco	11,01	5,19	5,82	Acreção	Avanço

* VLC: Variação da Linha de Costa

As praias em que a LC recuou entre os anos de 2006 e 2020 (Figura 10) foram: Bispo, Caruara, Grande, Paraíso. As que apresentaram avanço foram a maioria, sendo elas: Areião, Ariramba, Bacuri, Baía do Sol, Carananduba, Chapéu Virado, Farol, Marahu, Murubira, Porto Arthur, Prainha e São Francisco. Destaca-se neste último caso, a praia do Areião, com maior acreção sedimentar e contínuo ganho de área totalizando 29,32 km².

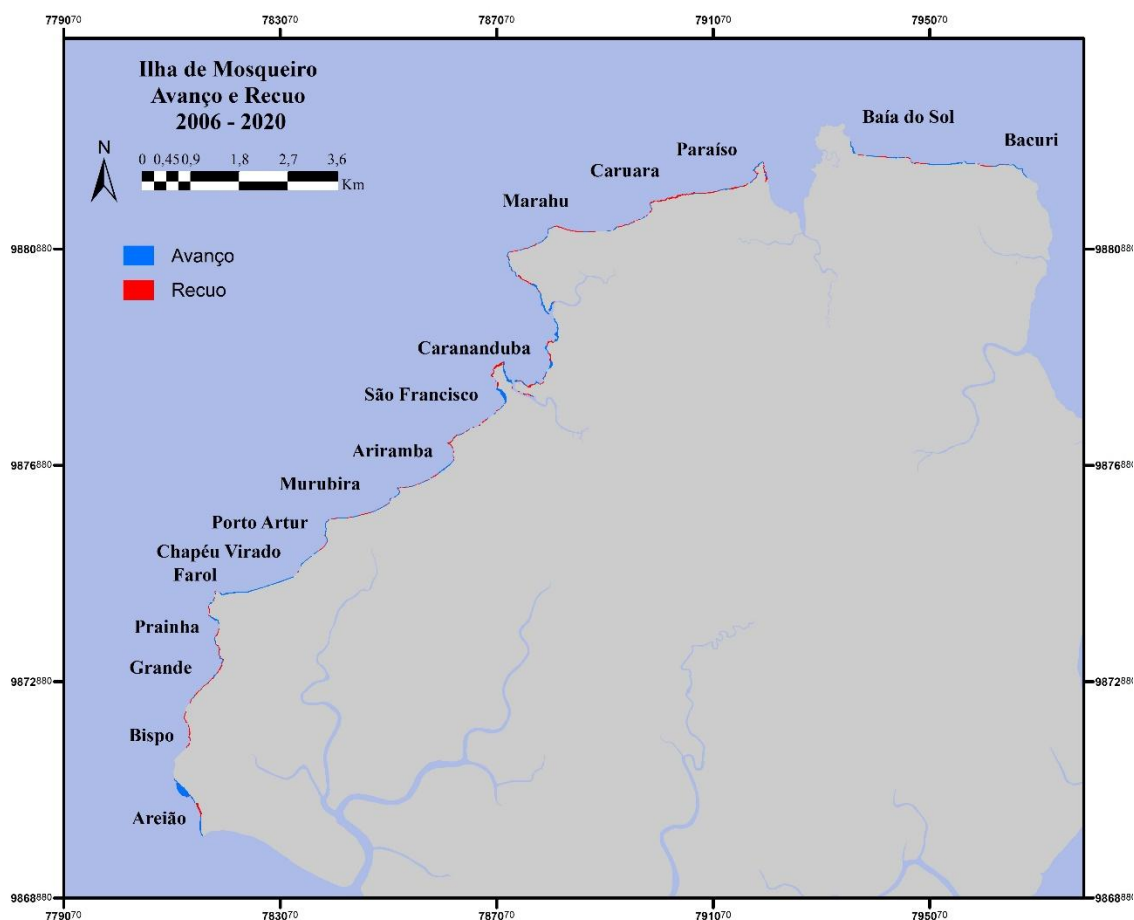


Figura 10. Variação da linha de costa da ilha de Mosqueiro de 2006 para 2020. Avanço (Azul) e Recuo (Vermelho). Fonte: Autor.

Entre os anos de 2006 e 2013 (Figura 11) a maioria das praias apresentaram avanço da LC, exceto: Caruara, Farol, Marahu, Murubira e Porto Arthur. Já entre 2013 e 2020 (Figura 12), a maioria das praias tiveram recuo, estas são: Ariramba, Bacuri, Bispo, Carananduba, Caruara, Chapéu Virado, Grande, Paraíso e Prainha.

De modo geral, é possível observar que em determinados períodos (2006-2013 e 2013-2020) a LC das praias avança e em outros recua, mas ainda assim, em uma escala de tempo maior (2006-2020), a maioria apresentou avanço da LC, que pode ter relação com a implantação de estruturas artificiais de proteção costeira, tanto pelo poder público como pela própria

população no resguardo de suas residências. Neste caso, indica que a LC destas praias apresenta uma menor exposição a erosão costeira, verificando estes resultados dentro do indicador Variação da Linha de Costa.

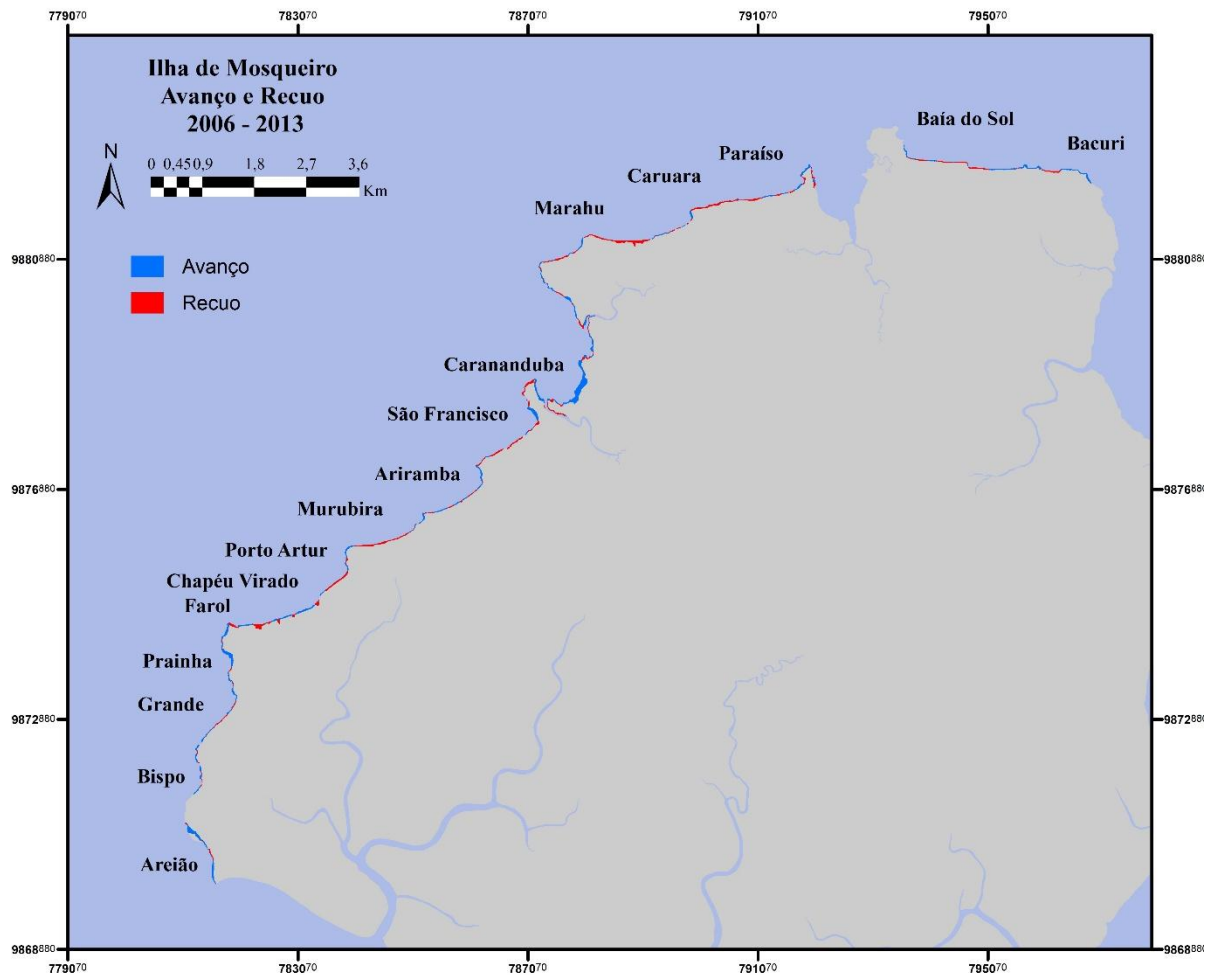


Figura 11. Variação da linha de costa da ilha de Mosqueiro de 2006 para 2013. Avanço (Azul) e Recuo (Vermelho). Fonte: Autor.

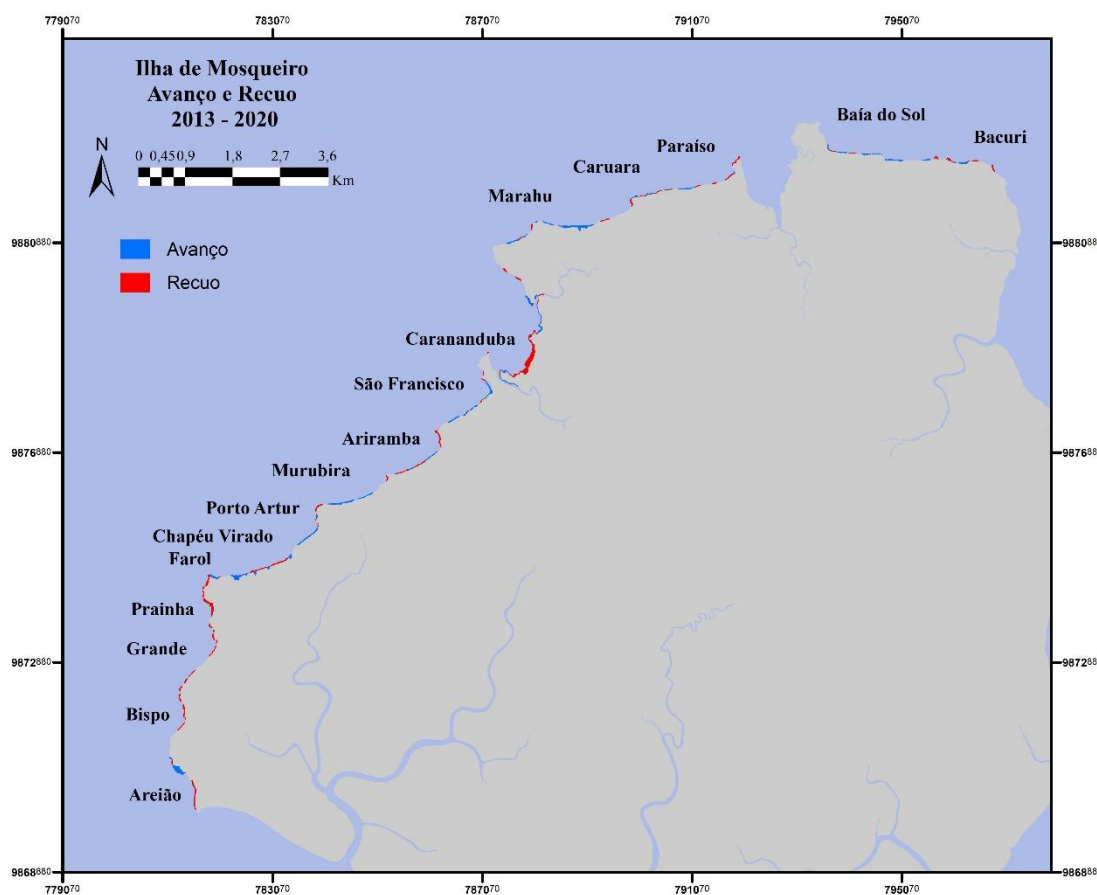


Figura 12. Variação da linha de costa da ilha de Mosqueiro de 2013 para 2020. Avanço (Azul) e Recuo (Vermelho). Fonte: Autor.

6.2 ESTRUTURAS DE ENGENHARIA COSTEIRA, VEGETAÇÃO E FALÉSIA

As estruturas contidas na LC da Ilha, são os muros de arrimo (também podem ser encontrados enrocamentos), as falésias que estão presentes na maioria das praias e a vegetação.

Estruturas de muros de arrimo (Figura 13) distribuídas em menos de 50% do perfil longitudinal são verificadas nas praias: Bacuri, Caruara, Areião (porção norte). A presença de muros de arrimo (mais de 50% do perfil longitudinal), ocorre em: Paraiso, Marahu (porção centro), Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Prainha, Grande e Bispo. Porém ausentes em: Baía do Sol, Marahu (porção leste e oeste), Carananduba, São Francisco, Chapéu Virado, Farol e Areião (porção sul).

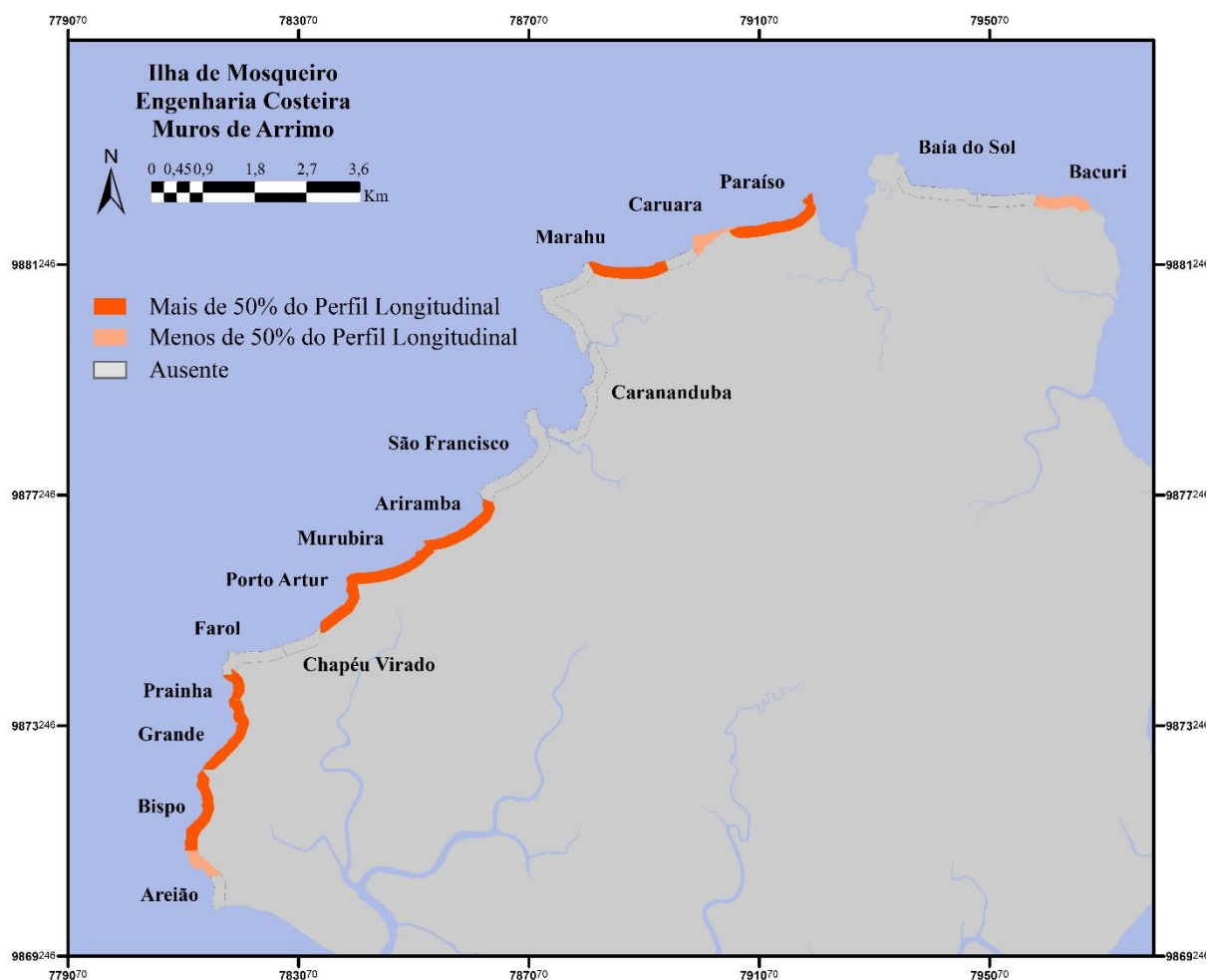


Figura 13. Mapa de Estruturas de engenharia costeira (muro de arrimo e enrocamentos), distribuídas ao longo da LC das praias da Ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.

As falésias ativas (Figura 14) estão distribuídas mais que 50 % longitudinalmente em: Bacuri, Paraíso, Caruara, Marahu (porção leste e oeste), Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Grande, Bispo e Areião (porção norte). As praias que não apresentam esta feição são: Baía do Sol (porção leste), Marahu (porção centro), Carananduba, São Francisco, Chapéu Virado, Farol, Prainha e Areião (porção sul); ou distribuídas em menos de 50 % longitudinalmente, apenas na Baía do Sol (porção oeste). Para menos de 50 % (ou ausentes) e mais de 50 % de falésias na LC, o índice obtido (Tabela 1) foi alto e moderado, respectivamente.

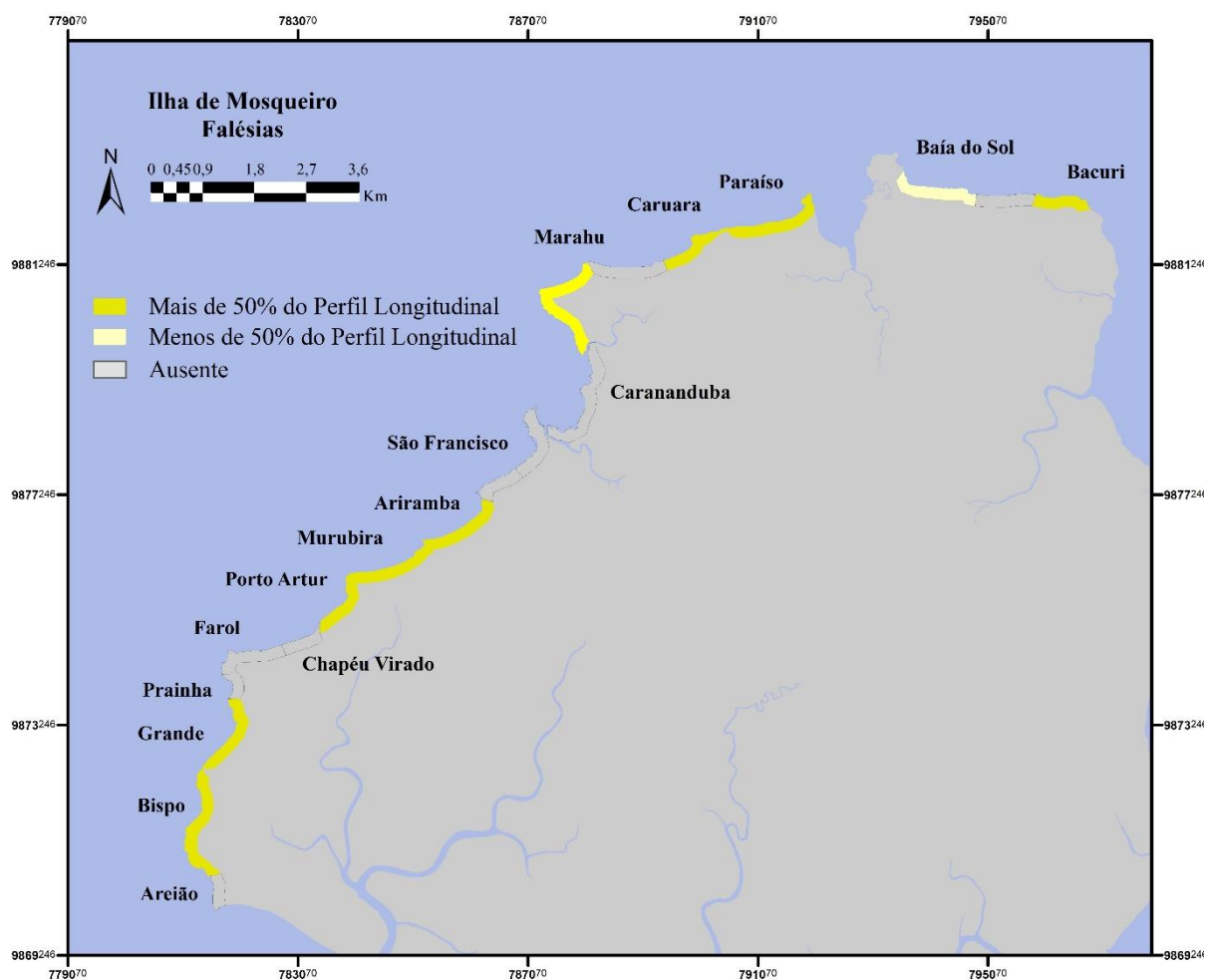


Figura 14. Mapa de Falésias, distribuídas ao longo da LC das praias da Ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.

