

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

ROBERTO LÚCIO BELO DE SOUZA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE EM AMBIENTE DE PRAIAS ARENOSAS DA
ILHA DE FERNANDO DE NORONHA UTILIZANDO-SE AEROLEVANTAMENTO POR
VANT (VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO)**

Recife

2022

ROBERTO LÚCIO BELO DE SOUZA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE EM AMBIENTE DE PRAIAS ARENOSAS
DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA UTILIZANDO-SE
AEROLEVANTAMENTO POR VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria das Neves Gregório.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Márcia Cristina de Souza Matos Carneiro.

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S729a

Souza Júnior, Roberto Lúcio Belo de.

Avaliação da vulnerabilidade em ambiente de praias arenosas da ilha de Fernando de Noronha utilizando-se aerolevanteamento por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) / Roberto Lúcio Belo de Souza Júnior – 2022.

107 f.: il., figs., qds., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Maria das Neves Gregório.

Coorientadora: Profa. Dra. Márcia Cristina de Souza Matos Carneiro.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2022.

Inclui Referências e Anexo.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Sedimentologia de praia. 3. Vulnerabilidade costeira. 4. Evolução da linha de costa. 5. Aerolevanteamento. 6. GNSS. 7. VANT. I. Gregório, Maria das Neves (Orientadora). II. Carneiro, Márcia Cristina de Souza Matos (Coorientadora). III. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2024-55

ROBERTO LÚCIO BELO DE SOUZA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE EM AMBIENTE DE PRAIAS ARENOSAS
DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA UTILIZANDO-SE
AEROLEVANTAMENTO POR VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovada em: 15/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria das Neves Gregório (Orientadora)
Secretaria de Educação do Governo do Estado de Pernambuco

Prof. Dr. Francisco Jaime Bezerra Mendonça (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a memória de Maria José (in memoriam) , uma mãe, avó, sertaneja de muita fé que e teve o maravilhoso prazer de ver os netos formados e em plena atividade profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o criador do Universo e das nossas vidas.

Agradeço a minha mãe que sempre nos incentivou para os estudos desde crianças.

Agradeço também a minha esposa, meu eterno amor Viviane Oliveira pela compreensão, companheirismo, principalmente seu amor e por suportar minha ausência em alguns trabalhos de campo.

A minha orientadora Prof. Dr^a Neves, pela paciência e confiança.

Ao excelente apoio, orientação e humanidade da minha co-orientadora professora Dr^a Márcia Carneiro.

À Sr^a. Maria das Graças Guerra Cintra e ao Sr. João Carlos Cintra Xaramba (Secretaria de Educação e Esportes do governo do Estado de Pernambuco), pois sem eles não teríamos hospedagem na Ilha.

À administração da Ilha de Fernando de Noronha pelo apoio para este trabalho. Antônio Ferreira da Gerência de Meio Ambiente da Ilha pelo receptivo e apoio.

Ao LGGM-UFPE e ao professor Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso pela utilização do seu laboratório para processamento das amostras sedimentológicas.

Ao ICMBIO pela autorização da execução do projeto de pesquisa na Ilha de Fernando de Noronha.

À Sr^a Elizabeth Galdino, da secretaria da pós-graduação sempre disposta em ajudar e sua eficiência para com o alunado.

“Se os triângulos tivessem um Deus, Ele teria três lados” (MONTESQUIEU).

RESUMO

As praias arenosas da Ilha principal do Arquipélago de Fernando de Noronha, que leva o seu homônimo, distrito do Estado de Pernambuco, situada no nordeste do Brasil, no Oceano Atlântico Sul Equatorial, apresentam uma alta frequência turística, se destacam pelas belezas naturais e encontra-se como um dos principais destinos turísticos do Brasil. A presente pesquisa teve como objetivo identificar os agentes naturais e antrópicos que afetam o meio ambiente das praias arenosas setentrionais do arquipélago, afim de avaliar a vulnerabilidade das praias: Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha e a praia da Cacimba do Padre. Em razão das ações antrópicas e a dinâmica da natureza à erosão costeira. Para isso foram utilizados Geoindicadores, geomorfológicos e sedimentológicos, do ambientes de praia no litoral noronhense, como as variáveis, declividade, largura de praia, elevação do terreno, vegetação e ocupação humana, em combinação espacial a partir de camadas raster e executadas através de metodologias de álgebra de mapas. Os dados de campo foram obtidos a partir de ortomosaicos processados de aerolevantamento com VANT (Veículo aéreo não tripulado), incluindo a fase de processamento fotogramétrico, pontos de controle medidos com pares de receptores GNSS (RTK) por SALIM (2019), mapeamento das áreas estudadas, com a coleta de sedimentos nos ambientes de praia, medições da linha de costa atual e registro fotográficos. O processamento da evolução da linha de costa foi realizado através do programa de análise espacial de variação de linha de costa DSAS-USGS. A partir desses dados foi possível produzir informações espaciais sobre a vulnerabilidade costeira, utilizando a metodologia dos pesquisadores Berger (1997) e Bush ET AL. (1999) Gornitz ET AL. (1994), Coburn (2002) e Mazzer (2007). Os resultados mostraram uma declividade suave e a presença de águas deixadas pela maré alta (maceiós). Essas praias apresentaram sedimentos finos, presentes no estirâncio, vegetação no ambiente praial quase inexistente e uma pós-praia reduzida ou ausente. A variação da linha costa entre os anos de 2019 e 2021 apresentaram taxas de recuo da linha de costa que compreendem as praias da Conceição (recuo -1,20 m/ano), Boldró (recuo -4,04 m/ano), Bode (recuo -8,41 m/ano) , Quixambinha (recuo -14,05 m/ano) e Cacimba do Padre (recuo 0,18 m/ano). A vulnerabilidade nas praias (estudadas foram avaliadas como alta, pois a

ocupação humana através de instalação de edificações e remobilização de sedimentos no ambiente pós-praia e associada a alta energia nesses ambientes potencializam a erosão nesses locais.

Palavras-chave: sedimentologia de praia; vulnerabilidade costeira; evolução da linha de costa; aerolevantamento; GNSS; VANT.

ABSTRACT

The sandy beaches of the main island of the Archipelago of Fernando de Noronha, which takes its namesake, district of the State of Pernambuco, located in the northeast of Brazil, in the South Equatorial Atlantic Ocean, have a high tourist frequency, stand out for their natural beauties and find is one of the main tourist destinations in Brazil. The present research aimed to identify the natural and anthropic agents that affect the environment of the northern sandy beaches of the archipelago, in order to assess the vulnerability of the beaches: Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha and the beach of Cacimba do Padre. Due to anthropic actions and the dynamics of nature to coastal erosion. For that, Geoindicators, geomorphological and sedimentological, of the beach environments on the coast of Noronha, such as variables, slope, beach width, terrain elevation, vegetation and human occupation, in spatial combination from raster layers and performed through methodologies were used of map algebra. Field data were obtained from processed orthomosaics of aerial survey with UAV (Unmanned Aerial Vehicle), including the photogrammetric processing phase, control points measured with pairs of GNSS receivers (RTK) by SALIM (2019), mapping of the areas studied, with the collection of sediments in the beach environments, measurements of the current coastline and photographic records. The processing of the shoreline evolution was performed using the DSAS-USGS spatial analysis of shoreline variation. From these data, it was possible to produce spatial information on coastal vulnerability, using the methodology of researchers Berger (1997) and Bush ET AL. (1999) Gornitz ET AL. (1994), Coburn (2002) and Mazzer (2007). The results showed a gentle slope and the presence of water left by the high tide (maceiós). These beaches presented fine sediments, present in the sprat, vegetation in the beach environment almost non-existent and a reduced or absent after-beach. The variation of the coastline between the years 2019 and 2021 showed rates of retreat of the coastline that include the beaches of Conceição (retreat -1.20 m/year), Boldró (retreat -4.04 m/year), Bode (setback -8.41 m/year), Quixambinha (setback -14.05 m/year) and Cacimba do Padre (setback 0.18 m/year). Vulnerability on beaches (studied) were evaluated as high, as human occupation through the installation of buildings and remobilization of sediments in the post-beach environment and associated with high energy in these

environments potentiate erosion in these places.

Keywords: beach sedimentology; coastal vulnerability; shoreline evolution; aerial survey; GNSS; UA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Placas tectônicas no Mundo.....	22
Figura 2 – Classificação das Placas Tectônicas conforme tipo de limite	23
Figura 3 – Diagrama ilustrativo de uma falha transformante.....	23
Figura 4 – Noroeste ao longo da Falha de Santo André na Planície de Carrizo, Califórnia Central.....	24
Figura 5 – Rifteamento e a expansão do assoalho oceânico na Dorsal Mesoatlântica criam uma cadeia de montanhas de origem vulcânica associados a falhas.....	24
Figura 6 – Placa Sul-Americana colide com a Placa de Nazca, de natureza oceânica.....	25
Figura 7 – Modelo de dois seguimentos consecutivos do rifte axial da Dorsal Mesoatlântica, separados por uma falha transformante c-c' nas extremidades da qual se desenvolvem os seguimentos da zona de fratura ac e a'c'.....	26
Figura 8 – Zonas e elementos morfológicos de uma praia arenosa.....	27
Figura 9 – Uma linha é definida por seus dois nós finais e um ou mais nós internos, também conhecidos como vértices. Esta representação de linha tem três vértices, e, portanto, quatro segmentos de linha.....	37
Figura 10 – Áreas representados por seus limites	37
Figura 11 – Mapa de localização da Ilha de Fernando de Noronha e localização da área de estudo.....	38
Figura 12 – Região oceânica próximo ao Nordeste brasileiro: situação do Arquipélago de São Pedro e São Paulo na Zona de Fratura São Paulo; Atol das Rocas Arquipélago de Fernando de Noronha, na extremidade da Zona de Fratura Fernando de Noronha. 1 – Limite de zonas de fratura; 2 – Rochas magmáticas.....	39
Figura 13 – Mapa Geológico de Fernando de Noronha.....	40
Figura 14 – Monitoramento pluviométrico APAC-PE. 2010-2018.....	41
Figura 15 – Distância focal. Desenho esquemático autor.....	45
Figura 16 – Representação ilustrativa do GSD ou “Ground Sample Distance. 46	
Figura 17 – Amostras em preparação para análise granulométrica. LGM-UFPE.....	48
Figura 18 – Linhas de costa e representação do traço das seções transversais (“tran-	

sectors”). Local: Praia da Conceição, Fernando de Noronha-PE.....	49
Figura 19 – Setores Costeiros Avaliados para o cálculo do deslocamento da linha de costa. Fonte: O Autor (2021).....	52
Figura 20 – Localização da Praia da Conceição. Fonte: O Autor (2021).	53
Figura 21 – Localização da Praia do Boldró. Fonte: O Autor (2021).	54
Figura 22 – Localização da Praia do Bode.....	55
Figura 23 – Localização da Praia da Quixambinha. Fonte: O Autor (2021).....	56
Figura 24 – Localização da Praia da Cacimba do Padre. Fonte: O Autor (2021).....	57
Figura 25 – Mapa de elevação do terreno, pós-praia. Praia da Conceição. Fonte: O autor, 2021.....	58
Figura 26 – Mapa de declividade do Ambiente pós-praia. Praia da Conceição.	58
Figura 27 – Presença de água deixada pela maré alta (maceió). Praia da Conceição.....	59
Figura 28 – Largura do ambiente pós-praia. Praia da Conceição.	59
Figura 29 – Deixa da maré alta marcada pela presença de maceiós (limite em azul).Praia da Conceição.	60
Figura 30 – Elevação do terreno no pós-praia. Praia do Boldró. Fonte: O Autor (2021).....	61
Figura 31 – Face de Praia com declividade medida de dez graus. Direção longitudinal oeste. Local: Praia do Boldró. Fonte: O Autor (2021).....	61
Figura 32 – Maceió, local preenchido durante a maré alta. Local: Praia do Boldró. Foto: Autor, 08/10/2022.....	62
Figura 33 – Largura pós-praia. Praia do oldró.....	62
Figura 34 – Mapa de elevação do terreno, pós-praia. Praia do Bode. Fonte: O autor, 2021.....	63
Figura 35 – Vista frontal da Praia do Bode com destaque para a presença da marca da água deixada pela maré alta. Foto: autor.09/10/2021.....	64
Figura 36 – Mapa de declividade, pós-praia da Praia do Bode.....	64
Figura 37 – Largura do pós-praia. Praia do Bode.....	65
Figura 38 – Elevação do terreno. Praia da Quixambinha.....	66
Figura 39 – Declividade. Praia da Quixambinha.....	66

Figura 40 – Largura do ambiente pós-praia. Praia da Quixambinha.....	67
Figura 41 – Maceió, local preenchido durante a maré alta. Praia da Quixambinha.....	67
Figura 42 – Local preenchido com água durante a maré alta. Local: Praia da Quixambinha. Foto: Autor, 08/10/2022.....	68
Figura 43 – Mapa de elevação do terreno. Praia Cacimba do Padre.....	69
Figura 44 – Local preenchido com água durante a maré alta. Praia da Cacimba do Padre.....	69
Figura 45 – Vista lateral (direção oeste) no canto esquerdo da imagem, local preenchido com água durante a maré alta. Local: Praia Cacimba do Padre . Foto: Autor, 09/10/2022.....	70
Figura 46 – Mapa de declividade. Praia da Cacimba do Padre.....	70
Figura 47 – Largura do Ambiente pós-praia. Praia Cacimba do Padre.....	71
Figura 48 – Vegetação gramínea entre o final do ambiente pós praia e a linha de vegetação. Pós-praia da Conceição.....	72
Figura 49 – Vegetação rasteira entre o final do ambiente pós-praia e a linha de vegetação. Pós-praia do Boldró.....	72
Figura 50 – Vegetação rasteira entre o final do ambiente pós praia e a linha de vegetação. Pós-praia do Bode.....	73
Figura 51 – Vegetação rasteira e vegetação arbórea em contato com o ambiente pós-praia. Local: Praia Quixambinha.....	73
Figura 52 – Granulometria média dos sedimentos de face de praia coletados na área de estudo.....	74
Figura 53 – Frequências do tamanho médio dos grãos da face de praia.....	76
Figura 54 – Granulometria média dos sedimentos do ambiente pós-praia coletados na área de estudo.....	77
Figura 55 – Frequências do tamanho médio dos grãos do ambiente pós-praia.....	77
Figura 56 – Variação da linha de costa. Praia da Conceição e Praia do Boldró. Fonte: O autor, 2021.....	81
Figura 57 – Variação da linha de costa. Praias: Bode, Quixambinha e Cacimba do Padre. Fonte: O Autor (2021).....	81
Figura 58 – Deslocamento da linha de costa (2019-2021). Praia da Conceição.....	82
Figura 59 – Resultado da variação da linha de costa na Praia da Conceição (2019-	

2021). Setor oeste, à esquerda e setor leste à esquerda.....	82
Figura 60 – Resultado da variação da linha de costa (2019-2021). (A) Praia do Boldró (B) Praia do Bode. Fonte: O Autor (2021).....	83
Figura 61 – Deslocamento da Linha de costa na Praia do Bode.....	83
Figura 62 – Deslocamento da Linha de costa na Praia Quixambinha.....	84
Figura 63 – Resultado da variação da linha de costa (2019-2021). Praia da Quixambinha. Fonte: O Autor (2021).....	84
Figura 64 – Deslocamento da Linha de costa na Praia Cacimba do Padre.....	85
Figura 65 – Resultado da variação da linha de costa (2019-2021). Praia da Cacimba do Padre.....	86
Figura 66 – Edificações sobre a vegetação e a interface do ambiente pós-praia. Praia da Conceição. Fonte: O Autor (2021).....	87
Figura 67 – Edificações sobre o ambiente de praia. Local entre a praia da Conceição (à esquerda) e a praia do meio (à direita). Fonte: O Autor (2021).....	89
Figura 68 – Instalação de estrutura de alvenaria e madeira. Foto: Autor, 2021.....	89
Figura 69 – Duto de PVC com proteção de alvenaria em ambiente de praia. Praia do Boldró. Foto: O autor, 2021.....	90
Figura 70 – Remobilização de sedimentos da praia para acomodação de efluentes da dessalinização. Placa de advertência: “EFLUENTE DO DESSALINIZADOR – Água não potável, imprópria para Consumo Humano”. Local: Praia do Boldró, Fernando de Noronha-PE. Fonte: O Autor (2021).....	90
Figura 71 – Índice de Vulnerabilidade Costeira da Praia da Conceição. Fonte: O autor, 2021.....	91
Figura 72 – Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) da Praia do Boldró. Fonte: O autor, 2021.....	92
Figura 73 – Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) da Praia do Bode. Fonte: O autor, 2021.....	94
Figura 74 – Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) da Praia da Quixambinha. Fonte: O autor, 2021.....	86
Figura 75 – Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) da Praia da Cacimba do Padre. Fonte: O Autor (2021).....	95
Figura 76 – (1) Vista da Prefeitura de Fernando de Noronha ; (2) e (3) Reunião com técnicos da administração da Ilha: ao fundo, da esq. para dir.: Prof. Dra.Márcia C. de	

Souza, fundo e Prof. Dra. Maria das Neves, a frente, da esq. para dir.: Eng. Agro. Antonio
Ferreira/Biol. Érika Andrade da Gestão de Meio Ambiente da ATEDFN e mestrando
Geól. Roberto Souza ; (4) por do Sol na Praia da
Conceição.....109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modificações do Cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira	28
Tabela 2 – Variáveis e geoindicadores utilizados.	39
Tabela 3 – Geoindicadores e Graus de Vulnerabilidade.	43
Tabela 4 – Características dos sedimentos coletados em outubro/2021.....	67
Tabela 5 – Resultados estatísticos das taxas de variação da linha de costa em metros/ano (EPR) das praias estudadas.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral	20
1.1.2	Objetivos específicos	20
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	22
2.1	TEORIA DA TECTÔNICA DE PLACAS	22
2.2	AMBIENTE TECTÔNICO E ILHAS VULCÂNICAS	25
2.3	SISTEMAS DE PRAIAS.....	27
2.3.1	Estágios morfodinâmicos das praias.....	28
2.3.1.1	Os estágios praias.....	28
2.3.1.2	Sistema Dissipativo.....	28
2.3.1.3	Sistema Intermediário	29
2.3.1.4	Estágio Refletivo	29
2.4	EROSÃO COSTEIRA.....	29
2.5	VULNERABILIDADE.....	31
2.6	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE E GEOINDICADORES.....	32
2.7	AEROLEVANTAMENTO COM AERONAVE NÃO TRIPULADA (VANT)..	34
2.8	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	35
2.8.1	Representações Pontuais (vetorial).....	36
2.8.2	Representação em linha (vetorial)	36
2.8.3	Polígonos(vetorial).....	37
2.8.4	Mapas Temáticos	37
2.9	MATERIAIS E MÉTODOS	38
2.9.1	Caracterização da área de estudo	38
2.9.2	Geologia.....	39
2.9.3	Clima e vegetação	40
2.9.4	Oceanografia	41
2.9.5	Histórico e ocupação	42
3	METODOLOGIA	44
3.1	MATERIAIS.....	44

3.2	MÉTODOS.....	44
3.2.1	Processamento Fotogramétrico.....	44
3.2.2	Geoindicadores e Variáveis de Risco.....	46
3.2.3	Variação do deslocamento da linha de costa.....	48
3.2.4	Cálculo do índice de vulnerabilidade	49
3.2.5	Sistemas de Informações Geográficas	51
4	RESULTADOS	52
4.1	PRAIAS ESTUDADAS	52
4.1.1	Praia da Conceição.....	52
4.1.2	Praia do Boldró.....	53
4.1.3	Praia do Bode	54
4.1.4	Praia da Quixambinha	55
4.1.5	Praia Cacimba do Padre.....	56
4.2	GEOINDICADORES	57
4.2.1	Topografia, declividade e largura de pós-praia.....	57
4.2.2	Vegetação 71	
5	SEDIMENTOLOGIA	75
5.1	CÁLCULO DO DESLOCAMENTO DA LINHA DE COSTA	79
6	OCUPAÇÃO HUMANA	88
7	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE.....	92
8	DISCUSSÃO.....	97
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
	REFERÊNCIAS.....	105
	ANEXO A - FOTOS	109

1 INTRODUÇÃO

Segundo Bird (1985) a costa é a zona entre a borda da água oceânica na maré baixa e o limite superior da ação efetiva das ondas. Essa, inclui a área exposta durante a maré baixa e a área submersa durante a maré alta, mais a região que se estende em direção à terra (onshore), a partir do limite normal da maré alta, mas inundada por marés excepcionalmente altas ou por ondas durante as tempestades. As zonas costeiras e as ilhas são áreas de ecossistemas complexos, como, como, estuários, praias, recifes de corais e a vida marinha, além disso, essas áreas apoiam atividades econômicas, que incluem pescados, aquicultura, turismo, recreação e transportes. Nas últimas décadas, as áreas costeiras foram fortemente modificadas, o que alterou a sua vulnerabilidade à dinâmica costeira natural também em relação aos impactos previstos na mudança climática global (BIJLSMA, L. & ELHER, 1995).

Atualmente, a maior parte da população mundial vive em regiões costeiras, e há uma tendência constante no aumento da concentração demográfica nessas regiões. A saúde, o bem-estar e, em alguns casos a própria sobrevivência das populações costeiras dependem das condições dos sistemas costeiros. Nessas regiões a economia local tem uma dinâmica na busca de atividades que são a fonte de renda dos residentes e da exploração dos seus recursos.

A praia é definida por Bird (1985) como um acúmulo de sedimentos inconsolidados, de areia, cascalho, e às vezes confinados a costa, ou podem se estender até o nível da maré baixa. Ainda assim Friedman (1967) define a praia como um depósito sedimentar formado por sedimentos inconsolidados ao longo de uma costa sujeito a ação das ondas. A parte superior da praia, acima do nível médio do alcance das marés, foi denominado neste trabalho de pós-praia e o local passivo da ação constante do espriamento das ondas foi denominado de face de praia ou estirâncio, ambiente praiar ou estirâncio. As praias arenosas são classificadas como produtos da interação das ondas e os depósitos de areia na costa. Sua extensão e morfologia dependem da energia das ondas, que controlam a profundidade e o tamanho dos sedimentos nestes locais (Short, 1983).

São nesses ambientes terrestres e marinhos, onde ocorrem uma maior dinâmica das atividades turísticas, de balneabilidade, navegação e pesca, onde se

observam as mudanças físicas. As intervenções humanas têm contribuído para a degradação dos recursos naturais da costa, como a retirada de sedimentos para a construção, remoção da cobertura vegetal para a instalação de casas e empreendimentos.

As ilhas oceânicas são particularmente sensíveis a perturbações e os seus ecossistemas e espécies devem ser geridos de forma a evitar sua destruição ou extinção irreversível (Borges ET AL., 2009). As praias arenosas da ilha de Fernando de Noronha apresentam uma alta frequência turística, se destacam pelas belezas naturais e encontram-se como turísticos do Brasil, tem, apresenta uma população residente estimada de 3.101 habitantes (IBGE, 2020).

A Ilha principal do Arquipélago de Fernando de Noronha, que leva o seu homônimo, distrito do Estado de Pernambuco, está situada no nordeste do Brasil, especificamente no Oceano Atlântico Sul Equatorial e está sob efeitos erosivos e deposicionais devido ao padrão natural da dinâmica costeira, oscilação do nível do mar, alteração no regime das ondas, marés e a interferência humana sobre a dinâmica costeira, sendo um dos destinos de maior fluxo turístico brasileiro.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente pesquisa teve por objetivo analisar e avaliar a vulnerabilidade costeira em ambientes de praia arenosas através da identificação dos agentes naturais e antrópicos que afetam o meio ambiente das praias setentrionais da ilha principal do arquipélago de Fernando de Noronha, Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha e a praia da Cacimba do Padre, afim de identificar a vulnerabilidade da ilha de Fernando de Noronha as ações antrópicas e a dinâmica da natureza à erosão costeira, através da construção de uma base de dados.