A vegetação (Figura 15) na maioria das praias foi classificada como bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor). Porém, esteve pouco ou sem vegetação em: Bacuri, Marahu (porção centro), Porto Arthur e Bispo (porção sul). Diferente da praia da Baía do Sol, que foi a única com densa e arbórea vegetação. Nota-se que a vegetação nas praias da Ilha de Mosqueiro é mais abundante no setor norte, principalmente arbórea, enquanto nos setores noroeste e oeste é mais espaça.

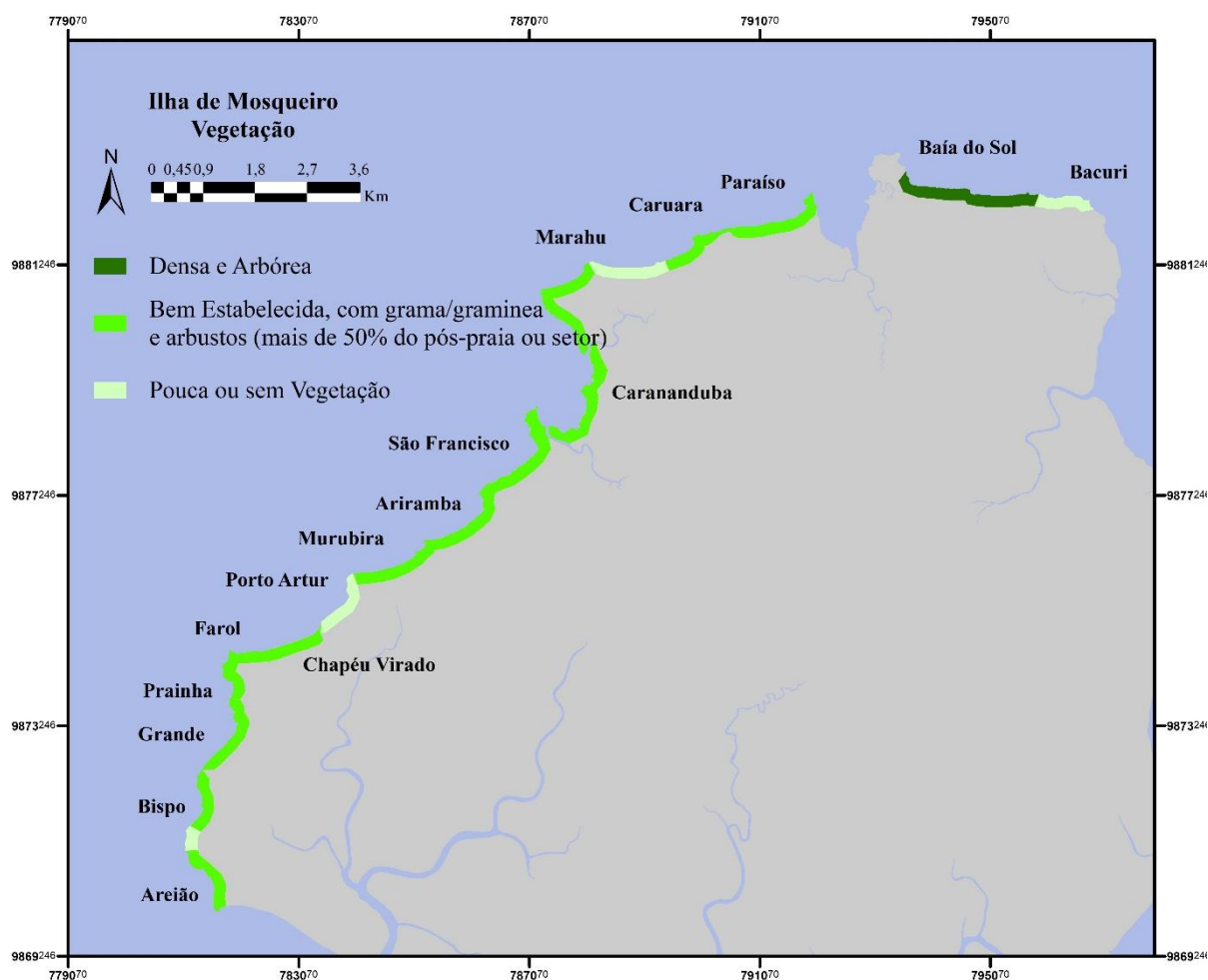


Figura 15. Mapa de vegetação, distribuídas ao longo da LC das praias da Ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.

6.3 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE E INDICADORES

Para melhor descrever e compreender a vulnerabilidade costeira nas praias da ilha de Mosqueiro, os resultados serão apresentados por praia, divididas entre os setores Norte, Noroeste e Oeste respectivamente:

6.3.1 Setor Norte:

6.3.1.1 Praia do Bacuri

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) obtido foi 5 sendo classificada como Alta vulnerabilidade (Tabela 8). A morfologia da praia (Figura 16) foi expressa por perfil com extensão de 61,3 m e declividade de 2° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 60 m e 2°, respectivamente. O balanço sedimentar praiial (sazonal) foi positivo com 21,48 m³/m (> 10 m³/m), e a granulometria foi de areia média, em ambos os períodos. A praia (Figura 17) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 8. Índice de Vulnerabilidade da praia do Bacuri, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Indicador										IVC	Classificação do IVC
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	5	Alta
5	0	0	5	0	5	10	5	10	10		

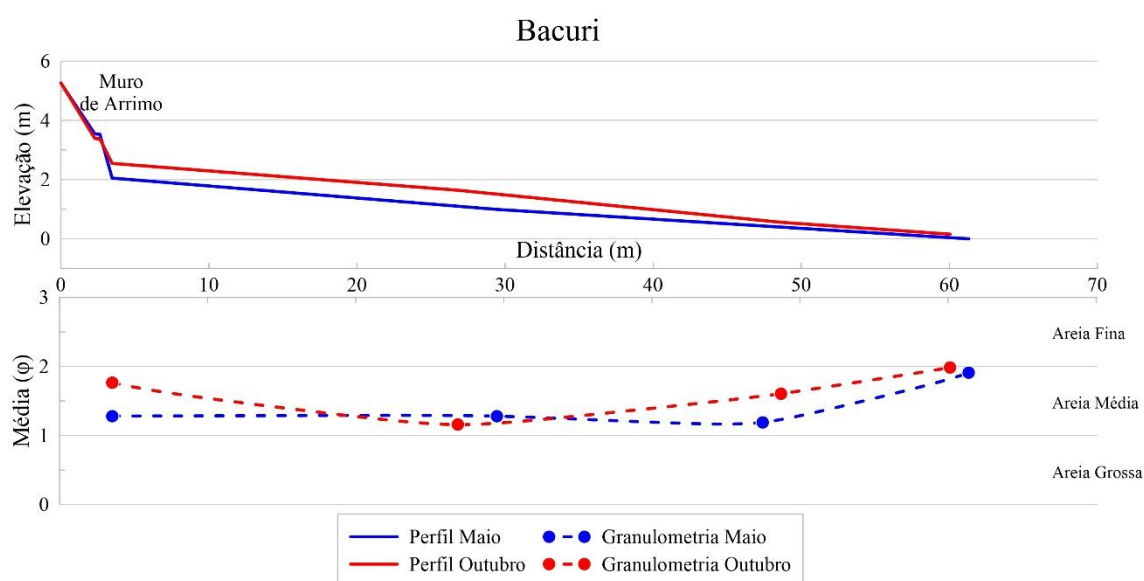


Figura 16. Praia do Bacuri: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 17. Local do perfil da praia do Bacuri. Fonte: Autor.

Os únicos obstáculos naturais são os promontórios que delimitam a praia e separa esta da praia da Baía do Sol. Porém, esta praia possui estrutura artificial de proteção costeira (muro de arrimo) em menos de 50% do seu perfil longitudinal.

O terreno possui elevações de ~4 m. Apresenta falésia com mais de 50% do perfil longitudinal, recoberta por material impermeável do muro de arrimo (menos de 50% do perfil longitudinal). A vegetação é pouca (menos de 50% do pós-praia ou setor), com algumas árvores, quase inexistente.

A percentagem de ocupação próximo à LC é alta, maior que 70% (75% no ano 2006 que diminuiu para 74% no ano de 2020). Possui em sua área ocupações bem próximas a praia e devido a esse fator, essas casas se tornaram ainda mais expostas aos processos erosivos. Devido a isto a permeabilidade do solo (<30%) é seriamente afetada pela ocupação, com assentamento urbano bem desenvolvido.

6.3.1.2 Praia da Baía do Sol

O IVC obtido foi 3,5 e 2,5 sendo, portanto, classificada como moderada vulnerabilidade (Tabela 9), para a região leste e oeste. Para morfologia praial (Figura 18) foram levantados dois perfis topográficos, um ao leste e outro ao oeste, o primeiro apresentou extensão de 63,85 m e declividade de 5° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 54,5 m e 6°, respectivamente. O segundo apresentou extensão de 90,7 m e declividade de 3° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 85,8 m e 3°, respectivamente. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi

aproximadamente estável ($8,91 \text{ m}^3/\text{m}$) e positivo ($18,59 \text{ m}^3/\text{m}$), na porção leste e oeste, respectivamente, e a granulometria foi de areia média, em ambos os períodos. A praia (Figura 19) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 9. Índice de Vulnerabilidade da praia do Baía do Sol, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Porção	Indicador										IVC	Classificação do IVC
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Leste	10	5	0	10	0	0	0	0	5	5	3,5	Moderada
Oeste	5	0	0	10	0	0	0	0	5	5	2,5	Moderada

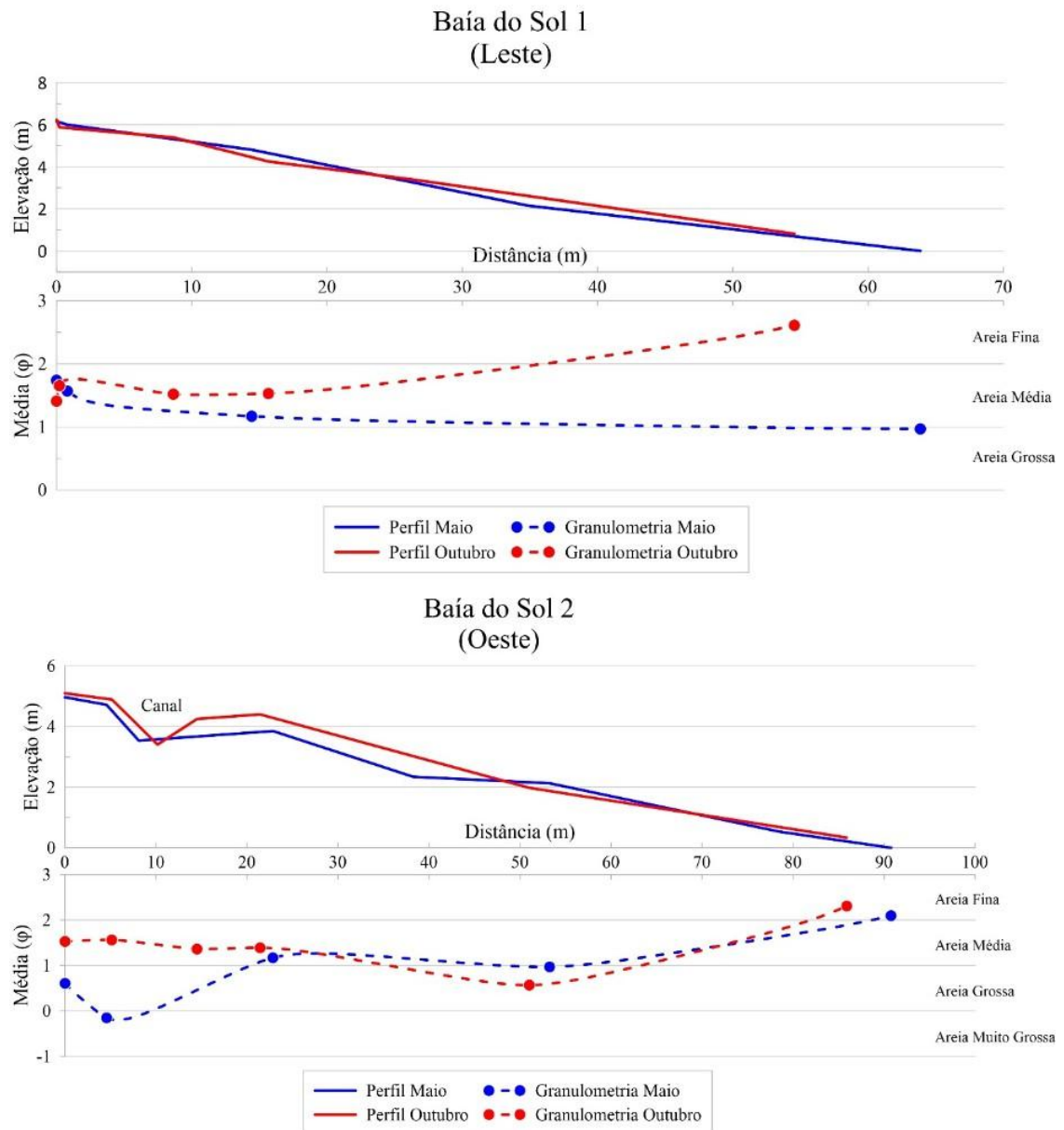


Figura 18. Praia da Baía do Sol (porção leste e oeste): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 19. Locais dos perfis da praia do Baía do sol, porção: a) leste e b) oeste. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios rochosos, barra arenosa e falésia (presente no oeste em menos de 50% do pós-praia e ausente no leste) como obstáculos naturais que acabam absorvendo a energia das ondas. O terreno possui elevações de ~ 6 e 8 m, na porção leste e oeste, respectivamente. A praia não possui estruturas de muro de arrimo. A vegetação é densa e arbórea e ocupa grande parte da região (mais de 50% do pós-praia).

A percentagem de ocupação próxima à LC é moderada, varia entre 30 e 70%. A maioria está adjacente à praia, além de existirem empreendimentos como bares e restaurantes. Devido a isto, o solo possui permeabilidade moderada (de 30 a 70% devido a média ocupação).

6.3.1.3 Praia do Paraíso

O IVC obtido foi 5,5 5 e 5, sendo, portanto, classificada como alta vulnerabilidade (Tabela 10), para a região leste, centro e oeste. Para morfologia praial (Figura 20) foram levantados três perfis topográficos: leste, centro e oeste. Morfologia do perfil leste: extensão de

87,3 m e declividade de 3° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 72,5 m e 3°, respectivamente. Perfil centro: extensão de 77,5 m e declividade de 2° durante o período chuvoso e, no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 77 m e 2°, respectivamente. Perfil oeste: extensão de 78 m e declividade de 4° durante o período chuvoso e menos chuvoso. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi negativo (-14,90 m³/m), aproximadamente estável (0,29 m³/m) e positivo (11,65 m³/m), para as porções leste, centro e oeste, respectivamente; a granulometria foi de areia média, em ambos os períodos. A praia (Figura 21) apresentou recuo (erosão sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 10. Índice de Vulnerabilidade da praia do Paraíso, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Porção	Indicador										IVC	Classificação
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Leste	5	10	10	5	0	0	5	10	5	5	5,5	Ata
Centro	5	5	10	5	0	0	5	10	5	5	5	Alta
Oeste	10	0	10	5	0	0	5	10	5	5	5	Alta

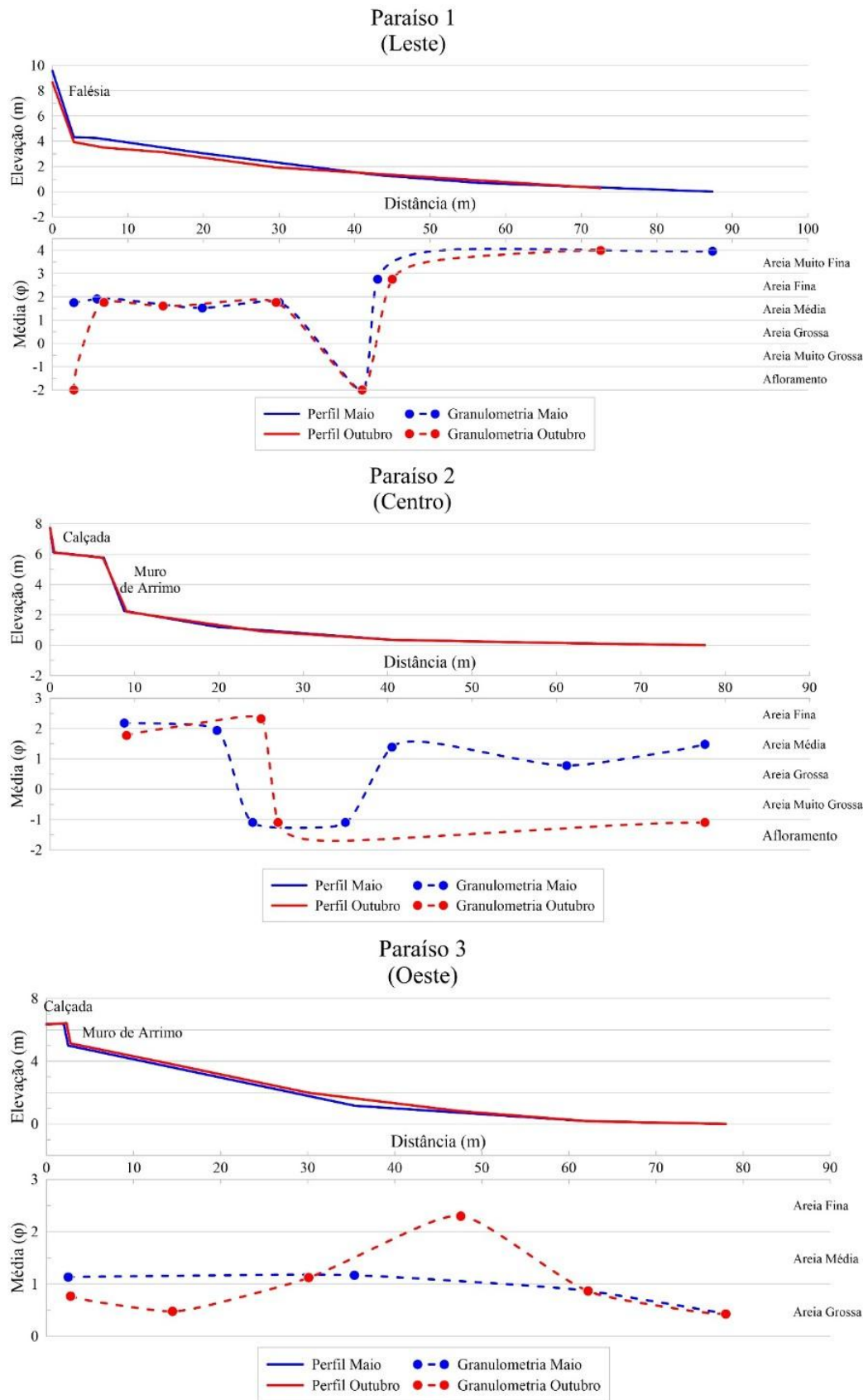


Figura 20. Praia do Paraíso (porção leste, centro e oeste): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 21. Locais dos perfis da praia do Paraíso, porção: a) leste, b) centro e c) oeste. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios, afloramentos rochosos e falésias ativas (mais de 50% da faixa do pós-praia) como obstáculos naturais que reduzem a energia das ondas. Além disso, na maior parte de sua extensão foi construído muro de arrimo (mais de 50% do perfil longitudinal) para conter a erosão, sendo a parte central a que mais houve avanço da estrutura artificial sobre a praia, essa é a região mais susceptível às ondas e efeitos da erosão, por isso é recorrente a

realização de obras para o reparo de áreas afetadas da orla. O terreno possui elevação de aproximadamente 8, 7 e 6 m para as porções leste, centro e oeste respectivamente. A vegetação é bem estabelecida com gramas e arbustos (mais de 50% do pós-praia) e, também árvores de grande porte.