1.1.2 Objetivos específicos

- Utilizar imagens aéreas adquiridas por veículo aéreo não tripulado (VANT) para o registro e avaliação das mudanças ocorridas na área de estudo;
- Criar um Modelo Digital do Terreno (MDT);
- Avaliar os geoindicadores: elevação do terreno, declividade, vegetação, e

largura da pós-praia, sedimentologia, deslocamento da linha de costa ocupação humana

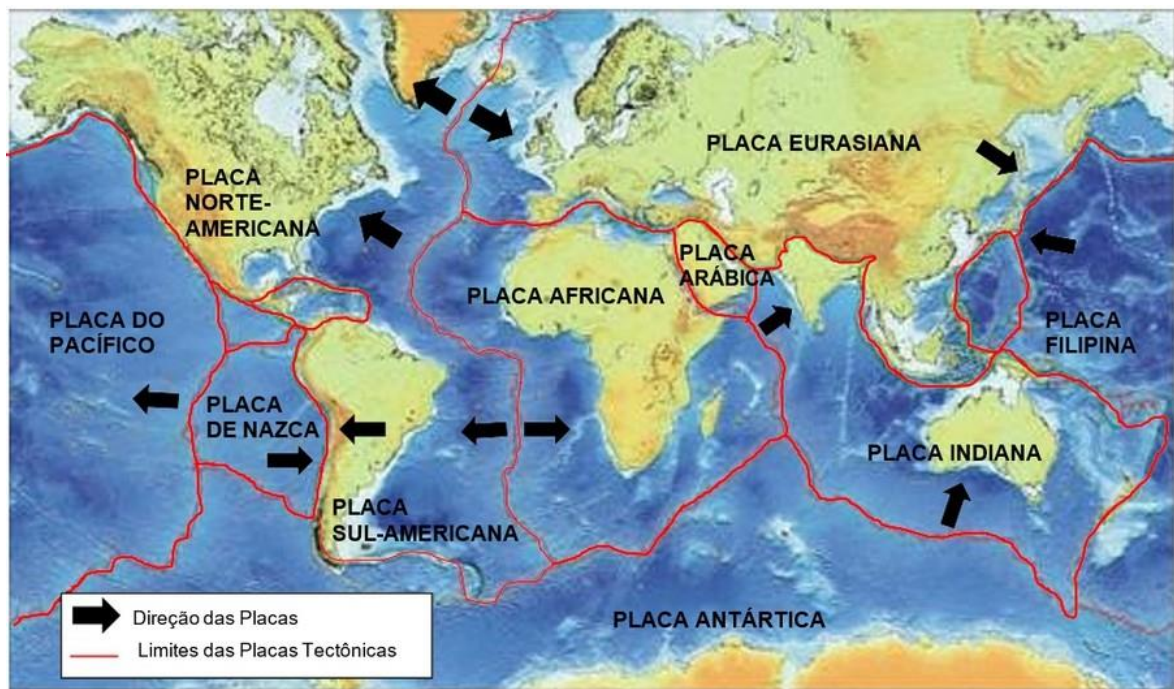
- Coletar amostras de sedimentos da face média da praia; bem como, analisar a distribuição das características granulométricas, composição e morfoscopia dos sedimentos;
- Analisar o deslocamento da linha de costa entre o período de 2019 e 2021;
- Definir e analisar os índices de vulnerabilidade das praias Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha, e Cacimba do Padre da ilha de Fernando de Noronha.
- Gerar mapas de vulnerabilidade à erosão nas praias arenosas da ilha;
- Armazenar os resultados obtidos em uma base de dados espaciais (SIG) para uma avaliação das ações antrópicas e a dinâmica da natureza sobre a Ilha de Fernando de Noronha;
- Fornecer dados científicos para subsidiar Planos de Gestão Costeira Integrada da Ilha de Fernando de Noronha.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 TEORIA DA TECTÔNICA DE PLACAS

Em meados da década de 1960, os pesquisadores Harry Hess (1946), Tuzo Wilson (1965) e posteriormente Robert Dietz (1961) descreveram o que foi chamado de Deriva Continental. Através dessa teoria é explicado que a litosfera, a camada de rochas é particionada em mais de 10 placas que deslizam, convergem ou divergem em direções opostas entre si (Figura 1).

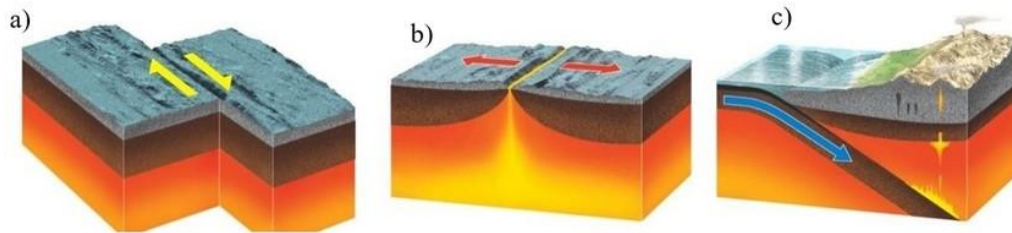
Figura 1 – Placas tectônicas no Mundo



Fonte: Mapa Mundi (2007)

São nos limites entre as placas tectônicas que ocorre a dinâmica geológica de intensas atividades que são os vulcões ativos, falhas, sismicidade, evolução das cadeias de montanhas, submersão e consumo de placas. As placas tectônicas são classificadas de acordo com o tipo de limite ou contato que elas têm com sua placa adjacente (Figura 2).

Figura 2 – Classificação das Placas Tectônicas conforme tipo de limite



Fonte: Grotzinger, J. e Jordan, T. (2013). a) Transformante b) Divergente e c) Convergente.

Falhas são descontinuidades de rochas onde se verifica o deslocamento entre as partes fraturadas. Falhas transformantes segundo Wilson (1965) são aquelas que podem ser transformadas em um rift (quebra) como as que ocorrem na dorsal meso-oceânica por ocasião do movimento de cisalhamento horizontal ao longo da falha (Figura 3), sendo transformada em uma expansão do movimento tensional através da crista ou fenda com uma mudança de sismicidade.

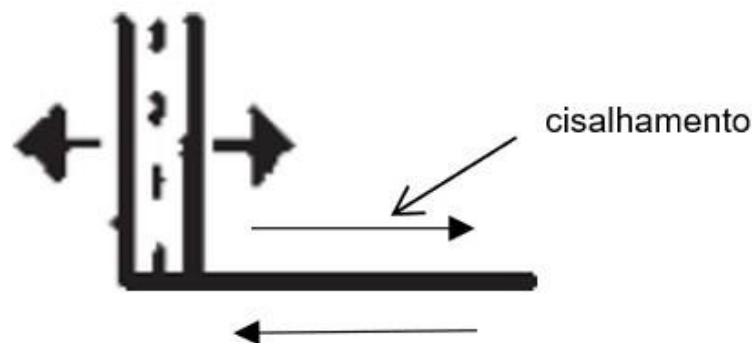


Figura 3 – Diagrama ilustrativo de uma falha transformante. Wilson, 1965.

As falhas transformantes são encontradas em dois lugares distintos. Elas podem ocorrer no continente ou nos oceanos. Em um continente ela está exemplificada no estado da Califórnia, Estados Unidos onde existe a Placa Pacífica que tem um movimento relativo à Placa Norte-Americana (Figura 4).



Figura 4 – Noroeste ao longo da Falha de Santo André na Planície de Carrizo, Califórnia Central. (Grotzinger, J. e Jordan, T. (2013).

Nos oceanos as falhas transformantes são encontradas ao longo de dorsais meso-oceânicas onde o limite divergente da placa tem sua continuidade interrompida através da separação das duas placas. Nesses locais a dorsal meso-oceânica exibe vulcanismo, atividades sísmicas (terremotos), e “rifteamento” (quebra) causados por forças divergentes. Algumas combinações de pares de cisalhamentos podem dar origem a ilhas ou arcos de montanha, falhas transformantes ilustradas na figura 5.

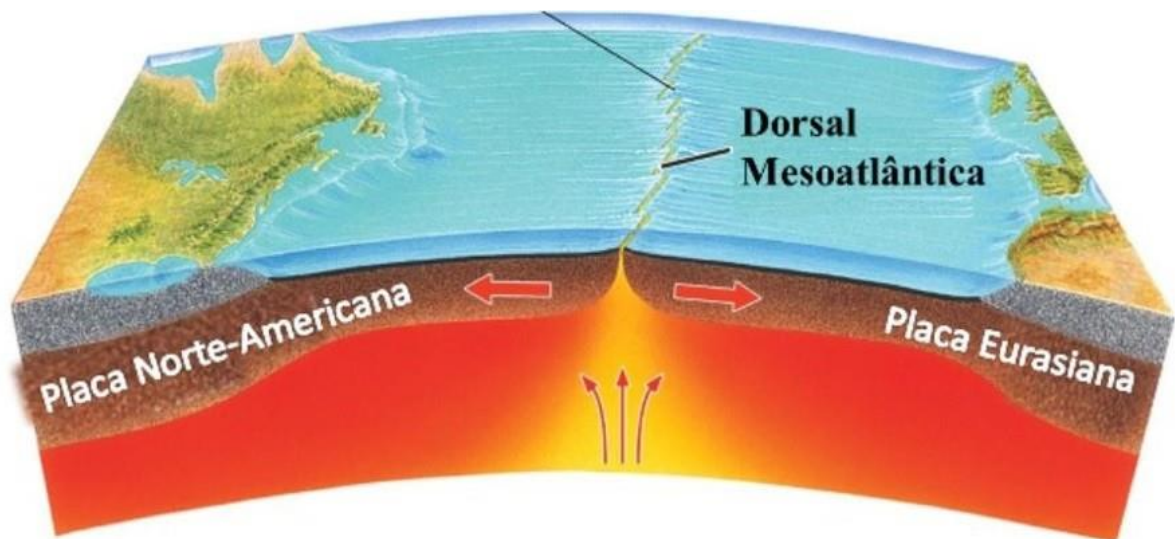


Figura 5 – Rifteamento e a expansão do assoalho oceânico na Dorsal Mesoatlântica criam uma cadeia de montanhas de origem vulcânica associados a falhas. (Grotzinger, J., & Jordan, T., (2013). Grotzinger, J. e Jordan, T. (2013)

Nos limites convergentes as placas litosféricas colidem uma com a outra frontalmente (Figura 6). Nesses locais a placa de maior densidade é consumida abaixo da outra. Por exemplo a costa oeste da América do Sul, onde a Placa Sul-Americana colide com a Placa de Nazca, de natureza oceânica. Neste tipo de convergência há deformações compressivas com dobramentos, evolução de falhas e espessamento da crosta (ex. Formação da cadeia de montanhas dos Andes, na América do Sul).

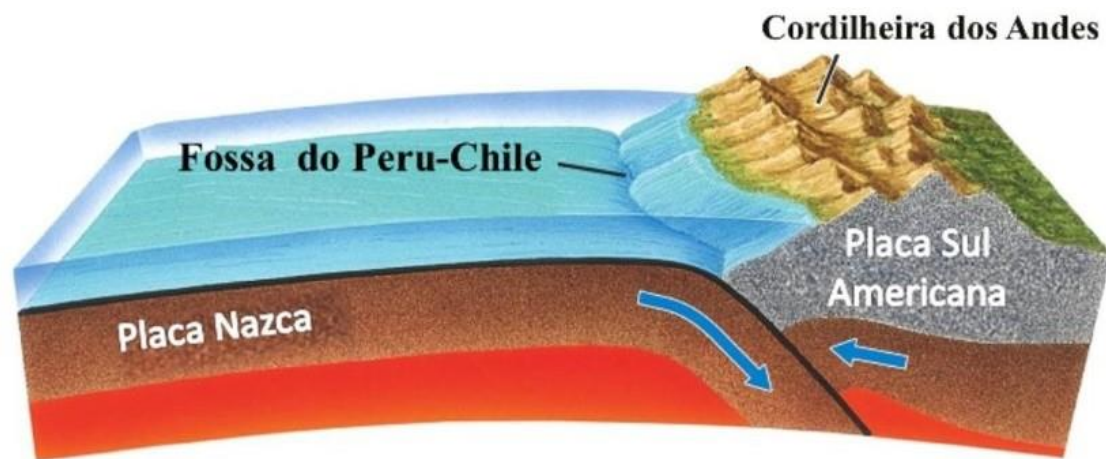


Figura 6 – Placa Sul-Americana colide com a Placa de Nazca, de natureza oceânica. (Grotzinger, J. e Jordan, T., 2013).

2.2 AMBIENTE TECTÔNICO E ILHAS VULCÂNICAS

O Oceano Atlântico equatorial e meridional surgiu com a separação das placas litosféricas da América do Sul e da África (ALMEIDA, 2006). Wilson (1965) reuniu dados das idades referentes as ilhas vulcânicas e relacionou com as distâncias da Dorsal Mesoatlântica e observou-se que as ilhas com as datações mais antigas são as mais afastadas da dorsal. Em cada edifício vulcânico estudado do Atlântico Sul, e particularmente no Arquipélago de Fernando de Noronha e na Ilha de Trindade, existem ciclos magmáticos sucessivos mostrados nos resultados em cada caso, a possibilidade de alternância de fases vulcânicas de natureza distintas. A associação do vulcanismo com as zonas de fraturas na costa é apontada pelos autores, como, Almeida (1955), Hess (1946) e Cordani (1970). As ilhas vulcânicas apareceram em vastas zonas de fratura, evidenciadas por alinhamento de altos fundos e representam, outros montes submarinos.

Fundos alinhados presentes nas latitudes de Fernando de Noronha, Abrolhos, Trin-dade, e outros como os da elevação oceânica Rio Grande estão referidos a zonas de fraturas, de direção E-W.

Na região axial dessa cadeia desenvolveu-se um vale de riftes, sítio de surgimento de magma basáltico. Tais riftes são cortados por falhas transformantes (Figura 7).

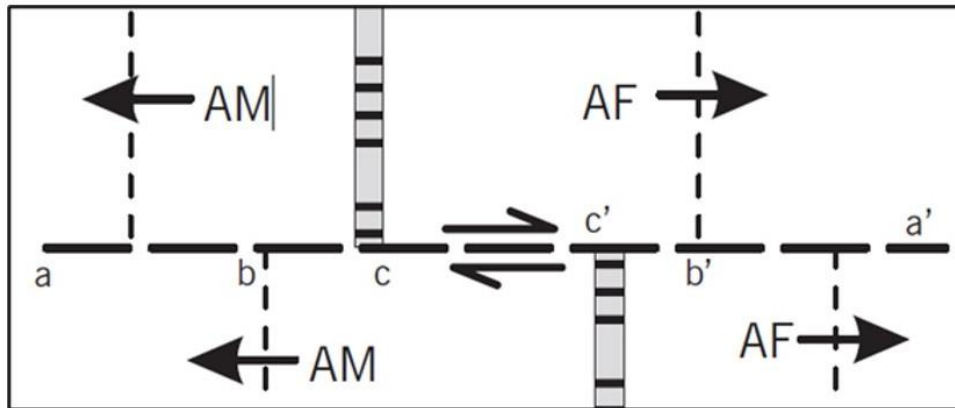


Figura 7 – Modelo de dois seguimentos consecutivos do rifte axial da Dorsal Mesoatlântica, separados por uma falha transformante c-c' nas extremidades da qual se desenvolvem os seguimentos da zona de fratura ac e a'c' (baseado em Wilson, 1965).

As distinções entre essas falhas são os hábitos de crescimento em que as cristas se expandem para produzir uma nova crosta, deixando para trás os vestígios residuais na topografia de suas posições anteriores. Esses traços inativos das falhas transformantes pretéritas constituem as zonas de fratura, sendo as maiores do Atlântico Sul e podem ultrapassar 200 Km de largura total, como na fratura do Rio Grande. Anomalias magnéticas são variações locais distintas geradas por um corpo causador sendo este corpo uma rocha com propriedades físicas distintas das rochas do seu entorno. Por outro lado, entre as placas litosféricas convergentes a crosta oceânica desce sob os arcos das ilhas, absorvendo a crosta antiga, de forma que não deixam vestígios de posições anteriores (WILSON, 1965).

O Arquipélago de Fernando de Noronha pesquisado por Almeida (1955) fica localizado na extremidade ocidental de uma cadeia de montanhas submarinas orientadas a leste-oeste. O monte mais recente suporta o arquipélago, onde o vulcanismo se extinguiu há 1,8 Ma (CORDANI, 1970). Essa região é constituída por outros montes de elevações do embasamento e repousa sobre a Zona de

Fratura Fernando de Noronha e foichamado por Gorini e Bryan (1974) de Cadeia Fernando de Noronha.

2.3 SISTEMAS DE PRAIAS

Segundo Suguio (2003), as praias são definidas como depósitos de materiais incon-solidados, formados na interface mar e terra, sob ação de agentes, como, ondas, correntesmarinhas, ventos e marés.

Os elementos do ambiente praial são descritos como:

- Pós-praia: representa a porção mais alta do ambiente praial, correspondente aproxi- madamente ao nível de berma, além do alcance das ondas e marés ordinárias (Figura 8). Estende-se desde a crista praial, construída pelo nível de preamar de sizígia até o sopé daescarpa praial.

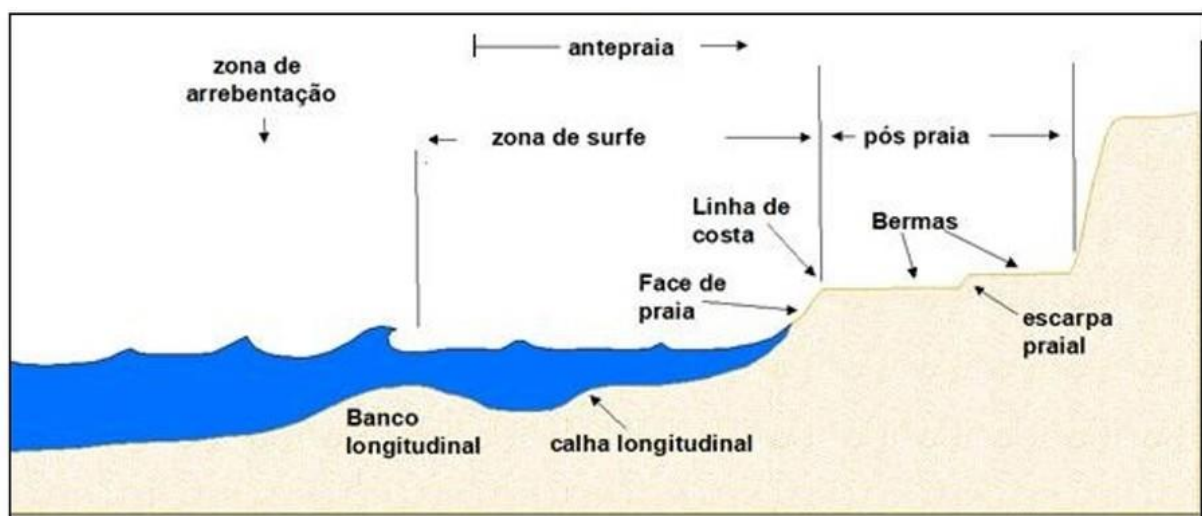


Figura 8 – Zonas e elementos morfológicos de uma praia arenosa (Komar,1983).

- Escarpa Praial: entalhe abrupto encontrado no perfil praial originado por erosão pelas ondas. A escarpa pode estar localizada na parte mais alta da face da praia quando a erosão está em curso, ou na parte protegida da ação das ondas atuais devido a antigos episódios de erosão;
- A praia (face da praia ou estirâncio) corresponde à parte situada entre o limite superior da preamar (escarpa praial) e a linha de baixa-mar ordinária, isto é, parte do ambiente praial, que normalmente sofre a ação das marés e os efeitos de espraçamento das ondas após a arrebentação, sendo

continuamente alterada pela ação das ondas e marés;

- Zona de Surfe: zona situada entre o limite externo da arrebentação e o limite deespraimento das ondas, onde estas dissipam sua energia;
- Calha Longitudinal: depressão alongada estendendo-se paralelamente à linha decosta, normalmente localizada na zona de surfe;
- Banco Longitudinal: barra de sedimentos disposta paralelamente à linha de costa. Essa barra pode ficar exposta durante as marés baixas ou ficar submersa na zona de surfe;
- Zona de Arrebentação: faixa normalmente estreita onde as ondas se arrebentamna zona de surfe.

2.3.1 Estágios morfodinâmicos das praias

2.3.1.1 Os estágios praias

Short e Wright (1983) realizaram vários estudos nas praias do sudeste australiano onde foram identificados vários estágios ou sistemas morfodinâmicos. Os estágios morfodinâmicos estão associados a forma, granulometria dos sedimentos, declividade da praia e processos executados pelas marés, ondas e correntes. As praias arenosas são produto da interação das ondas com a areia da costa. A zona de interação começa na base da onda e estende-se em direção a costa através da zona de costeira, zona de surf para a parte superior limite da ação do espraimento (SHORT e WRIGHT, 1983).

Através da combinação de dois parâmetros básicos, a energia das ondas e o tamanho dos grãos de sedimentos Short (1983) classifica tipos de praias como de ambientes de altas, médias e baixas ondas.

2.3.1.2 Sistema Dissipativo

As ondas podem mobilizar o transporte de areia em terra em grande volume. Isso combinado com as ondas energéticas produz um transporte de areia on-shore de alto potencial, tanto em taxa quanto em volume (SHORT ET AL., 1988). A face da praia é baixa e a zona de surfe é larga apresentando baixo gradiente topográfico, com um elevado estoque de areia na porção subaquosa da praia. As condições dissipativas são favorecidas pela ocorrência de ondas altas e pela

presença de sedimentos de granulometria fina. Nessas condições a zona de surfe é “saturada”, ocorrendo a arrebentação das ondas longe da face de praia (SHORT, 1988). O resultado é a subida do nível médio do mar e fluxos de corrente de retorno, os quais podem ocorrer em resposta a variações espaciais na altura da arrebentação (CALLIARI ET AL., 2003).

2.3.1.3 Sistema Intermediário

A energia de ondas moderadas com alturas das ondas entre 1,5 e 2,0 metros e período $T=10s$ produz tipos de praias intermediárias e particularmente onde o sedimento é médio a fino. Essas ondas podem mobilizar areia até profundidades de 15 a 20 metros de profundidade as quais combinadas com as ondas moderadas e ocasionalmente altas, pode resultar em taxas de transporte de sedimentos onshore. As ondas dissipam energia no banco de areia, se reformam na cava mais profunda. Nesse estágio ocorre a formação de cúspides praias (SHORT *et al.* 1988).

2.3.1.4 Estágio Refletivo

Praias refletivas são produzidas por ondas baixas, particularmente em áreas de sedimentos grossos. Essas praias são potencialmente mais instáveis, pois qualquer aumento na altura da onda irá levar à erosão da praia (SHORT e WRIGHT, 1983).

2.4 EROÇÃO COSTEIRA

A erosão é o desgaste físico gradual dos materiais da superfície, seja pela água ou pelo vento (GORNITZ, 1991) e ocorre quando a praia perde mais sedimentos do que recebe. Esse déficit de sedimentos nas regiões costeiras pode variar no tempo e alterar a costa em poucos meses, anos ou décadas (SOUSA, 2013). A erosão de praias é um dos fenômenos mais impressionantes entre os processos costeiros e transformou-se em um problema emergencial na maioria das áreas costeiras do mundo incluindo em diversos trechos do litoral brasileiro (SUGUIO, 2003).

Bird (1985) relata que mais de 70% das costas arenosas do mundo têm exibido

uma tendência erosiva, menos de 10% apresentam progradação e entre 20% e 30% mostram pouco estáveis. As causas da erosão costeira podem ser de ações da natureza, através das ondas, nível da água, tempestades e intervenção humana.

Komar (1983) explica que as ondas geradas pelo vento são importantes como agentes de transferências de energia. A primeira obtenção de sua energia vem dos ventos, transferindo-o através dos oceanos e em seguida para a zona costeira onde pode ser a causa primária de erosão ou pode gerar uma variedade de correntes próximas à costa e padrões de transporte de areia. A geração das ondas depende principalmente de três fatores das tempestades: a velocidade do vento, a duração da tempestade e a área de abrangência sobre a qual a tempestade ocorre.

A duração é importante porque quanto mais tempo os ventos sopram, o maior a quantidade de energia que pode ser transferida para as ondas crescentes. A área de abrangência tem um efeito semelhante; uma vez que as ondas viajam para fora da área da tempestade, elas não adquirem mais energia adicional, de modo que quanto maior a área de abrangência, mais energia as ondas podem potencialmente dissipar (KOMAR, 1983). Segundo ainda o mesmo autor outro fator importante para a ocorrência e severidade da erosão costeira é o nível da água conforme influenciado pelas marés e qualquer onda de tempestade sobreposta. Níveis elevados de água podem resultar em inundações de áreas costeiras baixas e deslocar a zona de arrebenção para terra de modo que as ondas atacam diretamente as propriedades costeiras.