A percentagem de ocupação próximo à LC é moderada, entre 30 e 70 % (46% no ano 2006 com aumento para 59% em 2020). Casas localizadas próximo a praia, presença de grandes hotéis, bares e restaurantes às margens da praia contemplam a paisagem local. Devido a isto, a permeabilidade do solo é moderada (de 70 a 30%), devido a densidade média de ocupação.

6.3.1.4 Praia do Caruara

O IVC obtido foi 4,5 sendo, portanto, classificada como moderada vulnerabilidade (Tabela 11), a morfologia da praia (Figura 22) foi expressa por perfil com extensão de 72,6 m e declividade de 4° durante o período chuvoso, já no menos chuvoso a largura e a declividade foram de 70,6 m e 4°, respectivamente. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi positivo (16,30 m³/m) e a granulometria foi de areia média, em ambos os períodos. A praia (Figura 23) apresentou recuo (erosão) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 11. Índice de Vulnerabilidade da praia do Caruara, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Indicador										IVC	Classificação do IVC
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	4,5	Moderada
5	0	10	5	0	5	5	5	5	5		

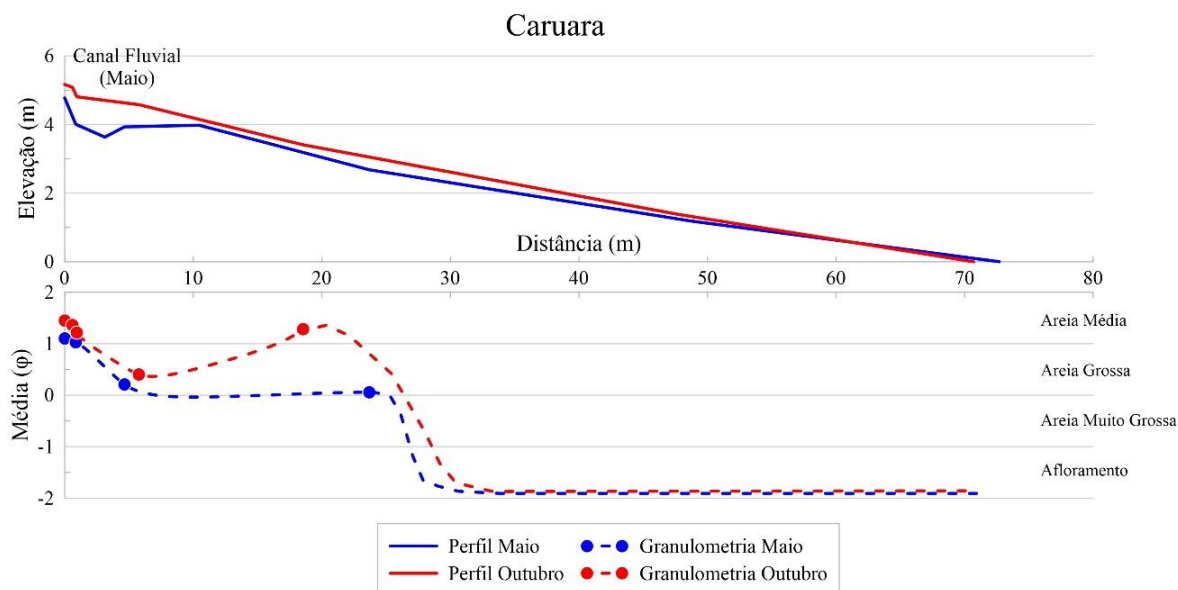


Figura 22. Praia do Caruara: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 23. Local do perfil da praia do Caruara. Fonte: Autor.

A praia possui pontais, afloramentos rochosos e em algumas partes presença de falésias ativas (ao todo, mais de 50% da faixa do pós-praia) como obstáculos naturais diminuindo a energia das ondas. O terreno possui elevação de ~5 m. A vegetação é bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia) e árvores de grande porte, principalmente na região centro-sul.

A percentagem de ocupação próximo à LC foi baixa (21 % da área calculada) em 2006 que mudou para moderado (49%) em 2020. Poucas residências estão próximas a praia, a maior parte foi construída sobre a falésia, devido a ocorrência de erosão subaérea e hídrica com maior intensidade em algumas porções; casas foram abandonadas e em outras o próprio morador construiu barreiras de muro de arrimo ou enrocamentos (menos de 50% do perfil longitudinal da praia) para conter a erosão, como verificado na Figura 24. A permeabilidade do solo é moderada, devido a densidade média de ocupação (de 70 a 30%).



Figura 24. Construção de barreiras criadas pelo morador local. Fonte: Autor.

6.3.1.5 Praia do Marahu

O IVC obtido foi 2,5, 5 e 3 sendo, portanto, classificada como moderada, alta e moderada vulnerabilidade para as porções leste, centro e oeste da praia, respectivamente (Tabela 12). E em cada uma foi levantado um perfil topográfico (Figura 25). A morfologia do perfil leste foi expressa com extensão de 141,2 m e declividade de 2° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 149,8 m e 2°, respectivamente. O perfil centro possui extensão de 61,3 m e declividade de 3° durante o período chuvoso e, no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 68,1 m e 4°, respectivamente. No perfil oeste, a extensão é de 48,5 m e declividade de 5° durante o período chuvoso, a largura e a declividade de 78,5 m e >4°, respectivamente, no período menos chuvoso. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi positivo com 85,51, 14,27 e 30,4 m³/m na porção leste, centro e oeste, respectivamente. Em ambos os períodos de amostragem a granulometria foi de areia

média em todos os perfis. A praia (Figura 26) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 12. Índice de Vulnerabilidade da praia do Marahu (leste, centro e oeste), com seus respectivos valores de peso e classificação.

Porção	Indicador										IVC	Classificação do IVC
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Leste	5	0	0	5	0	0	5	0	5	5	2,5	Moderada
Centro	5	0	0	10	0	5	10	10	5	5	5	Alta
Oeste	10	0	0	5	0	0	5	0	5	5	3	Moderada

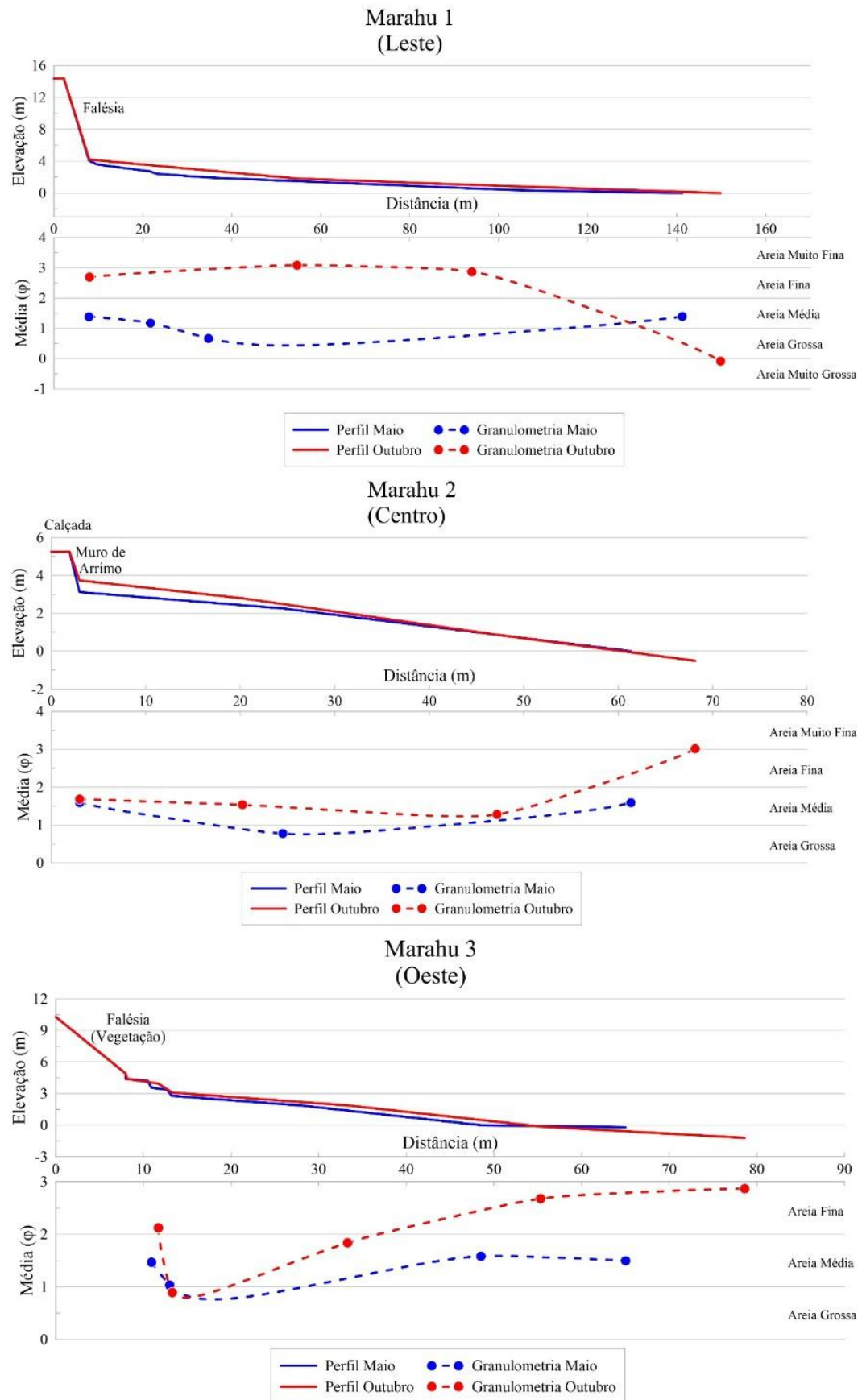


Figura 25. Praia do Marahu (porção leste, centro e oeste): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 26. Locais dos perfis da praia do Marahu, porção: a) leste, b) centro e c) oeste. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios, afloramentos rochosos e falésias ativas (mais de 50% da faixa do pós-praia) como obstáculos naturais, em todas as porções com ausência no centro. Nessa foi construído muro de arrimo, porém até 2022 ainda não foi concluída toda a pavimentação da orla, que passa por problemas de quebras e rachaduras na estrutura artificial, devido aos processos erosivos serem mais atuantes nesta porção completamente inundável nas marés altas durante eventos extremos, como nos Equinócios, além de ser uma praia que recebe fortes incidências de ondas.

O terreno possui elevações de ~14, 5 e 10 m, porções leste, centro e oeste respectivamente. Apresenta falésias ativas, mais de 50% da faixa de pós-praia (porção leste e

oeste), com ausência na porção centro. A vegetação é bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia) e árvores de grande porte, exceto na região centro (pouco vegetada).

A percentagem de ocupação próxima à LC é moderada, entre 30 e 70 % (31% no ano 2006 com aumento para 34% em 2020). As casas em sua maioria são de veraneio, com presença de pousadas, bares e restaurantes próximo a linha de preamar de sizígia da praia. A permeabilidade do solo é moderada (de 70 a 30%), devido a densidade média de ocupação.

6.3.2 Setor Noroeste

6.3.2.1 Praia do Carananduba

O IVC obtido foi 3,5 classificada como moderada vulnerabilidade (Tabela 13). A morfologia da praia (Figura 27) foi expressa por perfil com extensão de 393,5 m e declividade de 1° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 393,0 m e 1°, respectivamente. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi negativo com - 11,14 m³/m e, em ambos os períodos de amostragem, a granulometria foi de areia média. A praia (Figura 28) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 13. Índice de Vulnerabilidade da praia do Carananduba, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Indicador										IVC	Classificação do IVC
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	3,5	Moderada
0	10	0	10	0	0	5	0	5	5		

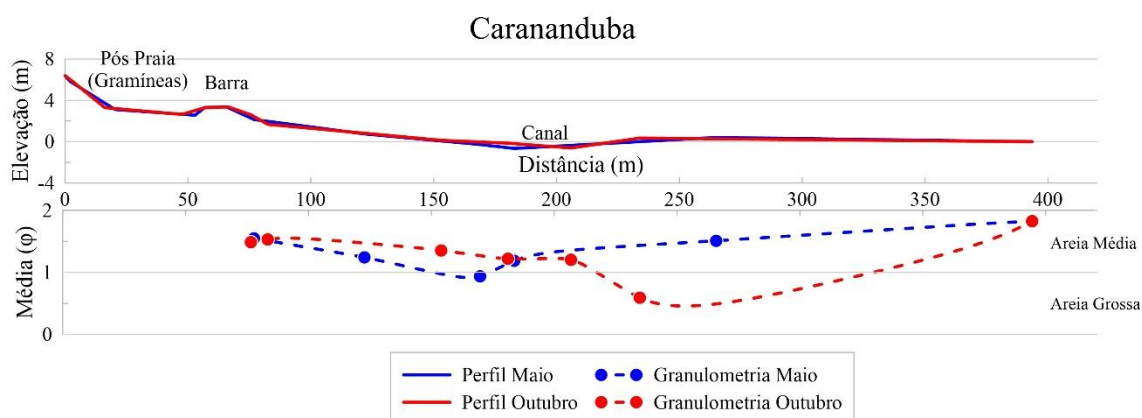


Figura 27. Praia do Carananduba: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 28. Local do perfil da praia do Carananduba. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios e barras arenosas volumosa como obstáculos naturais. As falésias são ausentes nesta região, assim também como estruturas artificiais costeiras. O terreno apresenta elevação de ~6 m. Além de exibir região vegetada, bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia), e árvores de grande porte.

A percentagem de ocupação próximo à LC é moderada, entre 30 e 70 % (55% no ano 2006 com diminuição para 47% em 2020). Devido a isto, a permeabilidade do solo é moderada (de 70 a 30%), devido a densidade média de ocupação.

6.3.2.2 Praia do São Francisco

O IVC obtido foi 5 e 4,5 classificada como alta e moderada vulnerabilidade, respectivamente (Tabela 14), foram levantados dois perfis: nordeste e sudoeste (Figura 29). Morfologia do perfil nordeste: extensão de 232,7 m e declividade de $>2^\circ$ durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 230,4 m e $>2^\circ$, respectivamente. Perfil sudoeste: extensão de 138,2 m e declividade de 4° durante o período chuvoso, a largura e a declividade de 135,6 m e 4° , respectivamente, no período menos chuvoso. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi negativo ($-14,29 \text{ m}^3/\text{m}$) e aproximadamente estável ($-5,40 \text{ m}^2/\text{m}$) na porção nordeste e sudoeste, respectivamente. Em ambos os períodos a granulometria foi de areia média em todos os perfis. A praia (Figura 30) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 14. Índice de Vulnerabilidade da praia do São Francisco, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Porção	Indicador										IVC	Classificação do IVC
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Nordeste	5	10	0	10	0	10	5	0	5	5	5	Alta
Sudoeste	5	5	0	10	0	10	5	0	5	5	4,5	Moderada

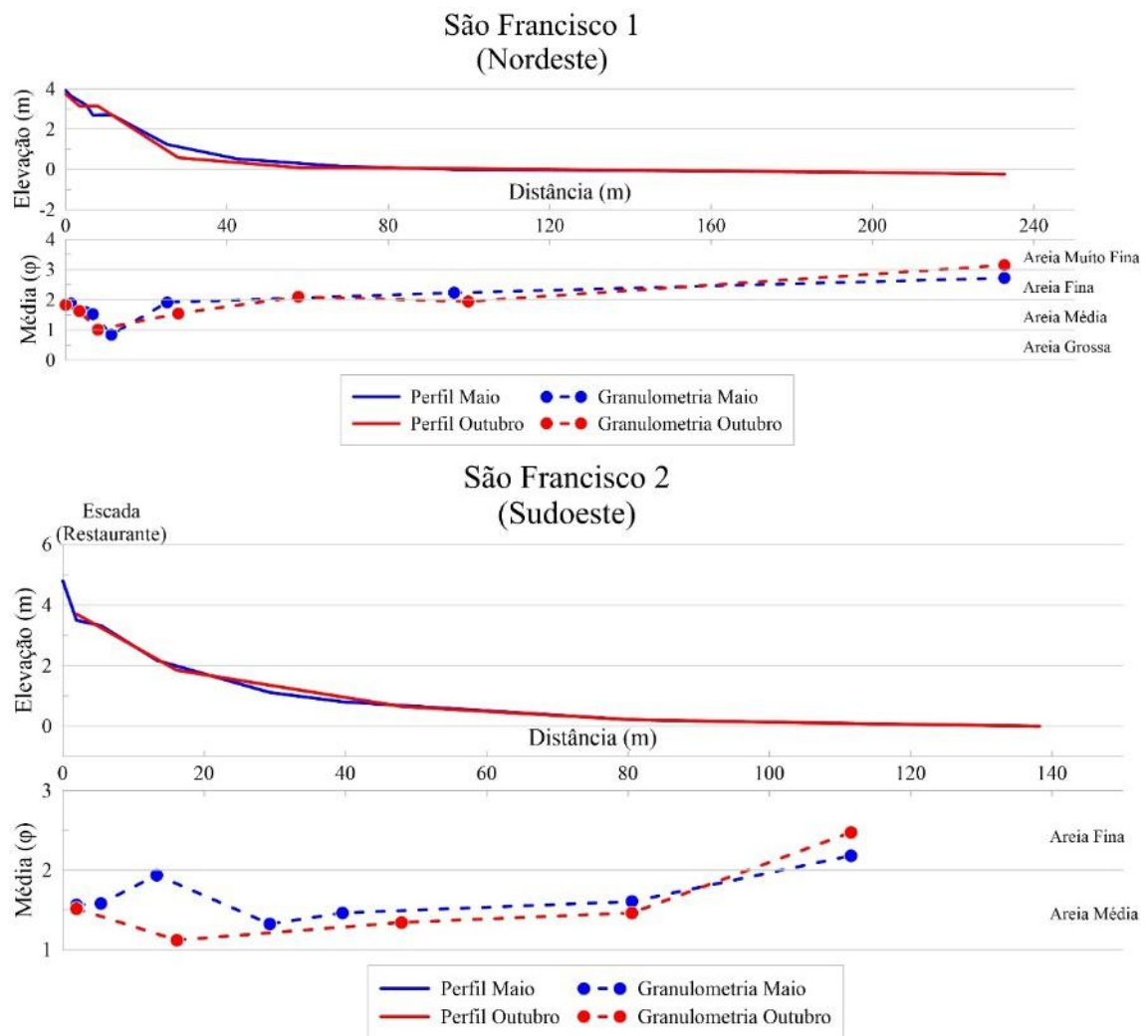


Figura 29. Praia do São Francisco (porção nordeste e sudoeste): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 30. Locais dos perfis da praia do São Francisco, porção: a) nordeste e b) sudoeste. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios rochosos e barras arenosas como obstáculos naturais. As falésias são ausentes nesta região, assim também como estruturas costeiras artificiais. O terreno possui elevação de ~3 m. Além de apresentar a região vegetada, bem estabelecida com gramas e arbustos (mais de 50% do pós-praia) e árvores de grande porte.