Com relação à erosão costeira Komar (1983) destaca que a onda de tempestade pode elevar os níveis da água em vários metros acima das marés altas normais para a zona costeira, cobrindo assim áreas que em geral não são afetadas pelo ataque das ondas. Uma destruição considerável resulta das grandes ondas sobrepostas aos níveis excepcionalmente altos, uma vez que as estruturas da costa estão agora na zona de arrebenção.

Elevação do nível do mar: por mais de 3 milhões de anos, a água foi periodicamente congelada dentro de grandes geleiras e depois liberadas através de aquecimento global, produzindo reduções e elevações alternadas do nível do mar. Dentro dos últimos 20.000 anos, o nível do mar mudou em mais de 100 m, exercendo uma considerável influência em nossas costas (KOMAR, 1983). Ilhas

e áreas costeiras são extremamente vulneráveis a fatores ambientais, como tempestades, eventos climáticos extremos, erosão costeira, danos físicos à infraestrutura, aumento do nível do mar, inundações, escassez de água e contaminação da água.

Em Fernando de Noronha, na sua ilha principal, localizada na costa setentrional se concentram as praias de leito arenosos, incluindo as de maior frequência turística. Algumas dessas praias sofrem sazonalmente denudação de suas areias a ponto de exumar seus extratos rochosos. Com esses processos, a praia desenvolve perfis sazonais de acumulação e erosão, chamados de perfil de temporal e perfil de calmaria, respectivamente (MANSO ET AL. 2001).

Outro fator de erosão é a ação humana através da retirada clandestina de areias litorâneas pela população local (MANSO ET AL. 2001) condicionada a inexistência de alternativas para provimento de areias de construção civil (quartzosas), por ser uma importação onerosa desse material do continente. O resultado da erosão costeira é a perda de patrimônio, perda da balneabilidade de áreas turísticas o que gera desemprego e abandono de áreas outrora importantes economicamente.

2.5 VULNERABILIDADE

Conhecer a vulnerabilidade dos elementos expostos é primordial pelo caráter social do risco, tendo uma real compreensão destas características será possível saber com maior precisão quais medidas serão necessárias para reduzir a capacidade de perda de um determinado grupo social e seus bens materiais (OLIVEIRA, 2012).

O dicionário da língua portuguesa, Aurélio classifica a palavra vulnerável como aquilo que pode ser danificado, destruído, frágil. Segundo Cardona (2004) a vulnerabilidade pode ser definida como um fator de risco interno do sujeito ou sistema que está exposto a um perigo e corresponde à sua predisposição intrínseca para ser afetado, ou ser suscetível a danos.

A União das Nações/Estratégia Internacional de Redução de Desastres (UN/ISDR, 1979) define vulnerabilidade como condições determinadas por fatores sociais, econômicos e ambientais ou processos nos quais há o crescimento da susceptibilidade de uma comunidade ao impacto de riscos.

Vulnerabilidade costeira é definido por Bosom e Jiménez (2011) como o potencial de uma área a ser prejudicada por um impacto de um fenômeno e pode ser quantificado pela comparação da intensidade deste fenômeno com a capacidade de adaptação definida pelas propriedades físicas da praia.

A vulnerabilidade costeira representa um conjunto de variáveis que caracterizam maior fragilidade ao a incidência de um evento de alta energia ou destrutivo potencial; neste caso, erosão. A ocorrência de um desastre é o reflexo das condições físicas do ambiente e significa o grau de perda de um determinado elemento em risco ou um conjunto de tais elementos resultantes da ocorrência de um fenômeno natural de determinada magnitude expresso em uma escala decimal numérica de 0 (nenhum risco) até 1 (risco máximo) (UNDRO, 1979).

2.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE E GEOINDICADORES

Determinar o índice de vulnerabilidade de uma área costeira é importante para o planejamento de ações estratégicas, desenvolvimento de estudos sobre risco nessas áreas. O índice de vulnerabilidade introduzido por Gornitz ET AL., (1991) permite que as variáveis físicas sejam relacionadas de forma quantificada.

A classificação utilizada por Gornitz ET AL., (1990) foi baseada em variáveis de risco ou geoindicadores (BUSH, 1999 e COBUM, 2001), como elevação do terreno; geologia (a suscetibilidade de rochas serem erodidas pela ação do mar); a geomorfologia costeira (ex.: praias arenosas tem mais risco de erosão do que os penhascos), altura da duna frontal, largura do pós praia na linha de costa (litorais com acreção de sedimentos tem menor risco do que litorais com erosão, que tem risco correspondentemente mais alto); intervalo de maré (a maré está ligada a eventos de inundação permanente e episódica; altura das ondas (ondas e correntes litorâneas transformam a costa por meio do transporte de sedimentos) e a influência antrópica (distância e densidade da ocupação humana).

A União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS) estabelece que geoindicadores são medidas de processos e fenômenos geológicos superficiais ou próximos à superfície que variam significativamente ao longo de períodos inferiores a 100 anos e que fornecem informações importantes para a avaliação ambiental e são aplicados a uma ampla variedade de ambientes. Berger (1997) e Bush ET AL. (1999) observam que a abordagem dos geoindicadores identifica um conjunto mínimo de parâmetros que descrevem a dinâmica ambiental de curto

prazo e que representam todos os parâmetros dos quais os processos dependem. Como resultado, os geoindicadores podem fornecer aos gestores ferramentas simples e qualitativas para identificação rápida do potencial de risco.

A vulnerabilidade muda frequentemente na configuração de comunidades costeiras, sujeitas a processos naturais e humanos que alteram a estabilidade ambiental. O uso de geoindicadores fornece atualizações rápidas dos planos de gestão e mitigação do risco (BUSH ET AL. 1999).

O cálculo original do índice de vulnerabilidade usado é a raiz quadrada da soma dos produtos das variáveis de risco ou geoindicadores (raiz quadrada da média geométrica) (segunda linha da Tabela 1). Onde cada fator ($\alpha_1; \alpha_2; \dots, \alpha_n$) representa cada geoindicador avaliado (α_1 =declividade; α_2 =elevação do terreno; α_3 =largura do pós-praia). Como a média geométrica é bastante sensível a pequenas mudanças nos fatores de classificação individuais, a raiz quadrada foi usada para amortecer o intervalo extremo (NIKI ET AL. 2013). De acordo com Gornitz ET AL. (1994), Bush et al (1999) e Coburn (2002) e são atribuídos uma escala de vulnerabilidade que se inicia com o valor de 1 muito baixo ou menos vulnerável ao valor 3 (mais vulnerável).

Tabela 1 – Modificações do Cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira

Média geométrica	$CVI = \frac{(\alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \dots * \alpha_n)}{n}$
Raiz Quadrada da Média Geométrica	$CVI = \sqrt{\frac{(\alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \dots * \alpha_n)}{n}}$
Média Geométrica Modificada	$CVI = \frac{\alpha_1 * \alpha_2 * \frac{1}{2}(\alpha_3 + \alpha_4) * (\alpha_5) * (\frac{1}{2}(\alpha_6 + \alpha_7))}{n - 2}$
Média da Soma dos Quadrados	$CVI = \frac{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \dots + \alpha_n^2 + f^2}{n}$
Média Geométrica Modificada	$CVI = \frac{\alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \dots * \alpha_n}{(5)^{n-4}}$
Soma dos Produtos	$CVI = 4 * \alpha_1 + 4 * \alpha_2 + 2(\alpha_3 + \alpha_4) + 4\alpha_5 + 2(\alpha_6 + \alpha_7)$

Fonte: Gornitz *et al.* (1991).

2.7 AEROLEVANTAMENTO COM AERONAVE NÃO TRIPULADA (VANT)

Nos últimos anos o uso de veículos aéreos não tripulados tem feito parte da vida civil para uso recreativo, posteriormente para no uso na agricultura, levantamentos topográficos, eventos esportivos, jornalismo. A sigla VANT significa Veículo Aéreo Não Tripulado, é a terminologia oficial prevista no Brasil, entretanto quando o piloto controla a aeronave remotamente através de uma interface de qualquer (computador, tablet através de transmissão de rádio) este é chamado de RPA (Remoted-Pilot Aircraft ou na língua portuguesa, Aeronave Remotamente Pilotada) ou aeronave não tripulada (Unmanned Aircraft - UA). Grande parte das aeronaves não tripuladas possui um sistema de comunicação através de frequência de rádio entre o operador de solo e a aeronave (FERREIRA, 2014).

Através desses equipamentos é possível obter imagens aéreas de alta resolução dotados de câmeras que podem ter as seguintes características: câmera modelo FC 6310; resolução de 5472 x 3078, distância focal de 8.8 mm e tamanho do pixel 2.53 x 2.53 registradas durante a execução do voo. O processamento dessas imagens consiste na

produção de modelos da elevação digital do terreno (MDE) a partir do mosaico obtido pela superposição das imagens todas georreferenciadas e ajustadas por GNSS.

2.8 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG ou GIS) são um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, transformação e exibição dos dados espaciais do mundo real para um determinado conjunto de propósitos (BURROUGH ET AL. 1986). Na estrutura GIS são utilizados banco de dados espaciais que enfatizam a localização, atributos e topologia dos dados. Dentro do ambiente SIG existem duas formas de representar dados espaciais: o vetorial e o matricial (raster). Os mapas são abstrações gráficas nas quais linhas, polígonos e pontos são usados para representar as localizações de objetos do mundo real. Ou seja em um SIG são representados por pontos, linhas e polígonos, como conjunto de pares de coordenadas espaciais com coordenadas (Lat, Long) ou coordenadas UTM (E, N). Dessa forma, são armazenadas e representadas no SIG as entidades do mundo real que são graficamente em um modelo vetorial. Outro formato de armazenamento no ambiente SIG é o formato matricial ou raster. Neste formato existe uma matriz de células, as quais são associados valores, que permitem reconhecer os objetos em tela onde cada um dos pixels pode estar associado a valores numéricos onde os atributos entrelaçados nos permite visualizar através de simplificações lógicas e numéricas inerentes a realidade espacial de cada layer.

Os atributos de dados espaciais são os que fornecem informações descritivas acerca de características do dado espacial. Esses atributos podem fornecer informações qualitativas ou quantitativas associadas às feições espaciais como as primitivas geométricas euclidianas descritas a seguir.

Segundo Câmara ET AL. (1996) o processo de implantação de um SIG divide-se em três grandes fases: modelagem do mundo real, criação do banco de dados geográfico e operação. A fase de modelagem do mundo real engloba a modelagem de processos e de dados e consiste em selecionar fenômenos e entidades de interesse. A criação de um banco de dados exige as etapas: coleta de dados relativos ao fenômeno de interesse identificados na modelagem; e georreferenciamento dos dados (associando a cada conjunto de dados

informações sobre a sua localização geográfica). A fase de operação refere-se tanto ao uso do SIG, quanto ao desenvolvimento das aplicações específicas por parte do usuário a partir dos dados armazenados, reconstruindo visões da realidade.

No contexto dos estudos ambientais os SIG desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de bancos de dados temáticos globais. Os dados globais podem ser divididos em três grandes categorias: dados globais de referência, de longa duração, com escala temporal de décadas a séculos (por exemplo, parâmetros climáticos, de solos, de

densidade populacional); dados globais sinópticos para monitoração, de média duração, com escala temporal de meses a anos, refletindo mudanças globais em uma escala espacial e temporal (por exemplo, cobertura de neve, ventos e precipitação); e dados globais tipo séries temporais para monitoramento, consistindo de índices de medidas ou médias por células (por exemplo, índice de vegetação e temperatura oceânica) (CÂMARA ET AL. 1997). Um mapa temático pode também ser armazenado no formato matricial (raster).

Nesse caso a área correspondente ao mapa é dividida em células de tamanho fixo onde cada célula terá um valor correspondente ao tema correspondente ao tema naquela localização espacial (por exemplo elevação, valor da declividade, índice de vegetação etc.)

2.8.1 Representações Pontuais (vetorial)

Pontos são definidos como simples pares de coordenadas (X,Y) quando se trabalha em duas dimensões ou coordenadas triplas quando se está em 3 dimensões (3D). Os pontos são usados para representar objetos que são mais bem descritos, como forma e recursos sem tamanho e de local único.

2.8.2 Representação em linha (vetorial)

Os dados de linha são usados (Figura 09), para representar objetos unidimensionais, como estradas, ferrovias, canais, rios e linhas de transmissão. Alguns sistemas cadastrais, por outro lado, podem considerar estradas sejam recursos bidimensionais, ou seja, tendo uma largura também.

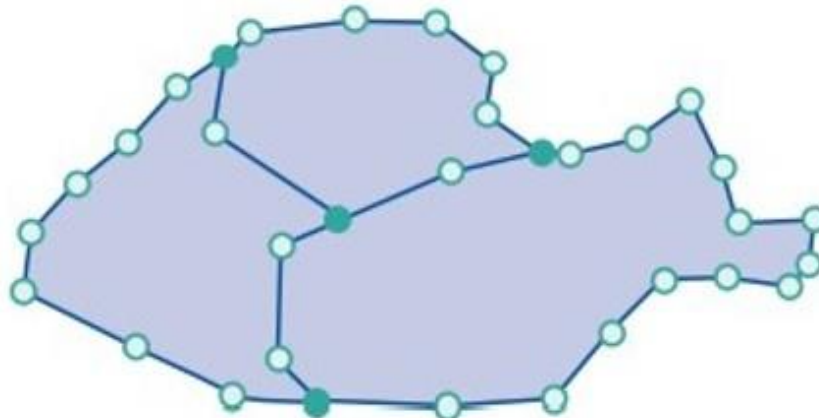


Figura 9 – Uma linha é definida por seus dois nós finais e um ou mais nós internos, também conhecidos como vértices. Esta representação de linha tem três vértices, e, portanto, quatro segmentos de linha (Huisman ET AL., 2009).

2.8.3 Polígonos(vetorial)

Quando objetos de área são armazenados usando uma abordagem vetorial, a técnica usual é para aplicar um modelo de fronteira. Isso significa que cada característica da área é representada por alguma estrutura de arco / nó que determina um polígono como o limitada área (Figura 10).

Figura 10 – Áreas representados por seus limites



Fonte: Huisman et al., 2009).

2.8.4 Mapas Temáticos

Câmara ET AL. (1996) definem mapas temáticos como mapas que exibem uma região geográfica com polígonos, linhas, pontos ou camadas raster (imagens, tin ou grid) segundo valores relativos a um tema específico de interesse. A maioria dos sistemas armazena dados para estes tipos de mapas usando uma representação topológica, onde as arestas definem os limites entre regiões. A topologia construída é do tipo aresta-vértice-face: arestas se conectam entre si através de vértices (pontos inicial e final) e arestas que circundam uma área define uma face (polígono

ou região).

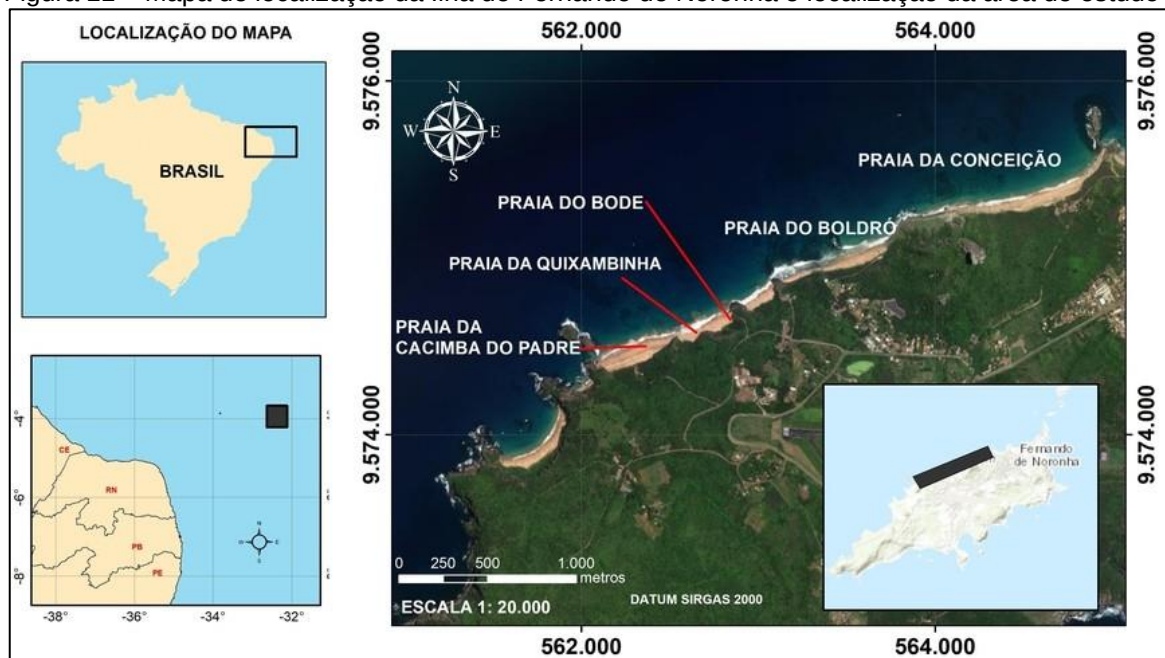
2.9 MATERIAIS E MÉTODOS

2.9.1 Caracterização da área de estudo

2.9.1.1 Localização

A área de estudo corresponde a faixa litorânea setentrional da ilha principal que leva seu homônimo arquipélago de Fernando Noronha (Figura 11) e corresponde as praias: e Praia da Conceição, Boldró, Praia do Bode, Praia da Quixambinha e Cacimba do Padre. O arquipélago é formado por 21 ilhas, ilhotas e rochedos de origem vulcânica, ocupa uma área de 26km², desses, 17 km² são da ilha principal “Fernando de Noronha”. Situada no Oceano Atlântico Sul equatorial, localizada entre as coordenadas UTM 25 S, 562.000 E e 9.574.000 S e 964.946 E e 9.957.132 S distando 545 quilômetros na direção NE da cidade do Recife-PE, 360 quilômetros da cidade de Natal-RN, 710 Km de Fortaleza-CE (CPRM, 2019).

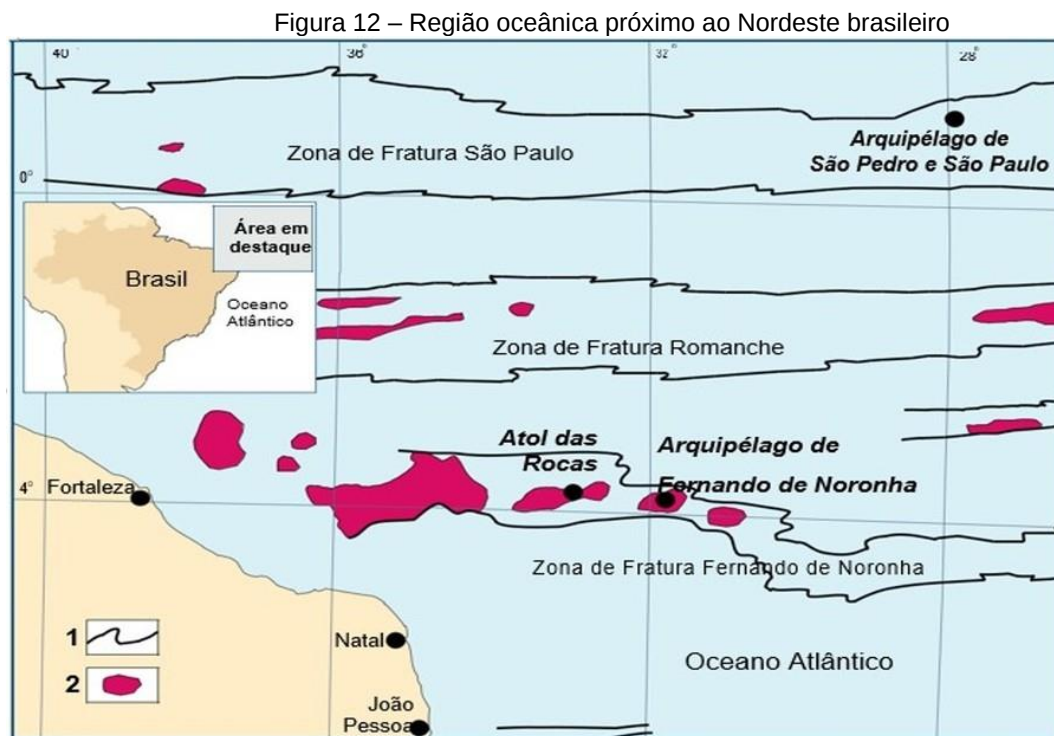
Figura 11 – Mapa de localização da Ilha de Fernando de Noronha e localização da área de estudo .



Fonte: Base cartográfica: IBGE 2005, SUDENE 2010) adaptada pelo autor.

2.9.2 Geologia

O Arquipélago de Fernando de Noronha (Figura 12) são no total 21 ilhas de origem vulcânica situadas sobre as Zona de Fratura de mesmo nome. Essas fraturas podem construir relevos importantes e representam faixas de fraqueza da litosfera oceânica e se nessa passa por um hotspot a pluma mantélica pode atuar como duto vulcânico que emersos se apresentam como ilhas (ALMEIDA, 2006).



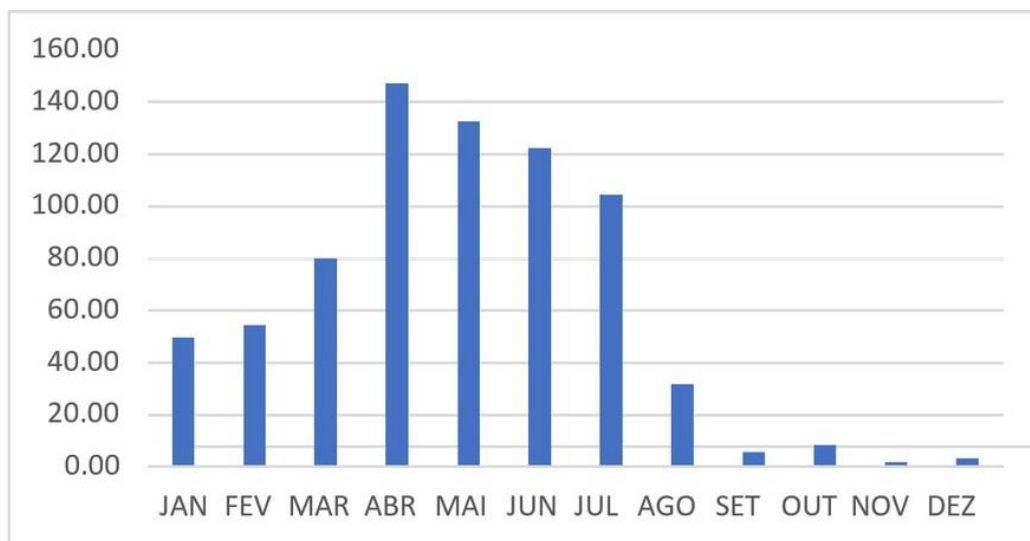
Fonte: Almeida (2006).

Nota: situação do Arquipélago de São Pedro e São Paulo na Zona de Fratura São Paulo; Atol das Rocas e Arquipélago de Fernando de Noronha, na extremidade da Zona de Fratura Fernando de Noronha. 1 – Limite de zonas de fratura; 2 – Rochas magmáticas.

O arquipélago está localizado a nordeste da cidade Natal-RN, na extremidade oriental de cadeias de montes submarinos orientadas a leste-oeste. Outros montes e elevações do embasamento magmático, apresentam-se nessa zona de fratura da crosta oceânica compondo o conjunto da Cadeia Fernando de Noronha (GORINI e BRYAN, 1974). A ilha principal é a maior do Arquipélago homônimo tem aproximadamente 16,4 Km² e constitui uma pequena parte emersa de uma montanha vulcânica submarina com aproximadamente 75 Km de diâmetro na base alongada (E-W) sobre o fundo oceânico com cerca de 4.000 metros de profundidade (ALMEIDA, 2006).

de março a agosto (Figura 14). A temperatura tem pouca variação, apresentando uma média de 28° C.

Figura 14 – Monitoramento pluviométrico APAC-PE. 2010-2018



Fonte: APAC-PE. 2010-2018

A flora natural do Arquipélago de Fernando de Noronha é muito pouco em relação ao que encontraram os primeiros navegadores, que ali chegaram, no começo do século XVI. A vegetação hoje encontrada é predominantemente arbustiva e herbácea, com várias espécies invasoras, que foram trazidas do continente (WILDNER *et al.*, 2010).

2.9.4 Oceanografia

A área do Arquipélago de Fernando de Noronha sofre ação da Corrente Sul Equatorial, que exerce uma influência na distribuição de isotermas dessa massa d'água, com a indução de ressurgências nas áreas dos bancos mais profundos (TRAVASSOS ET AL. 1999). Esses mesmos autores mostraram evidências de uma interação entre a topografia submarina e o fluxo em estruturas termohalinas no entorno das cadeias de montanhas submarinas de Fernando de Noronha.