A percentagem de ocupação próximo à LC é moderada, entre 30 e 70 % (64% no ano 2006 com diminuição para 63% em 2020). Devido a isto, a permeabilidade do solo é moderada (de 70 a 30%).

6.3.2.3 Praia do Ariramba

O IVC obtido foi 5 e 4,5 classificada como alta e moderada vulnerabilidade (Tabela 15). Na praia foram levantados dois perfis: nordeste e sudoeste (Figura 31). Morfologia do perfil nordeste: extensão de 154,6 m e declividade de 1° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 170,4 m e 1° , respectivamente. Perfil sudoeste: extensão de 133,3 m e declividade de $<2^\circ$ durante o período chuvoso, a largura e a declividade de 133 m e $<2^\circ$, respectivamente, no período menos chuvoso. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi negativo com $-20,51 \text{ m}^3/\text{m}$ e aproximadamente estável com $-6,98 \text{ m}^3/\text{m}$ na

porção nordeste e sudoeste, respectivamente. Em ambos períodos de amostragem a granulometria foi de areia fina em todos os perfis. A praia (Figura 32) apresentou avanço (acréscimo sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 15. Índice de Vulnerabilidade da praia do Ariramba, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Porção	Indicador										IVC	Classificação do IVC
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Nordeste	0	10	0	5	0	0	5	10	10	10	5	Alta
Sudoeste	0	5	0	5	0	0	5	10	10	10	4,5	Moderada

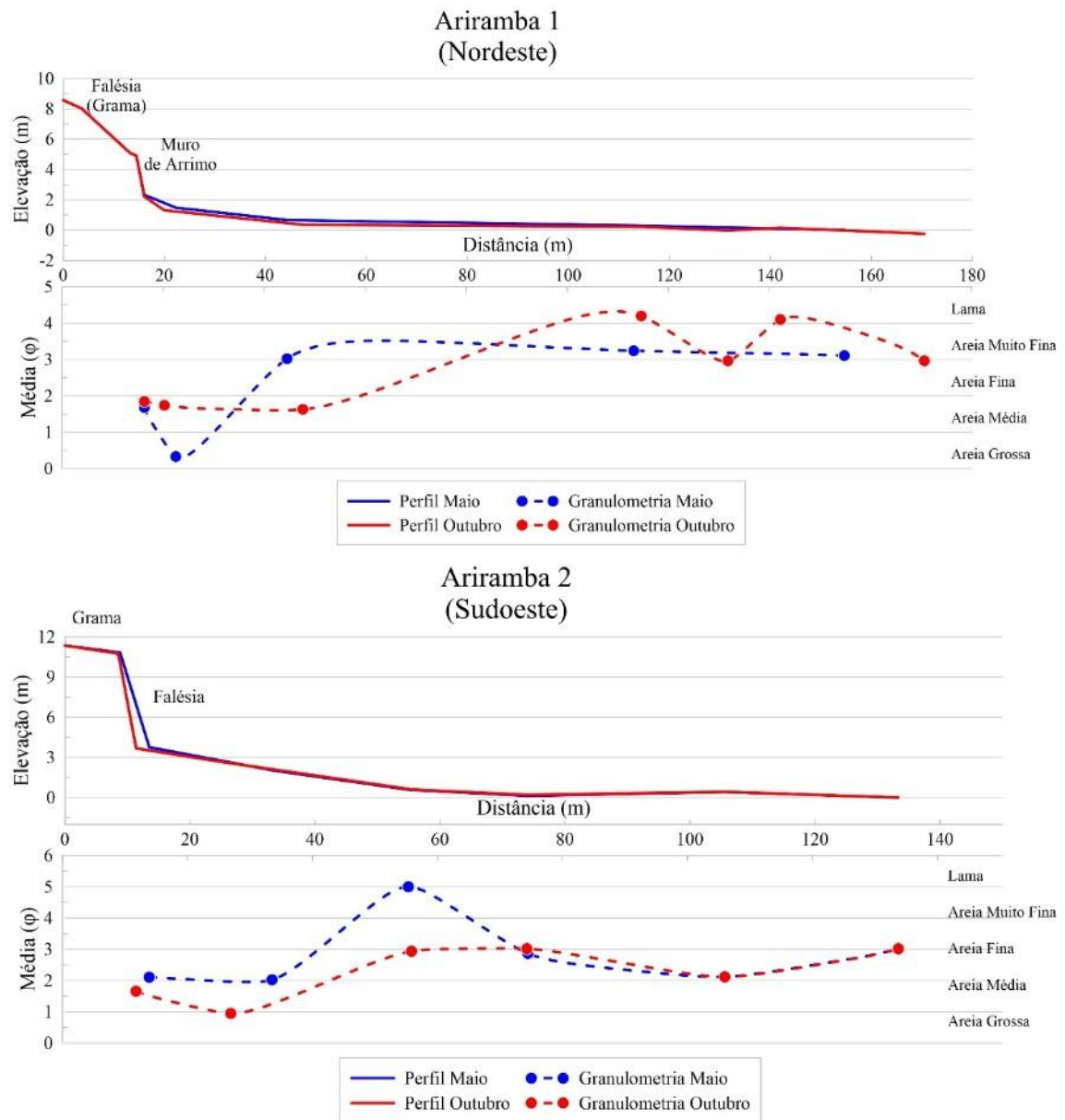




Figura 32. Locais dos perfis da praia do Ariramba, porção: a) nordeste e b) sudoeste. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios, afloramentos rochosos, e falésias ativas (mais de 50% da faixa do pós-praia) como obstáculos naturais. Além disso, na maior parte de sua extensão foi construído muro de arrimo (mais de 50% do perfil longitudinal) para conter a erosão. O terreno apresenta elevação de ~8 e 11 m, porções nordeste e sudoeste respectivamente. A vegetação é bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia).

A percentagem de ocupação próximo à LC é alta, maior que 70 % (75% no ano 2006 com aumento para 78% em 2020). A permeabilidade do solo é seriamente afetada pela ocupação (<30%), com assentamento urbano bem desenvolvido.

6.3.2.4 Praia do Murubira

O IVC obtido foi 5,5 classificada como alta vulnerabilidade (Tabela 16). A morfologia da praia (Figura 33) foi expressa por perfil com extensão de 59,8 m e declividade de 3° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 75,5 m e 2°, respectivamente. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi aproximadamente estável com 1,66 m³/m, e a granulometria foi de areia média, em ambos períodos. A praia (Figura 34) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 16. Índice de Vulnerabilidade da praia do Murubira, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Indicador										IVC	Classificação do IVC
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	5,5	Alta
5	5	0	5	0	5	5	10	10	10		

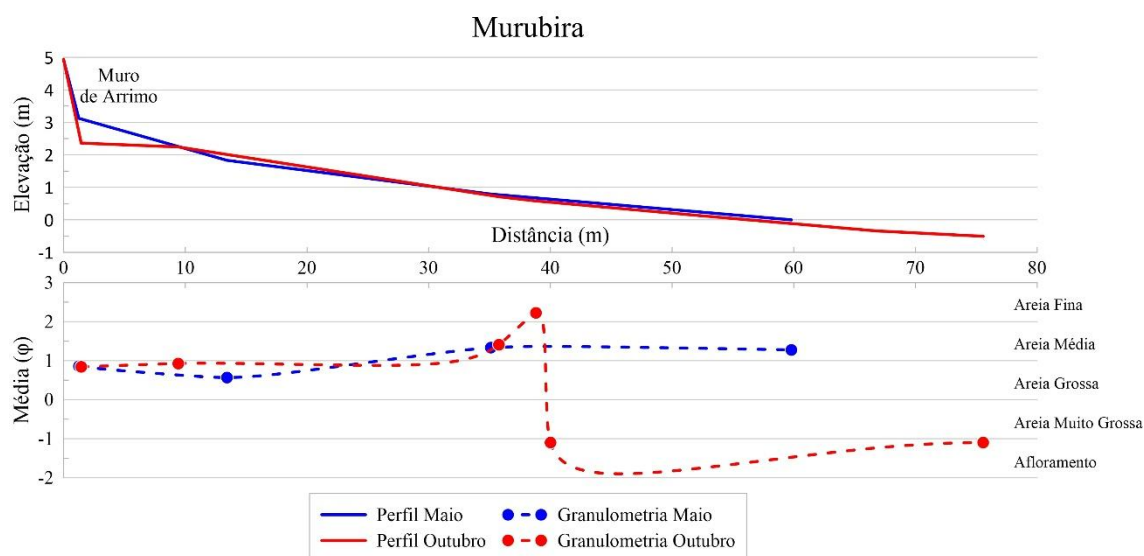


Figura 33. Praia do Murubira: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.

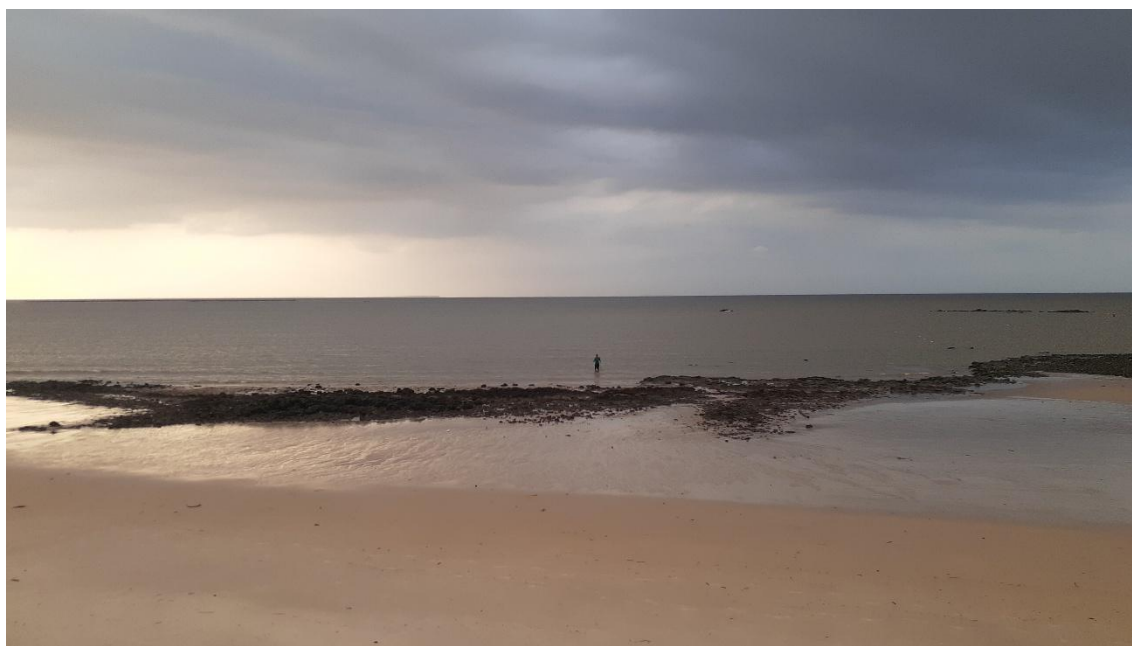


Figura 34. Local do perfil da praia do Murubira. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios, afloramentos rochosos e falésias ativas (mais de 50% da faixa de pós-praia) como obstáculos naturais. Além disso, na maior parte de sua extensão foi construído muro de arrimo (mais de 50% do perfil longitudinal) para conter a erosão. O terreno apresenta elevação de ~4 m. A vegetação é bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia).

A percentagem de ocupação próximo à LC é alta, maior que 70 % (74% no ano 2006 com aumento para 80% em 2020), afetando a permeabilidade do solo (<30%), devido ao assentamento urbano bem desenvolvido.

6.3.2.5 Praia do Porto Arthur

O IVC obtido foi 6, classificada como alta vulnerabilidade (Tabela 17). A morfologia da praia (Figura 35) foi expressa por perfil com extensão de 170,7 m e declividade de 1° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 168,3 m e 1°, respectivamente. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi negativo com -23,96 m³/m e, em ambos os períodos de amostragem, a granulometria foi de areia média. A praia (Figura 36) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 17. Índice de Vulnerabilidade da praia do Porto Arthur, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Indicador										IVC	Classificação do IVC
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	6	Alta
0	10	0	5	0	5	10	10	10	10		

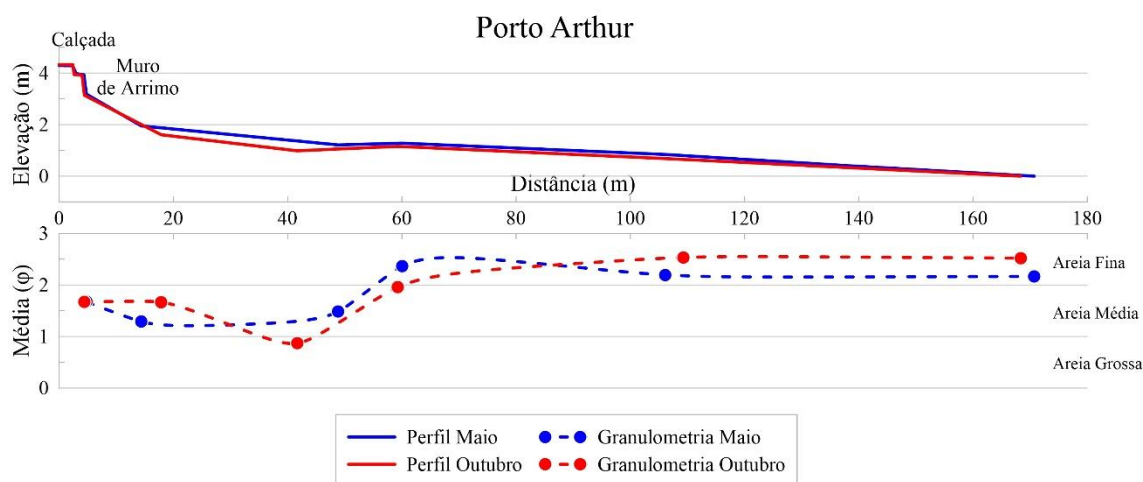


Figura 35. Praia do Porto Arthur: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 36. Local do perfil da praia do Porto Arthur. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios, afloramentos rochosos e falésias ativas (mais de 50% da faixa de pós-praia) como obstáculos naturais. Além disso, na maior parte de sua extensão foi construído muro de arrimo (mais de 50% do perfil longitudinal) para conter a erosão. O terreno apresenta elevação de ~4 m. A vegetação é pouca (menos de 50% do pós-praia).

A percentagem de ocupação próximo à LC é alta, maior que 70 % (81% no ano 2006 com aumento para 86% em 2020). Devido a isto, a permeabilidade do solo (<30%) é seriamente afetada pela ocupação, com assentamento urbano bem desenvolvido.

6.3.2.6 Praia do Chapéu Virado

O IVC obtido foi 4,5 classificada como moderada vulnerabilidade (Tabela 18). A morfologia da praia (Figura 37) foi expressa por perfil com extensão de 98,7 m e declividade de 5° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 124,5 m e 5°, respectivamente. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi positivo com 22,16 m³/m e, em ambos os períodos de amostragem, a granulometria foi de areia média. A praia (Figura 38) apresentou avanço (acréscimo sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 18. Índice de Vulnerabilidade da praia do Chapéu Virado, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Indicador										IVC	Classificação do IVC
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	4,5	Moderada
10	0	0	10	0	0	5	0	10	10		

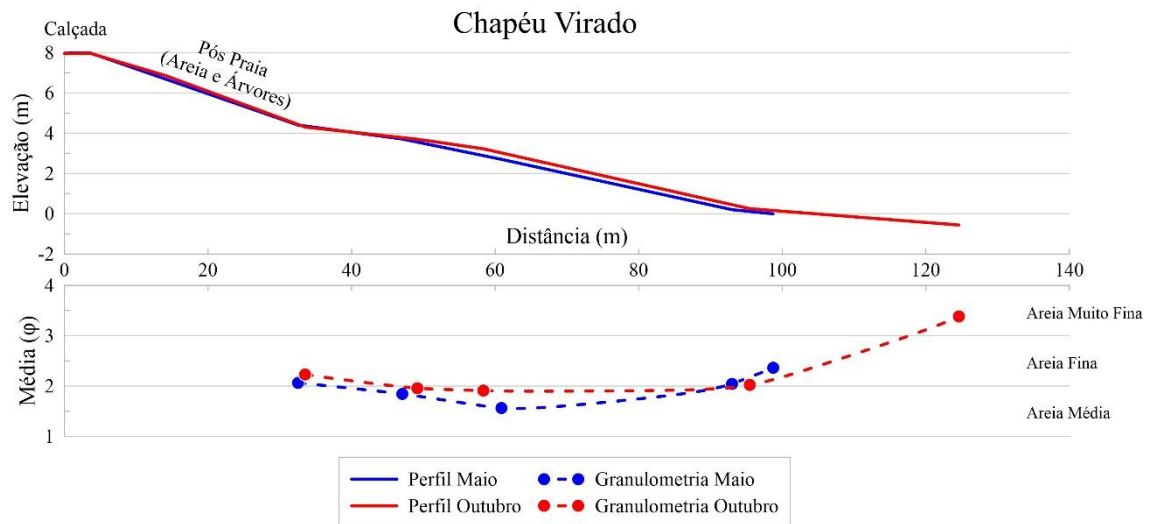


Figura 37. Praia do Chapéu Virado: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 38. Local do perfil da praia do Chapéu Virado. Fonte: Autor.

A praia possui pontais rochosos como obstáculos naturais. As falésias são ausentes nesta região, assim também como estruturas artificiais costeiras. O terreno apresenta elevação de ~7 m. Além de exibir a região vegetada, bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia), e árvores de grande porte.

A percentagem de ocupação próximo à LC é alta, maior que 70 % (completamente ocupada no ano de 2006 e mantido em 2020), consequentemente, a permeabilidade do solo (<30%) é seriamente afetada pelo assentamento urbano bem desenvolvido.