A Corrente Sul Equatorial é a corrente de ar superficial, de direção leste-oeste, no sentido da África para a costa brasileira, paralela ao Equador geográfico, bifurca-se entre 5° e 10°S, na altura do Cabo Calcanhar (RN), originando a Corrente Norte do Brasil e a Corrente do Brasil de direção sul (BEZERRA JR.

1999). Conforme esse autor, a evaporação é geralmente maior do que a precipitação pluviométrica, o que proporciona valores elevados de temperatura e salinidade superficiais, em média 28°C e salinidade acima de 36 ‰, inibindo a convecção na coluna d'água.

2.9.5 Histórico e ocupação

A ilha principal, a única habitada, concentra todas as atividades socioeconômicas do arquipélago. O arquipélago foi descoberto em 10 de agosto de 1503, pelo navegador Américo Vespúcio, participante da segunda Expedição Exploradora, comandada por Gonçalo Coelho e financiada pelo fidalgo português Fernão de Noronha, no dia em que ocorreu o 1º naufrágio do Brasil, nas proximidades da ilha.

A descoberta condicionou a doação da ilha, pelo Rei de Portugal, em 1504, ao financiador da expedição, vindo daí o seu nome. A doação foi em forma de Capitania Hereditária (a primeira do Brasil, 30 anos antes da implantação do regime de capitanias no Brasil). O donatário jamais tomou posse de suas terras que, abandonadas, atraíram as atenções de muitos povos, dentre os quais os alemães (que a abordaram em 1534), os franceses (também em abordagens em 1556, 1558 e 1612), os ingleses (em 1577), os holandeses (que nela se fixaram por 25 anos, entre 1629 e 1654) e os franceses (que ali viveram um ano, entre 1736 e 1737).

Após mais de dois séculos de abordagens e ocupações temporárias, Portugal resolveu reocupar e colonizar a ilha, em 1737, através da capitania de Pernambuco. Para isso um sistema de defesa foi implantado, com dez fortificações estrategicamente posicionadas, para a defesa de todas as praias onde pudesse ocorrer desembarques. Também foram construídos dois núcleos urbanos para o funcionamento de uma Colônia Correcional para presos comuns vindos de Pernambuco: a Vila dos Remédios e a Vila da Sambaquixaba ou da Quixaba. Em diversos períodos políticos nacionais também foram abrigados presos políticos, como os ciganos do Brasil (em 1739), os farroupilhas (1844) e os capoeiristas (1890). Em 1938 a ilha foi requisitada pela União para tornar-se oficialmente um Presídio Político.

No ano de 1942, Fernando de Noronha, tornou-se um Território Federal, administrado por militares (Exército até 1981, Aeronáutica até 1986; EMFA até 1987) e pelo Ministério do Interior – MINTER até 1988, quando se deu a reintegração a Pernambuco. Também, no ano de 1942 instalou-se na ilha uma base avançada da II Guerra Mundial (Departamento Misto) e uma base americana de cooperação de guerra. Os americanos voltariam a viver em Noronha no período de 1957/1965, conduzindo um Posto de Observação de Mísseis Teleguiados. Hoje Fernando de Noronha é um Distrito Estadual, administrado por Pernambuco, com uma população remanescente dos diversos períodos vividos, acrescida daqueles que foram morar na ilha pelas mais diversas razões. Descendentes de presos comuns ou políticos, guardas, militares ou pessoas que para lá foram destacadas para prestarem serviços, acompanharam companheiros ilhéus ou simplesmente fazer turismo, compõem essa população, que chega a 2.500 pessoas, vivendo principalmente do Turismo (IBGE, 2019).

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para o levantamento dos dados foram: Drone Dji Phantom IVPro, Tablet Galaxy Tab S6 Lite SM-P615 dotada de câmera fotográfica traseira (8 megapixel, resolução 3266 x 2449 pixel e tamanho do sensor de 1/4") , Bússola de Geólogo dotada de clinômetro, Software ArcGis 10.5, Extensão do programa Arc Gis DSAS 5.0, Intel Core i5, HD 1 Terabyte, RAM 8 GB, Gps Etrex Garmin.

3.2 MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base em material produzido através de coleta de informações in loco, aerolevanteamento com veículo aéreo não-tripulado (vant) e utilização de imagens aéreas obtidas por voo sobre a área de estudo, todas as informações espaciais foram extraídas no software Agisoft Metashape 1.5 e exibidas e tratadas no software ArcMap 10.5. Foi utilizado o aerolevanteamento realizado por Salim (2019), sendo realizado um levantamento com VANT (veículo aéreo não tripulado) com as seguintes características: quadriroscóptero de asas rotativas, fabricante DJI, modelo Phantom 4 Pro). Para precisão do aerolevanteamento, sobretudo para manter a taxa de sobreposição das imagens, altura e velocidade e o plano de voo criado por Salim (2019) através do programa Drone Deploy com os seguintes parâmetros de voo: altitude de voo: 120-200 metros, sobreposição lateral das faixas: 65%, sobreposição frontal das fotos: 75%: área aerolevantada 2.200,00 hectares (sendo utilizados nessa pesquisa uma área de 26,17 hectares que compreende as praias estudadas) , resolução espacial: 3,27 cm/pixel. Medição dos pontos de controle do terreno: Par de Receptores Zenith no modo positional 10 RTK (Salim, 2019).

3.2.1 Processamento Fotogramétrico

Para o processamento dessas imagens foi necessário a entrada dos dados de calibração da câmera, do arquivo de coordenadas do centro de cada imagem e inclinações ω , ϕ , κ (Yaw, Pitch e Roll) e das próprias imagens. Foi utilizado o

programa Metashape 1.5, desenvolvido pela Agisoft. Esse software permite a criação de ortomosaicos com alta resolução espacial, por intermédio de técnica de mosaicagem com base nas semelhanças entre as imagens. Esse processo consiste em projetar o ortomosaico em um plano definido pelo usuário. Entretanto para obter uma melhor precisão é necessário o uso de pontos de controle no terreno como forma de se assegurar a acurácia. Apesar dessas imagens terem coordenadas geográficas registradas da sua localização, foram corrigidas através de georreferenciamento com 241 pontos materializados no terreno, de forma a aumentar a precisão do ortomosaico. Foram utilizados um par de receptores RTK (com base fixa e móvel) Geomax Zenith 10.

Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de aquisição de informações confiáveis sobre objetos, meio ambiente a partir do uso de processos de registro, medições e interpretações fotogramétricas. A fotografia aérea pode ser executada a partir de uma direção oblíqua ou vertical. Na perspectiva vertical (Figura 15), a fotografia é executada com a câmera apontada para baixo, ponto nadir: extremamente inferior de uma direção que coincide com direção da força gravitacional. A escala da fotografia aérea é decorrente da relação entre a distância focal da câmera e a altura do voo da aeronave. Quando a distância focal aumenta a escala das fotografias torna-se maior. O intervalo de tempo das exposições feitas na câmera fotográfica aerotransportada é ajustado de forma que cada ponto da superfície é fotografado mais de uma vez de diferentes posições (superposição).

Figura 15 – Distância focal



$$E = d / D$$

Relação entre uma distância na imagem e sua homóloga no terreno

$$E = f / H$$

$$E = f / (h_m - h)$$

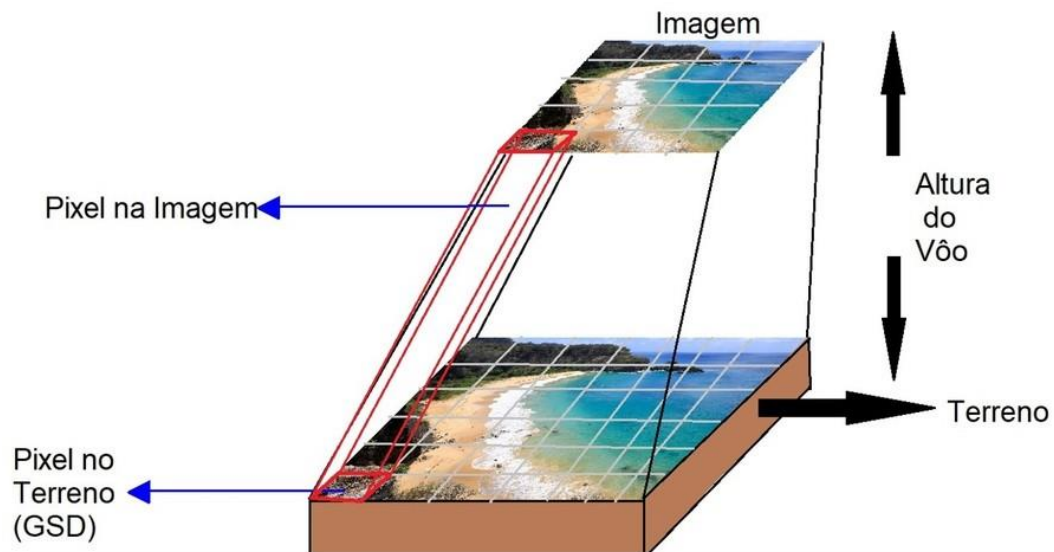
h é a altitude da câmara
 h_m é a altitude média do terreno

Fonte: O Autor (data).

*Desenho esquemático da obtenção da escala.

No software de tratamento dos dados produzidos no aerolevantamento GSD ou “Ground Sample Distance” e em tradução livre significa “Distância da amostra do solo” é a representação do pixel da imagem em unidades do terreno (Figura 16). Esse valor (GSD) significa a quantidade de medida representada em cada pixel na imagem da representação do mundo real. Por exemplo, em um voo com 15 cm/pixel, cada pixel representará 15 centímetros de distância no mundo real.

Figura 16 – Representação ilustrativa do GSD ou “Ground Sample Distance”.



Fonte: O Autor (2022).

3.2.2 Geoindicadores e Variáveis de Risco

Os geoindicadores ou variáveis de risco (BUSH et al, 1999; GORNITZ, 1994) integram, sugerem elementos associados as variáveis que visam indicar o estado associadas variáveis de risco (MAZZER, 2007). Algumas variáveis e os pesos que foram utilizadas neste trabalho tem por base o modelo sugerido pelos autores: Bush ET AL. (1999), Gornitz(1994) e Mazzer (2007). As variáveis de risco e os geoindicadores estão enumeradas na Tabela 02.

As variáveis consideradas neste trabalho foram: elevação, declividade, densidade de vegetação, largura do pós praia, distância e densidade da ocupação humana, granulometria dos sedimentos da face de praia. Nesta etapa foram vetorizadas as distâncias a cada 2 metros longitudinalmente em cada uma das cinco praias estudadas. A variável declividade foi obtida com o uso do clinômetro sobre a face de praia.

A localização espacial das construções e da vegetação (casas, restaurantes, bares, etc) sobre o ambiente de praia, foram vetorizados no ArcMap, tendo como background as imagens processadas do aerolevante realizado em 2019 e mapeamento em 2021.

Tabela 2 –Variáveis e geoindicadores utilizados.

VARIÁVEIS DE RISCO	GEOINDICADORES	MEIO DE OBTENÇÃO DA INFORMAÇÃO
TOPOGRAFIA	Elevação	A partir da Modelo Digital do Terreno (MDT).
TOPOGRAFIA	Declividade	A partir da Modelo Digital do Terreno (MDT).
LINHA DE COSTA	Largura de Pós praia	Extraídas vetorialmente através das imagens obtidas pelo VANT.
VEGETAÇÃO	Densidade da vegetação	Fotointerpretação das imagens obtidas pelo aerolevante com VANT.
SEDIMENTOLOGIA	Granulometria dos sedimentos	Coleta de amostras Geoespacializadas.
OCUPAÇÃO E USO DO SOLO	Distância e densidade da Ocupação humana	Fotointerpretação das imagens obtidas pelo aerolevante no VANT.

Fonte: O Autor (2021).