6.3.2.7 Praia do Farol

O IVC obtido foi 5,5 classificada como alta vulnerabilidade (Tabela 19). A morfologia da praia (Figura 39) foi expressa por perfil com extensão de 94,7 m e declividade de 3° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 79,8 m e 3°, respectivamente. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi negativo com -11,75 m²/m e, em ambos os períodos de amostragem a granulometria foi de areia média. A praia (Figura 40) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 19. Índice de Vulnerabilidade da praia do Farol, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Indicador										IVC	Classificação do IVC
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	5,5	Alta
5	10	0	10	0	5	5	0	10	10		

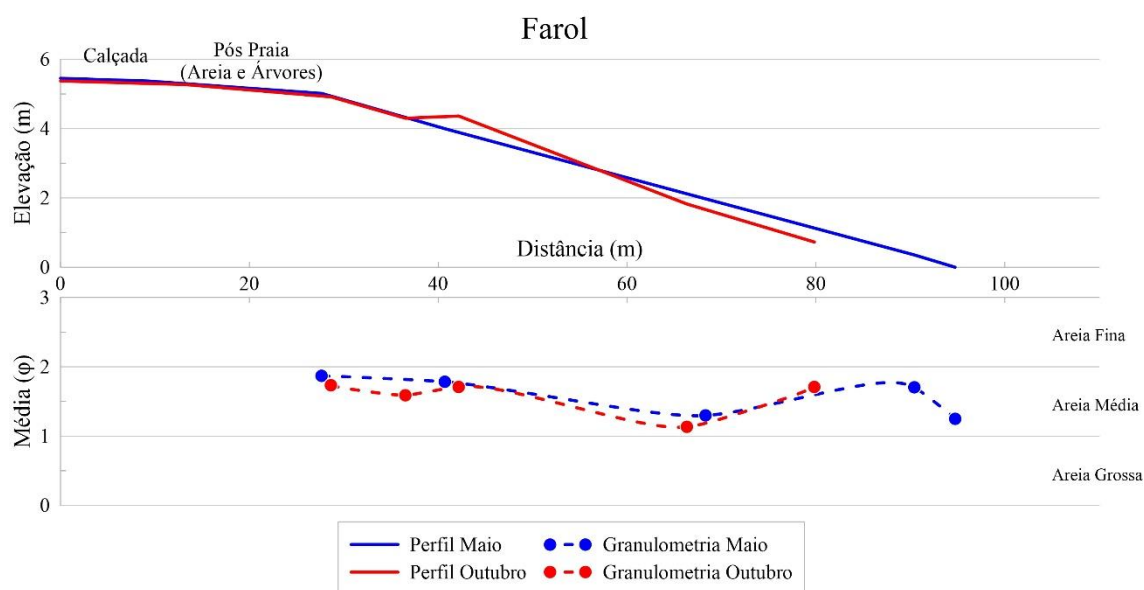


Figura 39. Praia do Farol: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 40. Local do perfil da praia do Farol. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios rochosos como obstáculos naturais. As falésias são ausentes nesta região, assim também como estruturas artificiais costeiras. O terreno apresenta elevação de ~5 m. Além de exibir a região vegetada, bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia), e árvores de grande porte.

A percentagem de ocupação próximo à LC é alta, maior que 70% (82% no ano 2006 com aumento para 86% em 2020), afetando a permeabilidade do solo (<30%).

6.3.3 Setor Oeste

6.3.3.1 Praia Prainha

O IVC obtido foi 5,5 sendo, portanto, classificada como alta vulnerabilidade (Tabela 20). A morfologia da praia (Figura 41) foi expressa por perfil com extensão de 163,9 m e declividade de 1° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 166,5 m e 1°, respectivamente. O balanço sedimentar praiar (sazonal) foi positivo (17,27 m³/m) e a granulometria foi de areia média, tanto no período chuvoso, como no menos chuvoso. A praia (Figura 42) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 20. Índice de Vulnerabilidade da praia da Prainha, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Indicador										IVC	Classificação do IVC
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	5,5	Alta
0	0	0	10	0	10	5	10	10	10		

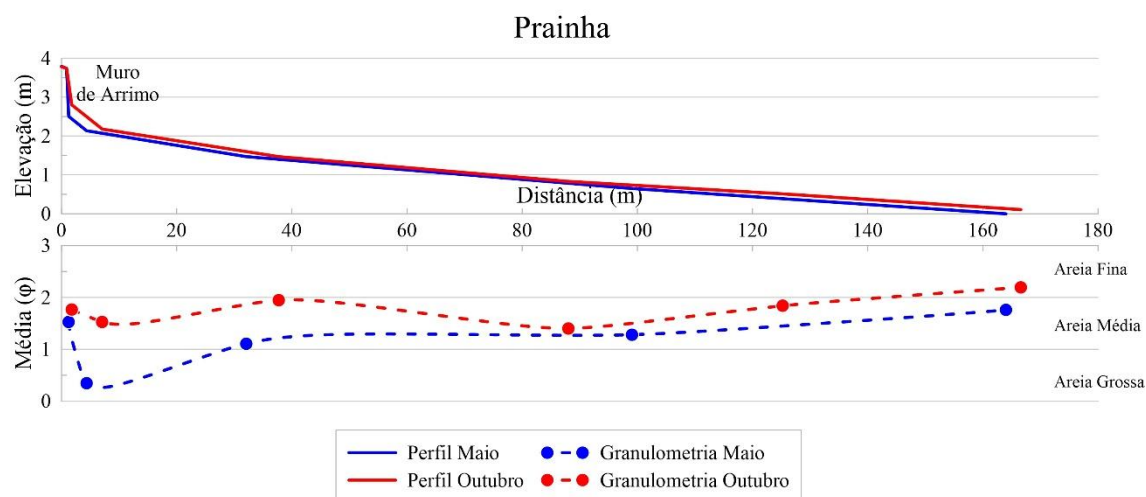


Figura 41. Praia Prainha: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 42. Local do perfil da praia Prainha. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios rochosos como obstáculos naturais. As falésias são ausentes nesta região. Mas são observados baixos muros de arrimo, distribuídos em mais de

50% longitudinalmente. O terreno apresenta elevação de ~3 m. Além de exibir a região vegetada, bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia), e árvores de grande porte.

A percentagem de ocupação próximo à LC é alta, maior que 70 % (completamente ocupada no ano de 2006 e mantido em 2020), assim a permeabilidade do solo (<30%) é seriamente afetada pelo assentamento urbano bem desenvolvido.

6.3.3.2 Praia Grande

O IVC obtido foi 6 sendo classificada como alta vulnerabilidade (Tabela 21). A morfologia da praia (Figura 43) foi expressa por perfil com extensão de 63,3 m e declividade de 3° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 52,2 m e 3°, respectivamente. O balanço sedimentar praiar (sazonal) foi aproximadamente estável com 2,32 m³/m e, em ambos os períodos de amostragem a granulometria foi de areia média. A praia (Figura 44) apresentou recuo (erosão sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 21. Índice de Vulnerabilidade da praia Grande, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Indicador										IVC	Classificação do IVC
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	6	Alta
5	5	10	5	0	0	5	10	10	10		

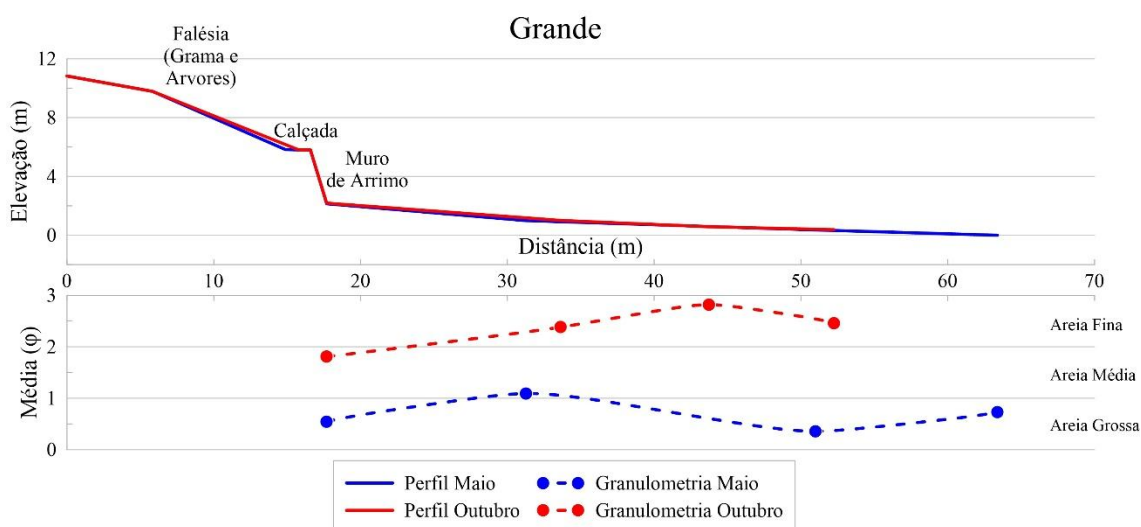


Figura 43. Praia Grande: Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio) e menos chuvoso (Outubro). Fonte: Autor.



Figura 44. Local do perfil da praia Grande. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios, larga área de afloramento rochosos e falésias ativas (mais de 50% da faixa de pós-praia) como obstáculos naturais. Além disso, na maior parte de sua extensão foi construído muro de arrimo (mais de 50% do perfil longitudinal) para conter a erosão. O terreno apresenta elevação de ~ 10 m. Além de exibir a região vegetada, bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia), e árvores de grande porte.

A percentagem de ocupação próxima à LC é alta, maior que 70% (97% no ano de 2006 com aumento para 100% em 2020). Devido a isto a permeabilidade do solo ($< 30\%$) é seriamente afetada pelo alto adensamento urbano

6.3.3.3 Praia do Bispo

O IVC obtido foi 6, 5,5 e 6,5 sendo classificada como alta vulnerabilidade para a região norte, centro e sul (Tabela 22). Para morfologia praial (Figura 45), foram levantados três perfis: norte, centro e sul. Morfologia do perfil norte: extensão de 282,4 m e declividade de 1° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 281,3 m e 1° , respectivamente. Perfil centro: extensão de 282,2 m e declividade de 1° durante o período chuvoso e, no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 282 m e 1° , respectivamente. Perfil sul: extensão de 129,3 m e declividade de 1° durante o período chuvoso, a largura e a declividade de 111,9 m e 1° , respectivamente, no período menos chuvoso. O balanço sedimentar praial (sazonal) foi negativo com $-12,57$ e $-18,02$ m^3/m na porção norte e sul respectivamente, e aproximadamente estável para a centro ($4,70$ m^3/m). A granulometria foi

de areia média em todos os perfis e períodos de amostragem. A praia (Figura 46) apresentou recuo (erosão sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 22. Índice de Vulnerabilidade da praia do Bispo, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Porção	Indicador										IVC	Classificação do IVC
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Norte	0	10	10	5	0	0	5	10	10	10	6	Alta
Centro	0	5	10	5	0	0	5	10	10	10	5,5	Alta
Sul	0	10	10	5	0	0	10	10	10	10	6,5	Alta

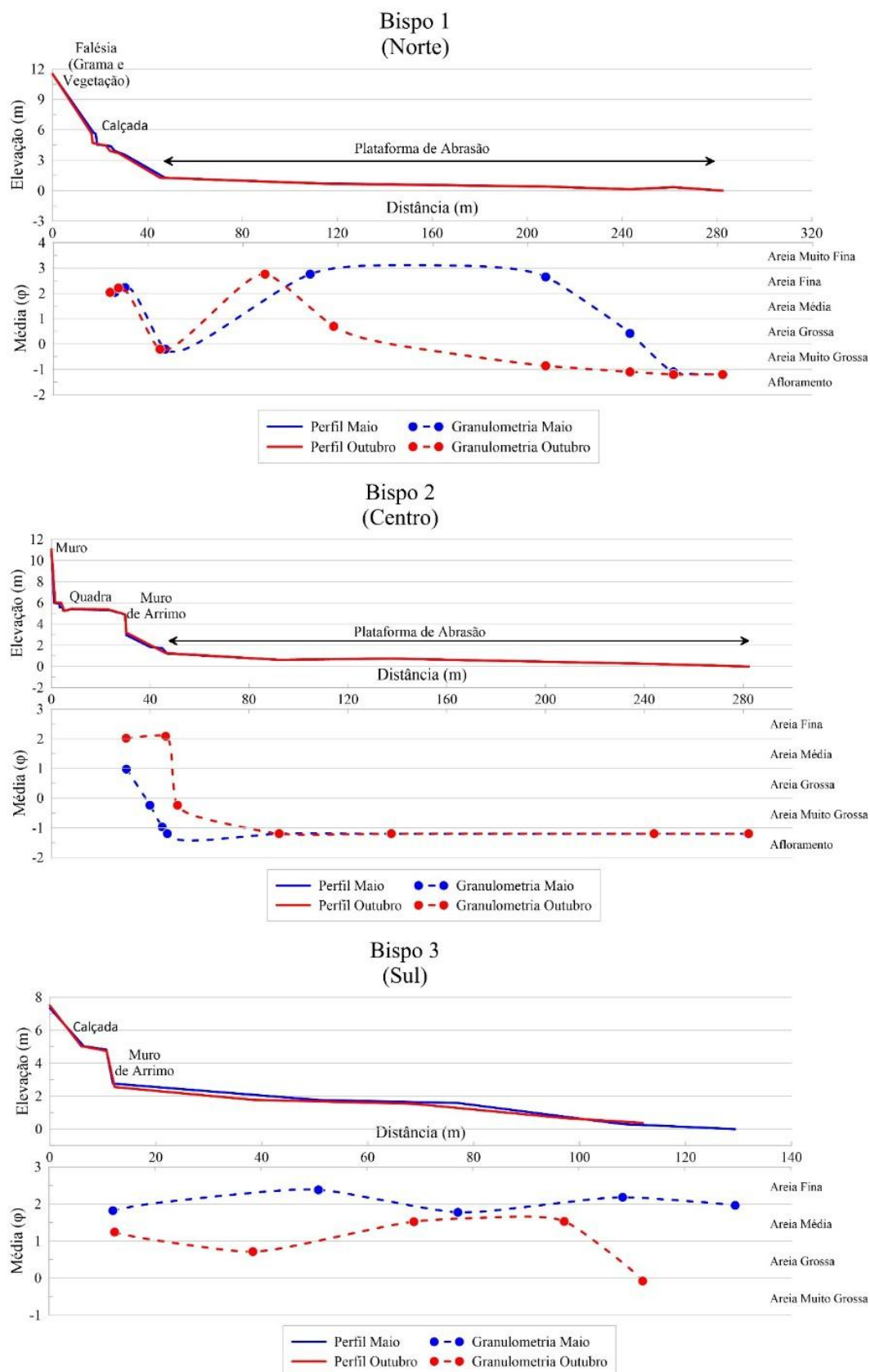


Figura 45. Praia do Bispo (porção norte, centro e sul): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 46. Locais dos perfis da praia do Bispo, porção: a) norte, b) centro e c) sul. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios, afloramentos rochosos e falésias ativas (mais de 50% da faixa de pós-praia) como obstáculos naturais. Além disso, na maior parte de sua extensão foi construído muro de arrimo (mais de 50% do perfil longitudinal) para conter a erosão. O terreno apresenta elevação de ~11, 11 e 7 m porções norte, centro e sul. Em relação a vegetação, apenas a região norte e centro apresentam vegetação bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia), enquanto a região sul é pouco vegetada.

A percentagem de ocupação próximo à LC é alta, maior que 70 % (99% no ano 2006 com diminuição para 87% em 2020), assim a permeabilidade do solo é reduzida (<30%).

6.3.3.4 Praia do Areião

O IVC obtido foi 4 e 4,5 sendo classificada com moderada vulnerabilidade para a região norte e sul (Tabela 23). Para morfologia praial (Figura 47) foram levantados dois perfis: norte e sul. No primeiro, obteve-se a extensão de 100,4 m e declividade de 3° durante o período chuvoso, já no período menos chuvoso a largura e a declividade foram de 95,4 m e <4°, respectivamente. No segundo, obteve-se a extensão de 178,6 m e declividade de 1° durante o período chuvoso, a largura e a declividade de 141,6 m e 0,54 °, respectivamente, no período menos chuvoso.

O balanço sedimentar praial (sazonal) foi aproximadamente estável (9,19 m³/m) e negativo (-37,98 m³/m) na porção norte e sul, respectivamente. Em ambos os períodos de amostragem a granulometria foi de areia fina em todos os perfis. A praia (Figura 48) apresentou avanço (acrecção sedimentar) em relação a variação da linha de costa.

Tabela 23. Índice de Vulnerabilidade da praia do Areião, com seus respectivos valores de peso e classificação.

Porção	Indicador										IVC	Classificação do IVC
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Norte	5	5	0	5	0	5	5	5	5	5	4	Moderada
Sul	0	10	0	10	0	10	5	0	5	5	4,5	Moderada

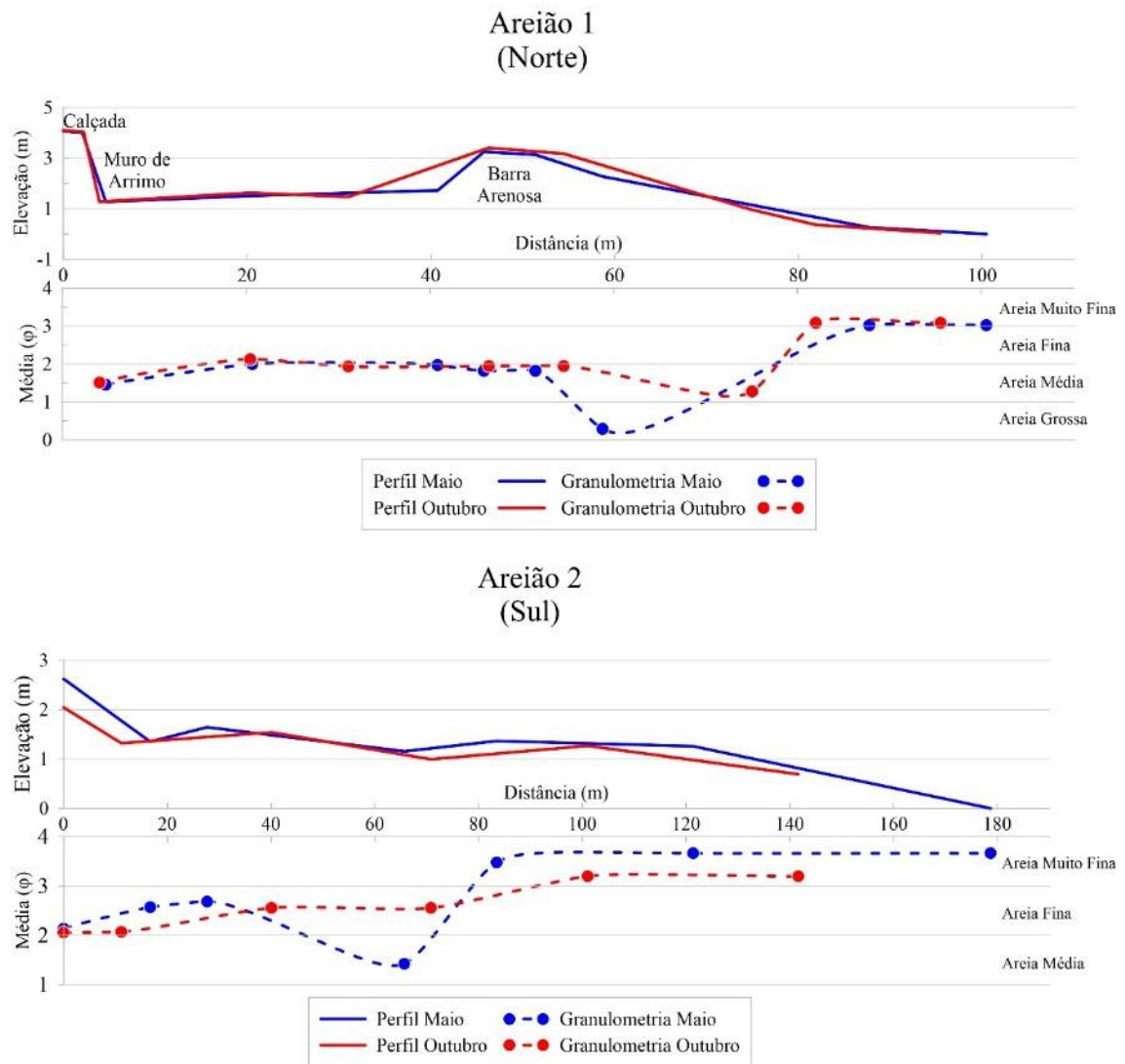


Figura 47. Praia do Areião (porção norte e sul): Morfologia, declividade e granulometria, durante o período chuvoso (Maio/2021) e menos chuvoso (Outubro/2021). Fonte: Autor.



Figura 48. Locais dos perfis da praia do Areião, porção: a) norte e b) sul. Fonte: Autor.

A praia possui promontórios e extensa barra arenosa (porção norte) como obstáculos naturais. As falésias são presentes somente na porção norte. Estruturas de muro de arrimo foram construídas (menos de 50% do perfil longitudinal) para conter a erosão (ao norte), enquanto ao sul não possui. O terreno apresenta elevação de 4 e ~2 m norte e sul, respectivamente. Além disso a região vegetada é bem estabelecida com gramas, arbustos (mais de 50% do pós-praia) e árvores de grande porte.

A percentagem de ocupação próximo à LC é moderada, entre 30 % e 70 % (46% no ano 2006 com diminuição para 43% em 2020). Devido a isto, a permeabilidade do solo (de 70 a 30%) é moderada.

6.4 PERCENTAGEM DE OCUPAÇÃO

A percentagem de ocupação próximo à LC apresenta em sua maioria aumento, porém não muito contrastante, entre os anos de 2006 (Figura 49), 2013 (Figura 50) e 2020 (Figura 51).

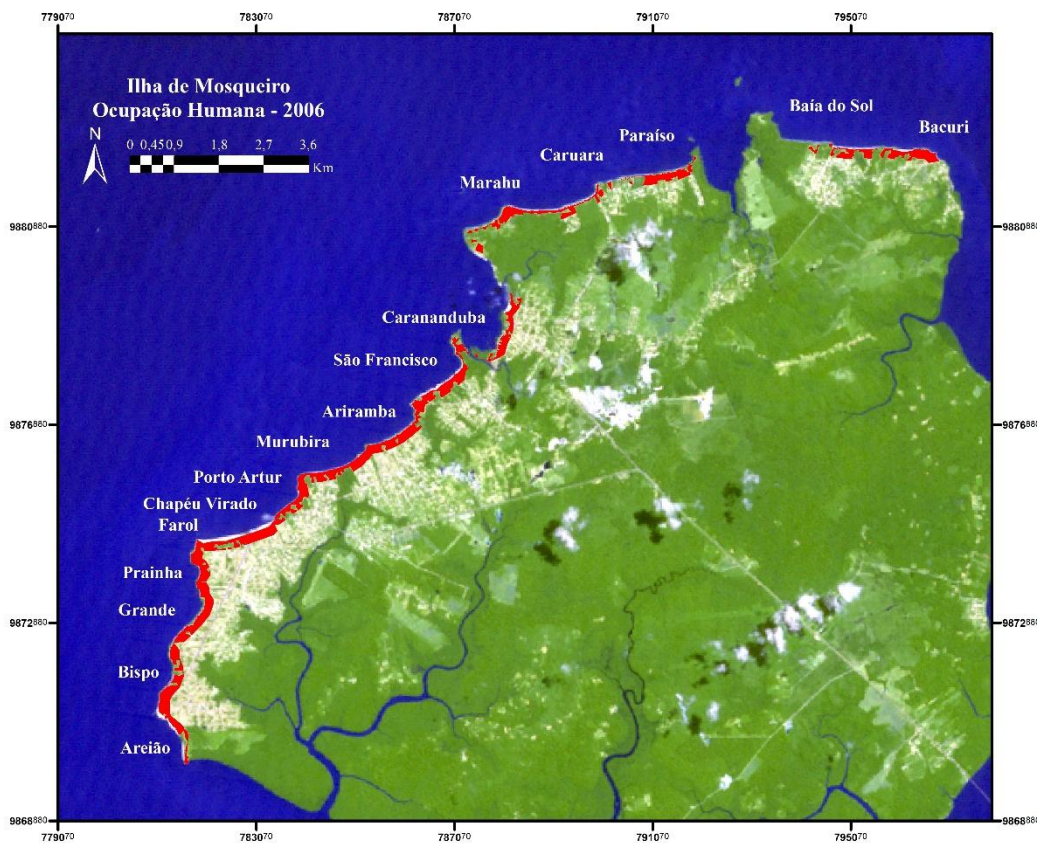


Figura 49. Mapa de ocupação humana, ano de 2006 (imagem Landsat 5/TM). Contempla área de 200 m a partir da LC em direção ao continente. Fonte: Autor.

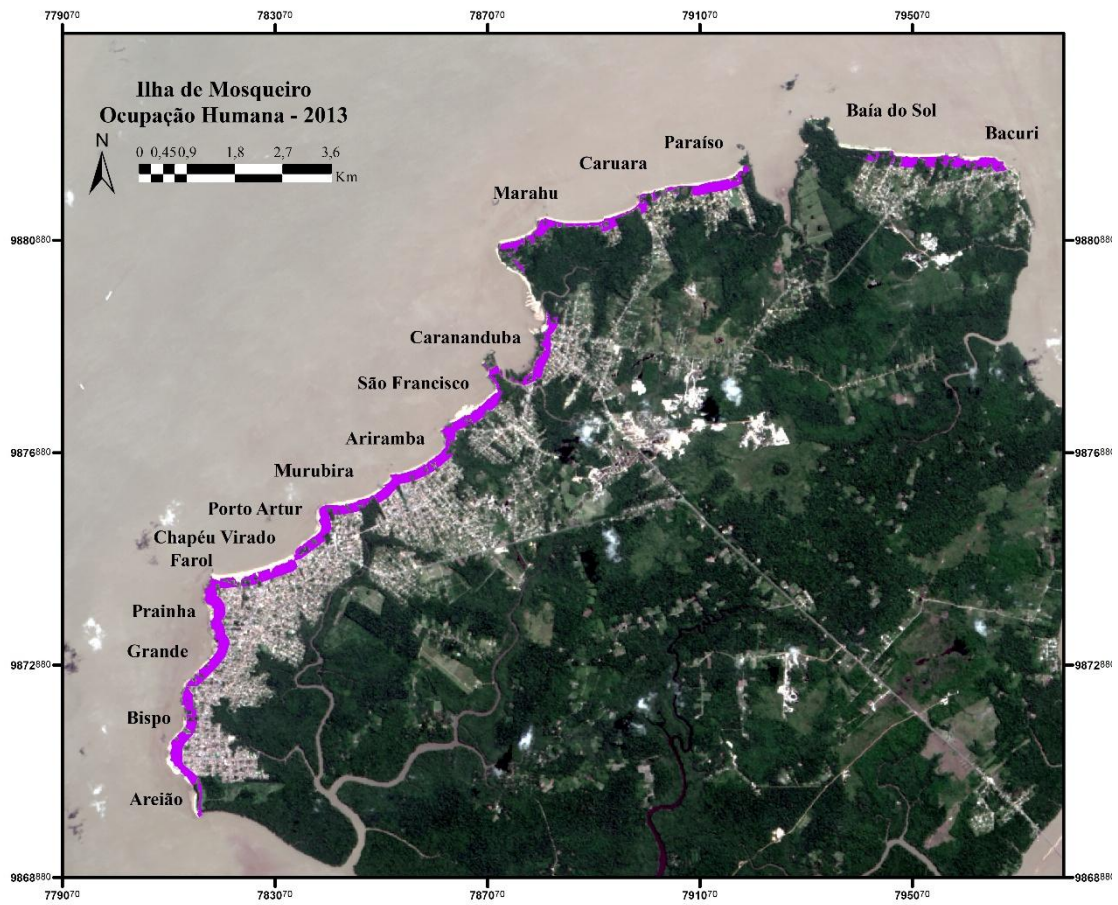


Figura 50. Mapa de ocupação humana, ano de 2013 (imagem Landsat 8/OLI). Contempla área de 200 m a partir da LC em direção ao continente. Fonte: Autor.



Figura 51. Mapa de ocupação humana, ano de 2020 (imagem Landsat 8/OLI). Contempla área de 200 m a partir da LC em direção ao continente. Fonte: Autor.

Com os dados obtidos após as análises das imagens de satélites, foram efetuados os cálculos a partir da equação 2 e como resultado os níveis de ocupação de cada praia (Tabela 24).

Tabela 24. Percentagem de ocupação humana em cada praia da Ilha de Mosqueiro.

(continua)				
Praias	Ocupação em 2006 (%)	Ocupação em 2013 (%)	Ocupação em 2020 (%)	Percentagem de ocupação
Areião	51%	49%	43%	Moderado
Ariramba	78%	74%	78%	Alto
Bacuri	79%	71%	73%	Alto
Baía do Sol	30%	31%	30%	Moderado
Bispo	83%	79%	87%	Alto

(conclusão)

Praias	Ocupação em 2006 (%)	Ocupação em 2013 (%)	Ocupação em 2020 (%)	Percentagem de ocupação
Carananduba	45%	44%	47%	Moderado
Caruara	30%	45%	49%	Moderado
Chapéu Virado	100%	95%	100%	Alto
Farol	77%	71%	86%	Alto
Grande	90%	90%	100%	Alto
Marahu	32%	34%	34%	Moderado
Murubira	74%	73%	80%	Alto
Paraíso	51%	58%	58%	Moderado
Porto Arthur	76%	82%	86%	Alto
Prainha	94%	98%	100%	Alto
São Francisco	63%	62%	63%	Moderado

Em algumas praias foram identificados aumento da ocupação (%) de 2006 para 2020, dentre elas: Bispo, Carananduba, Caruara, Grande, Marahu, Paraíso, Porto Arthur, Prainha. Em outras também ocorreu o mesmo, ou mantiveram percentual estável, porém com redução em 2013, foram elas: Ariramba, Baía do Sol, Chapéu Virado, Farol, Murubira, São Francisco. Nas praias onde houve diminuição – Areião e Bacuri – do percentual atual de ocupação, acredita-se que seja por aumento da cobertura vegetal em terras antes expostas ou em terrenos abandonados.

Os níveis de ocupação variaram entre moderado (Areião, Baia do Sol, Carananduba, Caruara, Marahu Paraíso e São Francisco) e alto (Ariramba, Bacuri, Bispo, Chapéu Virado, Farol, Grande, Murubira, Porto Arthur e Prainha). Isto aumenta a vulnerabilidade dessas áreas, especialmente as com a alta percentagem de ocupação, favorecendo para que ocorra um balanço sedimentar negativo, e caso intenso processo erosivo atue sobre a área, contribuirá para o recuo da linha de costa (Guerra & Manso, 2004).

6.5 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA

A partir das observações em campo, análises laboratoriais e por imagens de satélite, foram avaliados e somados os pesos obtidos para cada indicador ambiental (geoindicador), sendo alcançados resultados finais de alta e moderada vulnerabilidade costeira (Tabela 25), distribuídos ao longo das praias da Ilha de Mosqueiro (Figura 52).

Tabela 25. Resultado da vulnerabilidade costeira a erosão das praias analisadas da Ilha de Mosqueiro.

Índice de Vulnerabilidade Costeira		
Praias	Valor do IVC	Classificação do IVC
Bacuri	5	Alta
Baía do sol (leste)	3,5	Moderada
Baía do sol (oeste)	2,5	Moderada
Paraíso (leste)	5,5	Alta
Paraíso (centro)	5	Alta
Paraíso (oeste)	5	Alta
Caruara	4,5	Moderada
Marahu (Leste)	2,5	Moderada
Marahu (centro)	5	Alta
Marahu (oeste)	3	Moderada
Carananduba	3,5	Moderada
São Francisco (noroeste)	5	Alta
São Francisco (sudoeste)	4,5	Moderada
Ariramba (noroeste)	5	Alta
Ariramba (sudoeste)	4,5	Moderada
Murubira	5,5	Alta
Porto Arthur	6	Alta
Chapéu Virado	4,5	Moderada
Farol	5,5	Alta
Prainha	5,5	Alta
Grande	6	Alta
Bispo (norte)	6	Alta
Bispo (central)	5,5	Alta
Bispo (sul)	6,5	Alta
Areião (norte)	4	Moderada
Areião (sul)	4,5	Moderada

*Cinza médio: setor norte; cinza claro: setor noroeste; cinza escuro: setor oeste.

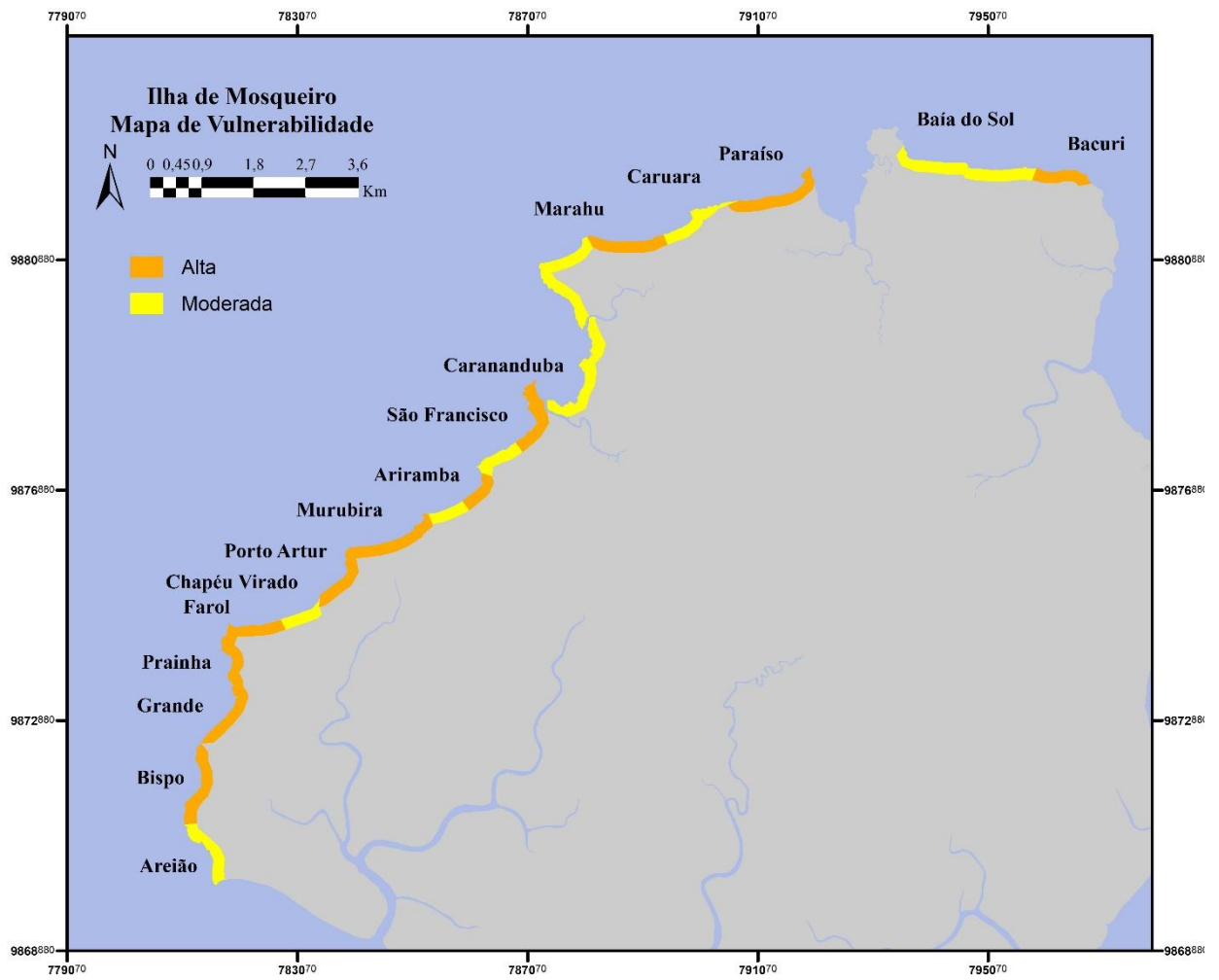


Figura 52. Mapa geral da Vulnerabilidade Costeira das praias da Ilha de Mosqueiro. Fonte: Autor.

6.6 GRAU DE RISCO

Ao relacionar os dados da vulnerabilidade costeira somado aos da proximidade das construções em relação à LC, os resultados obtidos para as praias analisadas da Ilha de Mosqueiro revelam que a maioria está sob acentuado e moderado grau de risco à danos provocados por erosão (deslizamentos de encosta com ocupação, perda parcial ou total de patrimônio, etc) (Tabela 26). No primeiro caso estão as praias: Bacuri, Baía do Sol (porção leste), Paraíso (porção leste, centro e oeste), Caruara, Marahu (porção centro), São Francisco, Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Chapéu Virado, Farol, Prainha, Grande, Bispo e Areião) e no segundo, apenas as praias: Baía do Sol (porção oeste), Marahu (porções leste e oeste), Carananduba) (Figura 53).

Tabela 26. Grau de risco das praias da ilha de Mosqueiro, como resultado da relação da classificação do IVC e posição das construções.

(continua)

Praia	Classificação do IVC	Posição das Construções	Grau de Risco
Bacuri	Alta	Muito próxima	Acentuado
Baía do sol (leste)	Moderada	Muito próxima	Moderado
Baía do sol (oeste)	Moderada	Muito próxima	Moderado
Paraíso (leste)	Alta	Muito próxima	Acentuado
Paraíso (centro)	Alta	Muito próxima	Acentuado
Paraíso (oeste)	Alta	Muito próxima	Acentuado
Caruara	Moderada	Muito próxima	Moderado
Marahu (Leste)	Moderada	Próxima	Moderado
Marahu (centro)	Alta	Muito próxima	Acentuado
Marahu (oeste)	Moderada	Próxima	Moderado
Carananduba	Moderada	Próxima	Moderado
São Francisco (noroeste)	Alta	Muito próxima	Acentuado
São Francisco (sudoeste)	Moderada	Muito próxima	Moderado
Ariramba (noroeste)	Alta	Muito próxima	Acentuado
Ariramba (sudoeste)	Moderada	Muito próxima	Moderado
Murubira	Alta	Muito próxima	Acentuado
Porto Arthur	Alta	Muito próxima	Acentuado
Chapéu Virado	Moderada	Muito próxima	Moderado

(conclusão)

Praia	Classificação do IVC	Posição das Construções	Grau de Risco
Farol	Alta	Muito próxima	Acentuado
Prainha Grande	Alta	Muito próxima	Acentuado
Bispo (norte)	Alta	Muito próxima	Acentuado
Bispo (central)	Alta	Muito próxima	Acentuado
Bispo (sul)	Alta	Muito próxima	Acentuado
Areião (norte)	Moderada	Muito próxima	Moderado
Areião (sul)	Moderada	Próxima	Moderado

*Cinza médio: setor norte; cinza claro: setor noroeste; cinza escuro: setor oeste.

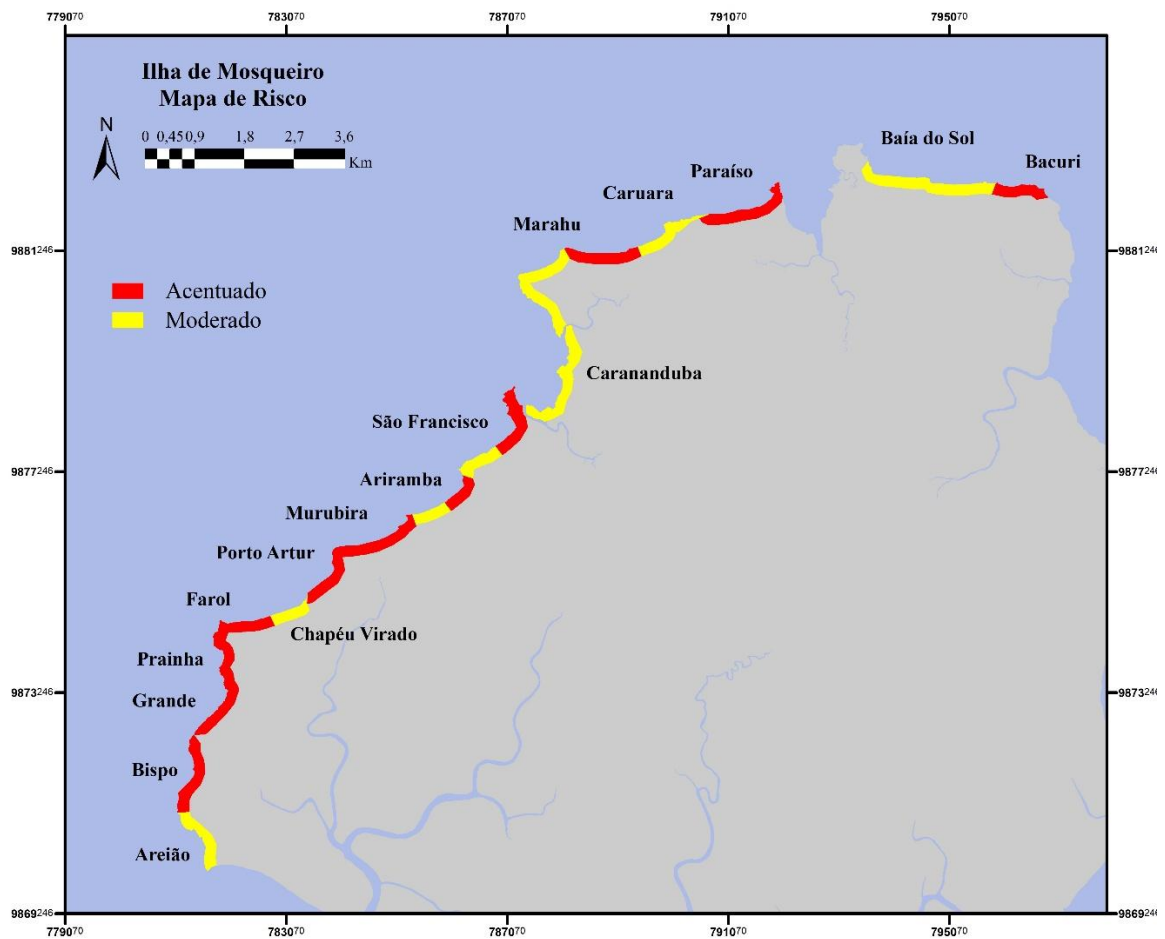


Figura 53. Mapa de risco costeiro nas praias da Ilha de Mosqueiro. Risco acentuado em vermelho e Risco moderado em amarelo. Fonte: Autor.

7 DISCUSSÃO

A maioria das praias da Ilha de Mosqueiro analisadas nesta pesquisa, apresentaram valores altos em seus índices de vulnerabilidade costeira (IVC), ou seja, classificação de alta vulnerabilidade à erosão. Exceções ocorreram nas praias da Baía do Sol, Caruara, Marahu (porções leste e oeste), Carananduba, São Francisco (porção sudoeste), Ariramba (porção sudoeste), Chapéu Virado e Areião que obtiveram moderada vulnerabilidade, devido apresentarem pesos de valor mais reduzidos nos indicadores de erosão costeira, que totalizam o IVC.

Ao analisar os setores da ilha de Mosqueiro, verifica-se que o oeste é o mais vulnerável, seguido do noroeste e norte, que integram as praias citadas acima, com o IVC moderado em sua totalidade ou parcialmente. Logo, todos os setores devem permanecer em monitoramento contínuo, devido apresentarem predominância de alta vulnerabilidade à erosão, com maior atenção a ser destinada ao Setor Oeste, que apresentou os maiores IVC nas suas praias.

Em relação às especificações de cada geoindicador que compõem o cálculo do IVC:

I) A declividade baixa a moderada nas praias decorre da granulometria predominante nelas. Na maioria das praias analisadas a granulometria areia média esteve associada à moderada declividade ($>2^\circ$). Diferindo-se apenas Ariramba e Areião (porção sul), com areia fina e baixa declividade ($<2^\circ$). As praias são ambientes muito dinâmicos e suas características morfológicas refletem seus agentes modificadores (ondas ou marés) (Baptista Neto *et al.* 2004), destacando-se a maré na Ilha de Mosqueiro, cuja algumas praias estuarinas são mais abrigadas da ação de ventos e de ondas local (setor oeste), e outras menos abrigadas da ação dos ventos e, consequentemente, sujeitas a ação de ondas local (setores norte e noroeste), que são frequentemente classificadas como de baixa energia (Oliveira *et al.* 2021, Jackson *et al.* 2002). Embora estas praias sejam dominadas por marés, quando ondas também incidem na costa, elas atuam como agente físico intensificador para mobilização sedimentar.

II) No levantamento topográfico foi possível observar em algumas praias – Bacuri, Baía do Sol (porção oeste), Paraíso (porção oeste), Caruara, Marahu, Chapéu Virado e Prainha –, padrões de variação sazonal em seu balanço sedimentar, nas quais durante o período menos chuvoso houve acreção de sedimentos na face praial. O desenvolvimento de perfis topográficos de verão (acumulação) e inverno (erosão) em praias é o indicativo de consideráveis modificações na hidrodinâmica entre as estações do ano (Alves 2001). As mudanças sazonais representam uma resposta dos perfis às variações de amplitude de maré, de energia das ondas,

correntes e ventos, à disponibilidade de sedimentos da área-fonte, bem como à compartimentação e ao gradiente costeiro (Nordstrom 1992, McLaren 1981, Morton, 1996).

Quando a praia apresenta poucas variações sedimentares, atinge perfil aproximadamente estável (baixas variações, balanço sedimentar mais equilibrado). Isto ocorreu na Baía do Sol (porção leste), Paraíso (porção centro), São Francisco (porção sudoeste), Ariramba (porção sudoeste), Murubira, Grande, Bispo (porção centro) e Areião (porção norte). As praias do Paraíso (porção nordeste), Carananduba, São Francisco (porção nordeste), Ariramba (porção nordeste), Porto Arthur, Farol, Bispo (porções norte e sul) e Areião (porção sul) apresentaram balanço sedimentar negativo da estação chuvosa (inverno amazônico) a menos chuvosa (verão amazônico), onde esperava-se o contrário: uma tendência erosiva durante o inverno (maior hidrodinâmica) e uma tendência acrecional no verão (Bruun 1962).

França (2003), quando estudou a Praia Grande (Ilha do Marajó, Brasil) e, Harris *et al.* (2020), quando investigou a praia estuarina de Shoal Bay (Anguilla, Mar do Caribe), também encontraram esses resultados contraditórios, o que pode representar uma característica particular de algumas praias estuarinas ou adjacentes à estuários. Dentro de um mesmo estuário podem-se observar praias com uma grande variedade de formas, tamanhos e composições, refletindo a variação nas condições do vento, ondas e correntes, além de alterar as características dos sedimentos provenientes das áreas fontes, da topografia, do crescimento vegetal e das atividades humanas (Fisher, 2005).

III) A variação da LC apresentou acreção como processo costeiro dominante e portanto, avanço da LC, na maioria das praias: Bacuri, Baía do sol, Carananduba, Marahu, São Francisco, Murubira, Ariramba, Porto Artur, Chapéu Virado, Farol, Prainha e Areião, enquanto as demais (Paraíso, Caruara, Grande e Bispo) apresentaram recuo costeiro (Figura 10). Destaca-se a praia do Areião com maior acreção de LC e ganho de área (no período de 2006-2020). Isso deve-se ao desenvolvimento de uma barra arenosa alta e longa próximo à LC em sua porção norte, que favorece além do acúmulo sedimentar costeiro, a proteção contra erosão. Foi verificado que praias ou setores diferenciam entre si, no contexto em que algumas há mais residências ou comércios próximos a praia e, por consequência, em sua maioria foi necessária a construção de muros de arrimo, enrocamentos, calçadas, entre outros, para impedir o avanço da erosão em direção a essas edificações, favorecendo menores variações na LC e, inclusive acreção por estruturas artificiais em alguns casos.

IV) As praias que apresentam falésias, em toda a sua extensão ou em maior parte delas (Bacuri, Paraíso, Caruara, Marahu (porções leste e oeste), Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Grande, Bispo e Areião – porção norte), são a maioria em relação as que não possuem (Baía do Sol – porção leste, Marahu – porção centro, Carananduba, São Francisco, Chapéu Virado, Farol, Prainha e Areião – porção sul) ou possui em menor parte (Baía do Sol – porção oeste). Apesar de semelhante composição estratigráfica, a atuação dos agentes físicos proporciona diferentes resultados erosivos. Isso se deve à presença de clastos grosseiros e/ou compactação mais resistente em algumas porções, dificultando a erosão de sua face. Mesmo havendo falésias com alto grau de erosão (falésias ativas), estas proporcionam mais proteção às suas linhas de costa, do que aquelas sem tal feição geomorfológica.

V) A presença de barreiras naturais, como os consecutivos promontórios e enseadas na Ilha, influencia o modo como as ondas e as correntes de marés atuam na dispersão e deposição dos sedimentos, e interferem na evolução da linha de costa de médio a longo prazo. Além disso são observados afloramentos lateríticos, em especial nas praias do Bispo e Grande (também verificado em outras praias, porém em menor escala), em conjunto com plataforma de abrasão e bancos de cascalho (França *et al.* 2020) que se tornam mais expostos quando o sedimento praiial é removido. Estes também auxiliam na dissipação da energia das ondas tornando estas praias mais protegidas neste quesito (Muehe 2001).

VI) A elevação é variável (2 a 14 m), sendo menores em São Francisco, Prainha e Areião (porção sul). Em períodos mais energéticos, as costas mais baixas estão mais propensas às ações de ondas e inundações provocadas por grandes preamares de sizígia, que podem acelerar ainda mais o processo erosivo incidente na atualidade.

VII) A vegetação auxilia na proteção costeira e funciona como retentora de sedimentos. Mas em muitos casos, a interferência antrópica retira a vegetação local, para realizar algum tipo de obra de construção, o que torna esses locais mais vulneráveis ao intemperismo e a erosão, devido a maior exposição dos sedimentos e facilidade de sua remoção. Além de comprometer o aporte sedimentar para a praia (Morais *et al.* 2008). No geral, foi encontrada em maior evidência a classe de vegetação bem estabelecida com grama/gramínea e arbustos (mais de 50% do pós-praia ou setor). No entanto, nas praias da Ilha de Mosqueiro nota-se que a vegetação é mais abundante no setor norte, principalmente arbórea, enquanto nos setores noroeste e oeste é mais espaça.

VIII) Entre todas as praias analisadas, 10 (Bacuri, Paraíso, Marahu, Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Prainha, Grande, Bispo e Areião) possuem estrutura de contenção à erosão, os muros de arrimo; em algumas (Caruara, Paraíso e São Francisco) são observados enrocamentos ou sacos de areia colocados pontualmente pelos próprios moradores. Todas essas estruturas são utilizadas com a função de diminuir ou interromper o avanço da erosão. Em alguns casos, como na praia do Paraíso, o muro de arrimo foi erodido e destruído pela forte incidência de ondas, durante maré alta de sizígia. Isso fez com que danos fossem gerados, porém o muro foi reconstituído posteriormente (Figura 54).



Figura 54. Imagem da praia do Paraíso (porção central): a) Erosão no muro de arrimo e geração de dano. Foto registrada em: 28/02/2021, e b) Muro reconstruído. Foto registrada em: 08/10/2021. Fonte: Autor.

XI) Foi verificado que a maioria das praias, ao todo nove (Bacuri, Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Chapéu Virado, Farol, Prainha, Grande e Bispo), apresentam alta percentagem de ocupação em relação as outras (Baía do Sol, Paraíso, Caruara, Marahu, Carananduba, São Francisco e Areião), que obtiveram moderada percentagem de ocupação. Interferências antrópicas influenciam na dinâmica costeira das praias estuarinas, aqui analisadas, aumentando a vulnerabilidade à erosão e, principalmente, o risco costeiro, visto que diversas formas de ocupação do solo são frequentes na Ilha de Mosqueiro, sejam as estruturas imobiliárias (casas, comércio, pequenos edifícios e hotéis), orlas e ruas/estradas. Áreas mais próximas às praias da Ilha estão sobre maior pressão da expansão urbana e especulação imobiliária, isso porque são mais cobiçadas pela beleza cênica e também em função do turismo de recreação e lazer, procurados de maneira mais intensa no período do veraneio. O aumento do número de

edificações e estradas no pós-praia é fator condicionante à potencialização do balanço sedimentar negativo que, quando associado a processos erosivos recorrentes, contribui para o recuo da linha de costa (Guerra & Manso 2004).

IX) A permeabilidade do solo foi classificada de acordo com os resultados obtidos da percentagem de ocupação, uma vez que são indicadores inversamente proporcionais. Devido a isso, esse índice encontra-se seriamente afetada pela ocupação (Bacuri, Ariramba, Murubira, Porto Arthur, Chapéu Virado, Farol, Prainha, Grande e Bispo) e moderadamente afetada por ela (Baía do Sol, Paraíso, Caruara, Marahu, Carananduba, São Francisco e Areião). Isto porque, a urbanização diminui a permeabilidade do solo, pois quanto maior a ocupação, maior é a impermeabilidade, que é influenciada pela pavimentação crescente e pelo aumento quantitativo de edificações que acompanha o desenvolvimento urbano (Santos *et al.* 2017).

O risco costeiro acentuado ou moderado, de forma geral teve esse resultado, pois a ocupação humana (construções de residências, comércios, restaurantes, bares, prédios) está posicionada muito próxima ou próxima à LC. Além disso, o risco deve ser relacionado ao fator vulnerabilidade costeira, que é alta na maioria das praias da ilha ou moderada em menor quantidade. Por isso, a maioria das construções adjacentes à LC na ilha de Mosqueiro, estão expostas à risco de degradação de imóveis e estruturas públicas, que incluem além da perda material, o perigo de vida associado à deslizamento de encostas e residências, por exemplo.

Os resultados encontrados na ilha de Mosqueiro são semelhantes aos das praias do Paiva e da Piedade pertencentes ao litoral de Pernambuco (Brasil), que apresentaram vulnerabilidade média e alta respectivamente (Menezes *et al.* 2018). O mesmo ocorreu na praia setorizada de Massaguaçu, (litoral norte de São Paulo, Brasil), dividida em setor 1, 2 e 3, que obteve vulnerabilidade moderada, alta e moderada respectivamente (Sousa *et al.* 2013). Todas foram embasadas em dez geoindicadores. França *et al.* (2020) obteve resultados de média erosão na parte centro-sul da praia Grande, e alta erosão na parte norte e praia do Bispo, sendo esses resultados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa. Vale ressaltar que os resultados podem ser influenciados pela quantidade de geoindicadores, pela intensidade da erosão costeira e de como estes indicadores corroboram entre si para a erosão.

Estudos na costa amazônica brasileira também identificaram o mesmo, como o de Pereira *et al.* (2014), realizado nas praias da Princesa e Ajuruteua, que observou uma série de fatores antropogênicos, como por exemplo estruturas na praia mal construídas e localizadas, podem adicionar riscos e vulnerabilidade às praias. Processos de erosão normalmente

ocorreram durante os períodos equinociais, afetando as edificações à beira-mar parcial ou totalmente e consequentemente ocasionando dano. Outro estudo foi o de Braga *et al.* (2019), em que verificou elevada vulnerabilidade atual à ação energética em meio aquático nas praias do Maçarico/Corvina, Farol Velho e Atalaia em Salinópolis. Isso acarreta na destruição de estruturas comerciais e residenciais que estão construídas inadequadamente sobre as praias. Além do mais, estas impedem o transporte de sedimentos entre as zonas praiais, provocando erosão.

8 CONCLUSÃO

A análise da vulnerabilidade à erosão costeira das praias estuarinas na Ilha de Mosqueiro, propostas nesta pesquisa, alcançou o objetivo proposto, sendo realizada e embasada em 10 geoindicadores obteve-se o resultado de alta vulnerabilidade em 8 praias das 16 avaliadas, confirmando a hipótese 1 deste estudo. Para uma análise ainda mais ampla, também foi encontrado acentuado grau de risco para os imóveis implantados próximos à LC e, consequentemente, potenciais danos à população. Foi observado também que a presença de falésias ativas, muro de arrimo e elevada porcentagem de ocupação destacaram-se como favorecedores para este resultado, devido ao alto IVC obtido somado ao posicionamento das construções humanas próximo às praias, refletindo na confirmação da hipótese 2 da pesquisa.

Os indicadores investigados se mostraram válidos para adquirir informações sobre as áreas vulneráveis aos processos erosivos da costa. O método adaptado deste estudo para as praias estuarinas, também pode ser aplicado em outras praias, sendo possível adicionar mais geoindicadores ou modificá-los de acordo com o objetivo da pesquisa. Visto que se mostra uma ferramenta interessante a ser utilizada no planejamento urbano para minimizar futuros impactos da erosão costeira.

O monitoramento de longo prazo é recomendado para que sejam obtidas informações mais acuradas sobre a dinâmica das praias da Ilha de Mosqueiro. Visto que após verificar quais ações são implantadas para prevenir ou minimizar a erosão costeira na região, obteve-se predominantemente a construção de muro de arrimo, entretanto esta pode resultar na alteração no perfil praial a longo prazo. Além disso, vale ressaltar que praias sem falésia, mesmo possuindo outra feição morfológica que a proteja atualmente, em caso de elevação do nível do mar, poderá ser afetada diretamente.

Este estudo fornece informações que podem auxiliar na tomada de decisões e na escolha de quais medidas de mitigações podem ser realizadas de acordo com os dados apresentados, e assim reduzir os prejuízos causados pela erosão costeira. Além de que esta pesquisa visa contribuir para o conhecimento da região, e dar suporte para futuras pesquisas sobre o grau de vulnerabilidade costeira à erosão em praias amazônicas. O que reforça a importância desta análise e do contínuo monitoramento costeiro através do uso dos geoindicadores.

REFERÊNCIAS

- Alves M.A.M.S. *Morfodinâmica e sedimentologia da praia de Ajuruteua, Nordeste do Pará*. 2001. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 104 p.
- Agência Belém: Notícias. 2022. Disponível em: <https://agenciabelem.com.br/Noticia/143295/prefeito-faz-visita-tecnica-e-anuncia-parceria-em-projeto-para-conter-erosao-em-mosqueiro>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- Amaro V.E., Lima F.G.F., Santos M.S.T. 2013. Na evaluation of Digital Elevation Models to short-term monitoring of a high energy barrier island, Northeast Brazil. *World Academy of Science. Engineering and Technology*, **76**: 317-324.
- Andrade T., Sousa P., Siegle, E. 2019. Vulnerability to beach erosion based on a coastal processes approach. *Applied Geography*, **102**: 12-19.
- Araújo I., Gomes E., Gonçalves R., Queiroz H. 2019. Estimativa do índice de vulnerabilidade à erosão costeira (IVC) para o litoral do Piauí, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **20** (1), 105-118.
- Baptista Neto J.A., Ponzi V.R.A., Sichel S.E. (orgs.). 2004. Introdução à Geologia Marinha. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 279 p.
- Bird E.C.F. 2008. Coastal Geomorphology: An introduction (2nd edition). Chinchester, Wiley & Sons Ltd, 448 p.
- Borges M.S., Angélica R.S., Costa M. L. 1986. Levantamento Geológico da Ilha do Mosqueiro – Estado do Pará. In: I Congresso de TCC e I Feira de Ciência e Tecnologia da UFPA, Belém (PA). Resumo dos Trabalhos. p. 22.
- Borges M.S., Costa, J.B.S., Bemerguy, R.L., Ferreira J.R., C.R.P., Hasui, Y.A. 1995. Esculturação da Paisagem do Litoral Norte do Brasil e sua Relação com os Movimentos Neotectônicos do Quaternário. In: SBG/RS e CPGQ/UFRGS, Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Porto Alegre. *Resumos expandidos*. v. 5, p. 423-424.
- Boruff B.J., Emrich, C., Cutter, S.L. 2005. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*, **21** (5): 932-942.

- Brand E., Montreuil, A.L., Houthuys, R., Chen M. 2020. Relating Hydrodynamic Forcing and Topographic Response for Tide-Dominated Sandy Beaches. *Journal of Marine Science and Engineering*, **8**: 151.
- Braga R., Pimentel M., Coelho C., Szlafsztein, C., Rollnic, M. 2019. Vulnerabilidade diante da ação energética do mar: Estudo de caso no Município de Salinópolis, Zona Costeira Amazônica, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, **19**: 245-264.
- Bruun P. 1962. Sea level, rise as a cause of shore erosion. Journal Waterways and Harbor Division. *American Society of Civil Engineers*, **88** (1):117-130.
- Bush D.M., Neal W.J., Young R.S., Pilkey O.H. 1999. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal hazard risk and mitigation. *Ocean and Coastal Management*. **42**(8): 647–670.
- Butler R.W. 1980. The concept of a tourist area cycle of evolution: implications for management of resources. *Canadian Geographer*, **24**: 5-12.
- Carvalho C.A. 2007. *Estudo morfoestratigráfico e sedimentológico dos depósitos holocênicos da planície costeira de Maracanã – NE do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 129 p.
- Carvalho V.C. & Rizzo H.G. 1994. A zona costeira brasileira: subsídios para uma avaliação ambiental. Brasília, Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, 211 p.
- Carvalho C.A. 2003. *Caracterização textural e mineralógica dos minerais leves na Plataforma Continental do Pará (entre a foz dos Rios Pará e Gurupí)*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p. 84.
- Clark J. 1996. Integrated Coastal Zone Management – A world wide Challenge to Comprehend – Shoreline and Coastal Waters as Single Unit. *Sea Technology*, Virginia, USA, **37** (6).
- Costa W.J.P. & El-Robrini M. 1992. Evolução morfoestrutural de uma ilha estuarina: ilha de Mosqueiro – Baía de Marajó – Norte/Brasil. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. Anais. v.1, p. 197.
- Costa, J.B.S., Borges, M.S., Bemerguy, R.L., Fernandes, J.M.G., Costa Jr., P.S., Costa, M.L.A. 1993. Evolução Cenozóica da Região de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará. *Geociências (UNESP)*, **12** (2): 373-396.

- Costa J.B.S., Hasui Y., Borges M.S., Bemerguy R.L., Saadi A., Costa Jr., P.S. 1994. Arcabouço Tectônico Mesoceno-zóico da Região da Calha do Amazonas. *In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Resumos expandidos*. v. 4, p. 7-50.
- Costa J.B.S., Bemerguy, R. L., Hasui, Y., Borges, M. S., Ferreira Jr, C. R. P., Bezerra, P. E. L., Costa, M. L., Fernandes, J. M. G. 1996. Neotectônica da Região Amazônica: Aspectos Tectônicos, Geomorfológicos e Depositionais. *Geonomos*, **4** (2), 23-44.
- Costa C. & Blanco C. 2018. Influence of Climate Variability on Erosivity in Belém (PA). *Revista Brasileira de Meteorologia*, **33**: 509-520.
- Cutter S. 2011. Ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista crítica de Ciências Sociais*, **93**: 59-69.
- Dal Cin R. & Simenoni U. 1994. A model for determining the Classification, Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research*, Florida, **10** (1): 18-26.
- Duncan J.R. 1964. The effects of water table and tidal cycle on swash-backwash sediment distribution and beach profile development. *Marine Geology*, **2**: 186-197.
- Davis R. A. 1985. Coastal Sedimentary Environments. New York, Springer-Verlag, 716 p.
- Dominguez J.M.L. 1983. *Evolução quaternário da planície costeira associada a foz do rio Jequitinhonha (BA): Influencia das variações do nível do mar e da deriva litorânea dos sedimentos*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade da Bahia, Salvador, 73 p.
- Dolan A.H. & Walker I.J. 2004. Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks. *Journal of Coastal Research*, **39**: 1316-1323.
- El-Robrini M.H.S. 2001. *Variabilidade morfológica e sedimentar de praias estuarinas da Ilha do Mosqueiro*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p.85.
- El-Robrini M., Silva M.A.M.A., Filho P.W.M.S., El-Robrini M.H.S., Júnior O.G.S., França C.F. 2006. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro – Pará. *In: Muehe D. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 476.
- Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/283915016_EROSAO_E_PROGRADACAO_DO_LITORAL_BRASILEIRO_PARA. Acesso em: 5 mar. 2021.

- Fisher A. 2005. *Morfodinâmica do “saco do laranjal”: costa nordeste do estuário da laguna dos Patos – RS*. MS Dissertation. Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 160 p.
- França C.F. 2003. *Morfologia e mudanças costeiras da margem Leste da ilha de Marajó*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 144 p.
- França C., Silva R., Júnior J., Araújo F. 2020. Erosão da orla costeira grande-bispo, ilha de Mosqueiro, Belém - PA, através da análise de indicadores. *Geografia Ensino & Pesquisa*, **24**:1-20.
- Folk R.L. & Ward W. C. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, **27**: 3-26.
- Fonza B.C. 1994. A circulação atmosférica na América do Sul, os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetória. *Caderno de Geociências*, **11**: 11-33.
- Grupo Mixto de Expertos sobre los aspectos científicos de la contaminación del mar (Gesamp). 1997. *The Contributions of Science to Integrated Coastal Management*. Roma. (Relatório n. 61).
- Gonzalez A., Andreol R.V., Candido L.A., Kayano M.T., Souza R.A.F. 2013. A influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. *Acta Amazonica*, **43**: 469-480.
- Gornitz V. 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **89**: 379-398.
- Gruber N.L.S., Barboza E.G., Nicolodi J.L., 2003. Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para a gestão integrada da zona costeira. *Gravel*, **1**: 81-89.
- Guerra N.C. & Manso V.A.V. 2004. Beachrocks (Recifes de Arenito). In: ESKINAZI-LEÇAE. (Orgs.), *Oceanografia: um cenário tropical*. Recife, p. 109-130
- Halpern B.S., Walbridge S.W., Selkoe K.A., Kappel C.V., Micheli F., D'agrosa C., Bruno, J., Casey K., Ebert C., Fox H., Fujita R., Heinemann D., Lenihan H., Madin E., Perry M.,

- Selig E., Spalding M., Steneck R., Watson R. 2008. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science*, **319**: 948-52.
- Halpern B., Longo C., Hardy D., Mcleod K., Samhouri J., Katona S., Kleisner K., Lester S., O'Leary J., Ranelletti M., Rosenberg A., Scarborough C., Selig E., Best B., Brumbaugh D., Chapin III F. S., Crowder L., Daly K., Doney S., Zeller D. 2012. An index to assess the health and benefits of the global ocean. *Nature*, **488**: 615-20.
- Harris D. L., Vila-Concejo A., Austin T., Benavente J. 2020. Multi-scale morphodynamics of an estuarine beach adjacent to a flood-tide delta: Assessing decadal scale erosion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **241**: 1-12.
- Hasui Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: SBG / MG, Workshop sobre neotectônica e sedimentação cenozóica continental no sudeste brasileiro, Belo Horizonte. *Anais*. p.1-31.
- Héquette A., Hemdane Y., Anthony E.J. 2008. Sediment transport under wave and current combined flows on a tide dominated shoreface, northern coast of France. *Marine Geology*, **249**: 226-242.
- Horbe A.M.C. & Costa M.L. 1997. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílico-ferruginosas. *Acta Amazônica*, **27** (4): 241-256.
- Hoefel F.G. 1998. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: Uma revisão bibliográfica. Itajaí, Univali, 92 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Portal cidades. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 28 out. 2020.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Portal cidades. 2020.. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=42472>. Acesso em: 02 jun. 2020.
- Igreja H.S., Borges M.S., Alves R.J., Costa Jr, P.S., Costa J.B.S. 1990. Estudos neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro –Nordeste do Estado do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Natal. *Anais*. v. 3, p. 2110-2124.
- Jackson N.L., Nordstrom K.F., Eliot I., Masselink, G. 2002. 'Low energy' sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*, **48** (1-3): 147-162.

- Lins-de-Barros F.M. 2005. *Risco de Vulnerabilidade à Erosão Costeira no Município de Maricá*. MS Dissertation, Instituto de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 147 p.
- Lins-de-Barros F.M., Klumb-Oliveira L.A., Lima R.F. 2018. Avaliação histórica da ocorrência de ressacas marinhas e danos associados entre os anos de 1979 e 2013 no litoral do estado do Rio de Janeiro (Brasil). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, **18**: 85-102.
- Lozoya J.P, Sardá R., Jiménez J.Á. 2011. Beach multi-risk assessment in the Costa Brava (Spain). *J. Coast. Res*, **61**: 408-414.
- Luijendijk A., Hagenaaars G., Ranasinghe R. Fedor B., Gennadii D., Stefan A. 2018. The State of the World's Beaches, *Sci Rep*, **8**: 6641.
- Pereira L.C.C., Vila-Concejo A., da Costa R.M., Short A.D. 2014. Managing physical and anthropogenic hazards on macrotidal Amazon beaches, *Ocean & Coastal Management*; **96**: 149-162.
- Katzer F. 1933. Geologia do Estado do Pará. *BoI. Museu Paraense Emilio Goeldi*, **9**: 260.
- Komar P.D. 1976. Beach process and sedimentation. New Jersey, Prentice-Hall, 429 p.
- Köppen W. 1918. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. *Petermanns Geogr Mitt*, **64**: 193-203.
- Mallman D.L.B. & Araújo, T.C.M. 2010. Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à erosão. *Tropical Oceanography*, **38** (2): 129-151.
- Martins L.R. & Barboza E.G. 2006. Zona Costeira: Um Desafio Constante. *Gravel*, **3**: 1-2.
- Martins K.A., & Pereira P.S. 2014. Coastal erosion at Pau Amarelo beach, northeast of Brazil. *Journal of Coastal Research*, **7**: 17-23.
- Mahony C.O., Ferreira M., Fernandez-Palacios Y., Cummins V., Haroun R. 2009. Data availability and accessibility for sustainable tourism: an assessment involving different European coastal tourism destinations. *J. Coast. Res*, **56**: 1135-1139.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2006. Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada. Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasília, p.74.

- Mazzer A.M., Dillenburg S.R., Souza C.R.G. 2008. Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **38** (2): 278-294.
- McLaren P. 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *Journal of Sedimentary Petrology*, **51** (2): 611-624.
- McLaughlin S., McKenna J., Cooper J.A.G. 2002. Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coastal Research*, **36**: 487–497.
- Menezes A., Pereira P., Gonçalves R., Araújo T., Sousa P. 2018. Análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (PE), Brasil. *Geociências*, **37**: 455-465.
- Menezes A., Pereira P., Gonçalves R., Queiroz H. 2020. O Uso de Geoindicadores para Avaliação da Vulnerabilidade à Erosão Costeira na Praia do Forte Orange (Ilha de Itamaracá-PE, Brasil). *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, **43**: 250-259.
- Morais J.O. 1996. Processos e Impactos Ambientais em Zonas Costeiras. *Revista de Geologia da UFC*, **9**: 191-242.
- Morais J. O., Pinheiro L.S., Cavalcante A.A., Paula D.P., Silva R.L. 2008. Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **82**: 61-76.
- Moraes B.C., Costa J.M., Costa A.C.L., Costa M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Acta Amazônica*, **35** (2): 207-214.
- Moreira F.A., Dias G.F.M., Vitorino M.I., Silva J.C.C. 2019. Efeitos da precipitação e topografia para o risco de inundações na cidade de Belém-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **12** (7): 2716-2728.
- Moreira S., Conceição C., Cruz M., Junior A. 2018. A Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a dinâmica climática da região Amazônica. *Multidisciplinary Reviews*, **1**: 1 - 7.
- Morton R.A. 1991. Accurate shoreline mapping; past, present, and future. *Coastal Sediments*, **91**: 997-1010.
- Morton R.A. 1996. Coastal geoindicators of environmental change in the humid tropics. *Environmental Geology*, **42** (7): 711-724.

- Muehe D. 2001. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de Limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **2** (1): 35-44.
- Muehe D. 2005. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator*, **4** (7): 1984-2201.
- Muehe D. 2006. Erosão e progradação do litoral brasileiro. Brasília, MMA, 476 p.
- Murali R. M., Ankita M.S., Vethamony P. 2013. Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India, using the analytical hierarchical process. *Natural Hazards Earth Syst. Sci*, **13**: 3291-3311.
- Nicholls R. & Cazenave A. 2010. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science*, **328**: 1517-1520.
- Nicolodi J.L. 2008. Documento síntese do I Simpósio Nacional sobre Erosão Costeira. Brasília, BR: Ministério do Meio Ambiente - MMA, p.25.
- Nordstrom K. 1992. Estuarine beaches. London, Elsevier Science Publishers, 225 p.
- Nordstrom K.F. & Roman C.T. 1996. Estuarine shores: evolution, environments and human alterations. Chichester, John Wiley e Sons, 486 p.
- Nunes M., Ferreira Ó., Schaefer M., Clifton J., Baily B., Moura D., Loureiro C. 2009. Hazard assessment in rock cliffs at Central Algarve (Portugal): A tool for coastal management. *Ocean & Coastal Management*, **52**: 506-515.
- Ogston A.S., Sternberg R.W., Nittrouer C.A. 2005. New advances in fine-sediment transport. In: Brink, K.H. & Robinson, A.R. (Ed.). *The Sea, the global coastal ocean, multiscale interdisciplinary processes*. New York, Wiley, 101–128 p.
- Oliveira F.S.R., Reis F.B., Fernandez G.B. 2021. Morfodinâmica de praias estuarinas de baixa energia durante dragagem de aprofundamento do canal da Galheta, Paranaguá–PR. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **14** (04): 1924-1940.
- Palheta E.S.M. 2008. *Estudo da compartimentação e arcabouço neotectônico da Ilha de Mosqueiro – Pará empregando na prospecção hídrica subterrânea*. MS Dissertation, Instituto de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 269 p.
- Prasetya G. 2007. The role of coastal forests and trees in protecting against coastal erosion. In: Braatz S., Fortuna S., Broadhead J., Leslie R. (Eds.). *Coastal protection in the aftermath*

of the Indian Ocean tsunami: What role for forests and trees?. Thailand, Proceedings of the Regional Technical Workshop, p.103–132.

- Prefeitura Municipal de Belém: Mosqueiro. 2020. Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/ver-belem/detalhe.php?p=233&i=1>. Acesso em: 02 jun. 2020.
- Projeto Orla. 2004. Subsídios para um projeto de gestão / Brasília: MMA e MPO. 104 p.
- Ranieri L.A. 2014. *Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis (Nordeste do Pará)*. PhD Thesis, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 195 p.
- Ranieri L.A. & El-Robrini, M. 2016. Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina - Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, **16** (2): 133-146.
- Ribeiro J.S., Sousa P.H.G.O., Vieira D.R., Siegle E. 2013. Evolução da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia de Massaguaçu (SP), Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, **13** (3): 253–265.
- Rodríguez J.J., Windevoxhel N.J. 1998. Análisis Regional de la Situación de la Zona Marina Costera Centroamericana. Banco Inter-Americano de Desenvolvimento BID. Washington, 121 p.
- Romero V., Marcuzzo F.F.N., Cardoso M.R.D. 2014. Tendência do número de dias de chuva no Estado de Goiás e a relação dos seus extremos com o índice oceânico Niño. *Boletim Goiano de Geografia*, **34**: 567-584.
- Rosário R.P. 2016. *Análise de processos oceanográficos no estuário do Rio Pará*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 137 p.
- Short A.D. & Hesp P.A. 1982. Wave Beaches and Dunes Interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*, **48**: 259- 284.
- Spörl C. 2007. *Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais*. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 134 p.
- Sunamura T. 1992. *Geomorphology of Rocky Coasts*. New York, John Wiley and Sons, 302 p.
- Schlacher T.A., Dugan J., Schoeman D.S., Lastra M., Jones A., Scapini F., McLachlan A., Defeo O. 2007. Sandy beaches at the brink. *Diversity and Distributions*, **13** (5): 556–560.

- Sales G.M. 2005. *Ecologia da paisagem da Ilha do Mosqueiro, NE do Estado do Pará*. MS Dissertation, Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 120 p.
- Shaw J., Taylor R.B., Forbes D.L., Ruz M. H., Solomon S. 1998. Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise. Canada, Geological Survey of Canada, 78 p.
- Santos K.A., Rufino I.A.A., Filho M.N.B. 2017. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **22** (5): 1-10.
- SEMA 2010. Matas ciliares: preservá-las é nosso dever. Secretaria de Ciência, tecnologia e Meio Ambiente – SECTAM, Belém. 24 p.
- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS). 2021. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/files/pdf/6556.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.
- Silva B.N.R. 1975. *Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da Ilha de Mosqueiro (PA) com auxílio de fotointerpretação*. MS Dissertation, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 159 p.
- Silva C.V. 2019. *Análise multitemporal da área de preservação permanente (app) da ilha de Mosqueiro/PA*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 56 p.
- Silva A.L.C.C.A. Gralato J., Brum T.C.F., Silvestre C.P., Baptista E.C.S., Pinheiro A.B. 2020. Dinâmica de praia e susceptibilidade às ondas de tempestades no litoral da Ilha Grande (Angra dos Reis -RJ). *Journal of Human and Environment of Tropical Bays*, **1**: 9-44.
- Sousa P., Siegle E., Tessler M. 2011. Environmental and Anthropogenic Indicators for Coastal Risk Assessment at Massaguaçu Beach (SP) Brazil. *Journal of Coastal Research*, **64**: 319-323.
- Sousa P., Siegle E., Tessler M. 2013. Vulnerability assessment of Massaguaçu Beach (SE Brazil). *Ocean & Coastal Management*, **77**: 24–30.
- Sousa R., Pereira L., Marinho C, R., Jiménez J. 2017a. Management of estuarine beaches on the Amazon coast though the application of recreational carrying capacity indices. *Tourism Management*, **59**: 216-225.

- Sousa R.C., Pereira L.C.C., Trindade W.N., Ingrid P. 2017b. Application of the DPSIR framework to the evaluation of the recreational and environmental conditions on estuarine beaches of the Amazon coast. *Ocean & Coastal Management*, **149** (15): 96-106.
- Souza C. 2009. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **9** (1): 17-37.
- Souza C.R.G., Souza Filho P.W.M., Esteves L.S., Vital H., Dillenburg S.R., Patchineelam S.M., Addad J.E. 2005. Praias arenosas e erosão costeira. In: Souza C.R.G., Suguio K., Oliveira A.M.S., Oliveira P.E. (eds.). O Quaternário do Brasil. Holos, Ribeirão Preto. p. 130-152.
- Short A.D. & Hesp, P.A., 1982. Wave Beaches and Dunes Interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*, **48**: 259- 284.
- Short A.D. 1999. Beach and Shoreface Morphodynamics. New York, Willey, 378 p.
- Suguio K. 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Edgar Blucher, 318 p.
- Thieler E.R. & Hammar-Klose E.S. 1999. *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, U.S. Atlantic Coast*. p. 99-593. Relatório técnico. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- United Nations Development Programme (UNDP): United Nations Development Programme. Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. Disponível em: <http://www.undp.org/bcpr>. Acesso em: 1 fev. 2021.
- Valente H.M. 2019. *Variabilidade morfológica das praias estuarinas da ilha do Mosqueiro (BELÉM – PA)*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 82 p.
- Venturieri A., Watrin O.S., da Rocha A.M.Á., Silva B.N. R. 1998. Avaliação da dinâmica da paisagem da ilha do Mosqueiro, Município de Belém, Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos. *Anais*. p. 247-56.
- Viana I. 2017. Análise Do Processo de Uso e Ocupação da Orla da Praia do Areião (Ilha de Mosqueiro-Pa), tendo em Vista o Cumprimento das Diretrizes do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (LEI 7.661/88). *Revista Geonorte*. **8**: 63-77.
- Wentworth C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30** (5): 377-392.