No estudo da variável de risco sedimentologia, foram realizadas coletas de amostras de sedimentos na face média da praia em outubro de 2021, durante a maré de sizígia, tendo como sistema referência SIRGAS 2000 de projeção UTM (Fuso 25S) para a identificação dos pontos. Os sedimentos foram trabalhados no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM - UFPE) (Figura 4.8). Foi utilizada a metodologia segundo Suguio (1973). Sendo assim, foram armazenadas 100 g de cada amostra, pesado em balança de precisão e realizado o peneiramento úmido (Figura 17). Para a separação da fração lamosa e a eliminação de sais solúveis, utilizou-se as peneiras de 2,0 e 0,62 mm de abertura, e o peneiramento seco utilizando-se o intervalo de peneiras de 1, para o tratamento posterior dos dados. Os sedimentos foram então classificados segundo Folk e Ward

(1957), e utilizado os parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, assimetria e curtose), e analisados segundo o Software SYSGRAM (CAMARGO, 1999).

Figura 17 – Amostras em preparação para análise granulométrica. LGGM-UFPE



Fonte: O Autor (2021).

O teor de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) foi realizado através do método descrito por Loring e Rantala (1992), o qual consiste na dissolução do CaCO_3 por ácido clorídrico (HCl) e determinado pela diferença de peso entre o total da alíquota utilizada (10g de sedimentos) e o valor do peso de grãos final.

3.2.3 Variação do deslocamento da linha de costa

A linha de costa de 2019 foi digitalizada/espacializada a partir das imagens aéreas obtidas no aerolevantamento por VANT executado por Salim (2019) e a linha de costa atual de 2021 foi digitalizada/espacializada a partir do caminhamento realizado no mês de outubro de 2021. O cálculo das taxas de variação da linha de costa (m/ano) considerou o deslocamento da linha de costa, de progradação (avanço) e retrogradação (reco). Nessa etapa do trabalho foi utilizado o software DSAS (Digital Shoreline Analysis System) um programa livremente disponível, sendo executado juntamente com o programa ArcGis da Esri Geographic Information System. A versão que foi usada neste trabalho foi

DSAS 5.0. A taxa de variação do deslocamento da linha de costa foi calculada utilizando-se as distâncias entre a linha base (baseline) e cada intersecção ao longo das linhas transversais de 2019 e 2021, com uma equidistância de 4 metros (Figura 18).

Os dados estatísticos são exibidos em unidade de metro de variação pelo período entre as linhas de costas medidos ao longo das linhas transversais (“transectors”). Para avaliação dos cálculos estatísticos foi utilizado os dados do campo chamado EPR (End Point Rate), que corresponde a distância entre a linha de costa mais antiga e a linha de costa mais recente para cada linha de transectos, dividindo-se a distância medida pelo tempo decorrido entre as duas posições da linha de costa, o resultado é a taxa da variação do ponto final.

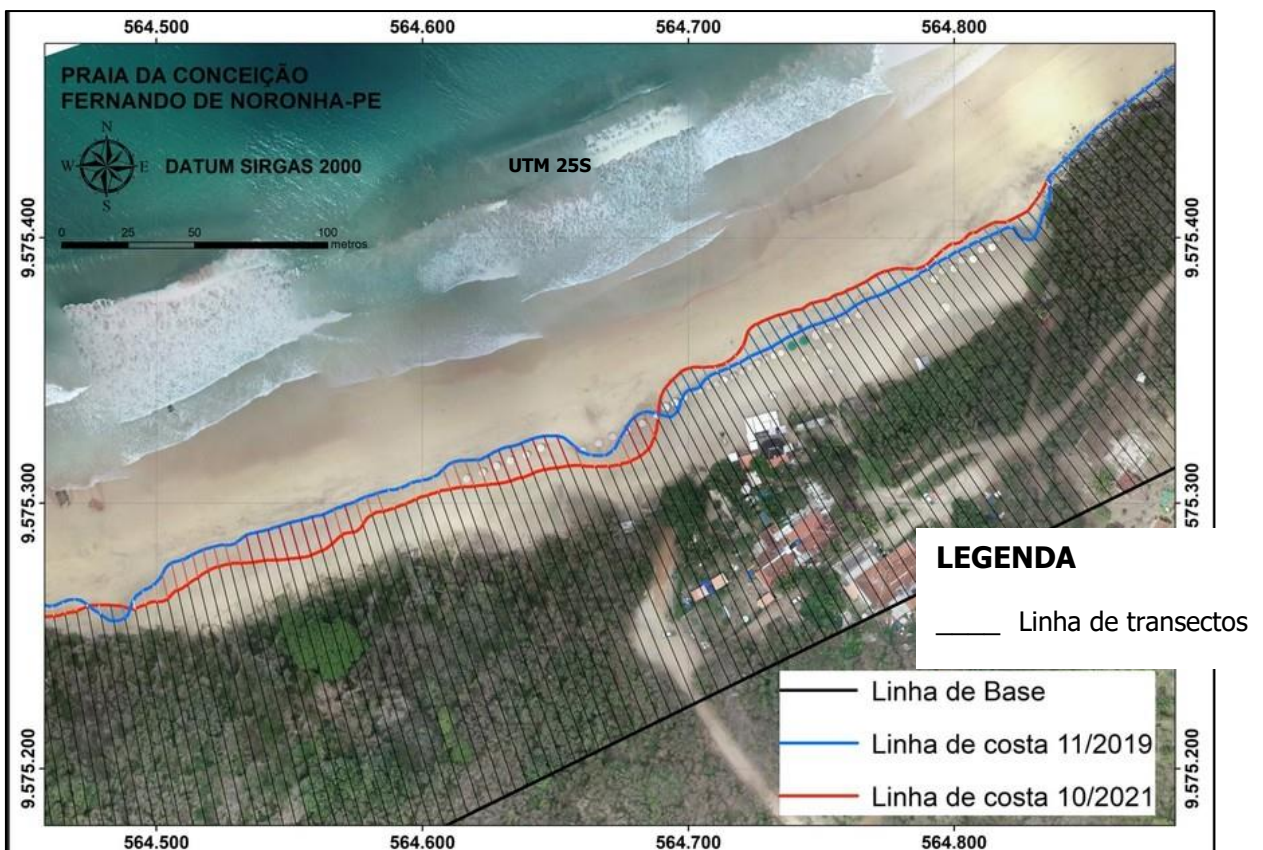


Figura 18 – Mapa exemplificando linhas de costa e representação do traço das seções transversais (“transectors”). Local: Praia da Conceição, Fernando de Noronha-PE.

3.2.4 Cálculo do índice de vulnerabilidade

Os fatores ou geoindicadores utilizados para o cálculo da vulnerabilidade

estão descritos na Tabela 03 abaixo:

Tabela 3 – Geoindicadores e Graus de Vulnerabilidade.

Geoindicadores	Vulnerabilidade baixa	Vulnerabilidade Moderada	Vulnerabilidade Alta
Variáveis	1	2	3
Elevação	>10 m	entre 5 e 10 metros	abaixo de 5 m
Declividade	=<10°	entre 10° e 30°	>30°
Largura de Pós praia	< 24,00 m	Entre 15 e 24,00 m	< 15,00 metros
Granulometria dos sedimentos	Granulometria Grossa	Granulometria média	Areia Fina

Fonte: O Autor (2021).

3.2.5 Sistemas de Informações Geográficas

Para a criação do SIG foi feito uma modelagem da área de estudo em um banco de dados espaciais contendo todos os geoindicadores. Foram 8 camadas, sendo duas camadas matriciais e 6 camadas vetoriais, descritas na Tabela 04. Tendo-se como produto final um repositório das informações obtidas de forma direta em campo e outras processadas em cada camada do ambiente do sistema de informações geográfico.

A partir da modelagem criada foram plotados em mapas temáticos em escala adequada, Datum SIRGAS 2000, 25S.

Tabela 04 – Layers de informação espacial. Fonte: O Autor (2021).

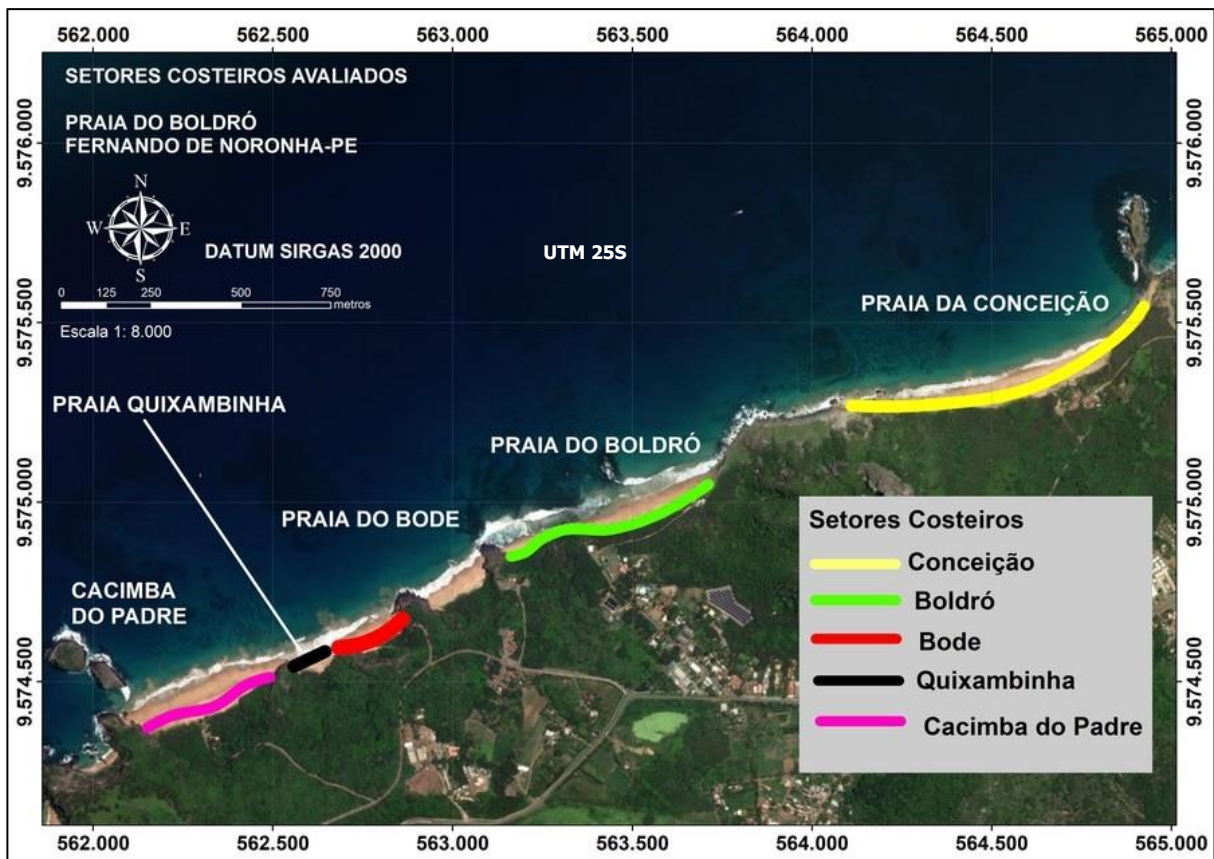
LAYER DE INFORMAÇÃO ESPACIAL	TIPOLOGIA	FORMATO
ALTIMETRIA (EQUIDISTÂNCIA DE 2 METROS)	Vetorial	Linhas
MODELO DIGITAL DO TERRENO	TIN	TIN/Raster
IMAGENS AÉREAS	Raster	tiff
LINHA DE COSTA	Vetorial	Linhas
LARGURA DO PÓS-PRAIA	Vetorial	Polígonos
OCUPAÇÃO E USO DO SOLO	Vetorial	Polígonos
SETORES COSTEIROS	Vetorial	Polígonos
ALTERAÇÃO DE MARÉ	Vetorial	Linha

4 RESULTADOS

4.1 PRAIAS ESTUDADAS

Para o estudo da vulnerabilidade do ambiente de praias arenosas da ilha principal do arquipélago de Fernando de Noronha foram avaliadas as praias setentrionais: Praia da Conceição, Praia do Boldró, Praia do Bode, Praia da Quixambinha e a Praia da Cacimba do Padre (Figura 19).

Figura 19 – Mapa de setores Costeiros Avaliados para o cálculo do deslocamento da linha de costa



Fonte: O Autor (2021).

4.1.1 Praia da Conceição

A praia da Conceição está localizada entre a Praia do Meio e a Praia do Boldró próximas à Vila dos Remédios, está situada no sopé do morro do Pico. Essa praia apresentou uma morfologia parabólica, com aproximadamente 900 metros de extensão e uma orientação SW-NE, é delimitada por um promontório rochoso a nordeste e por matacões a sudoeste (Figura 20).

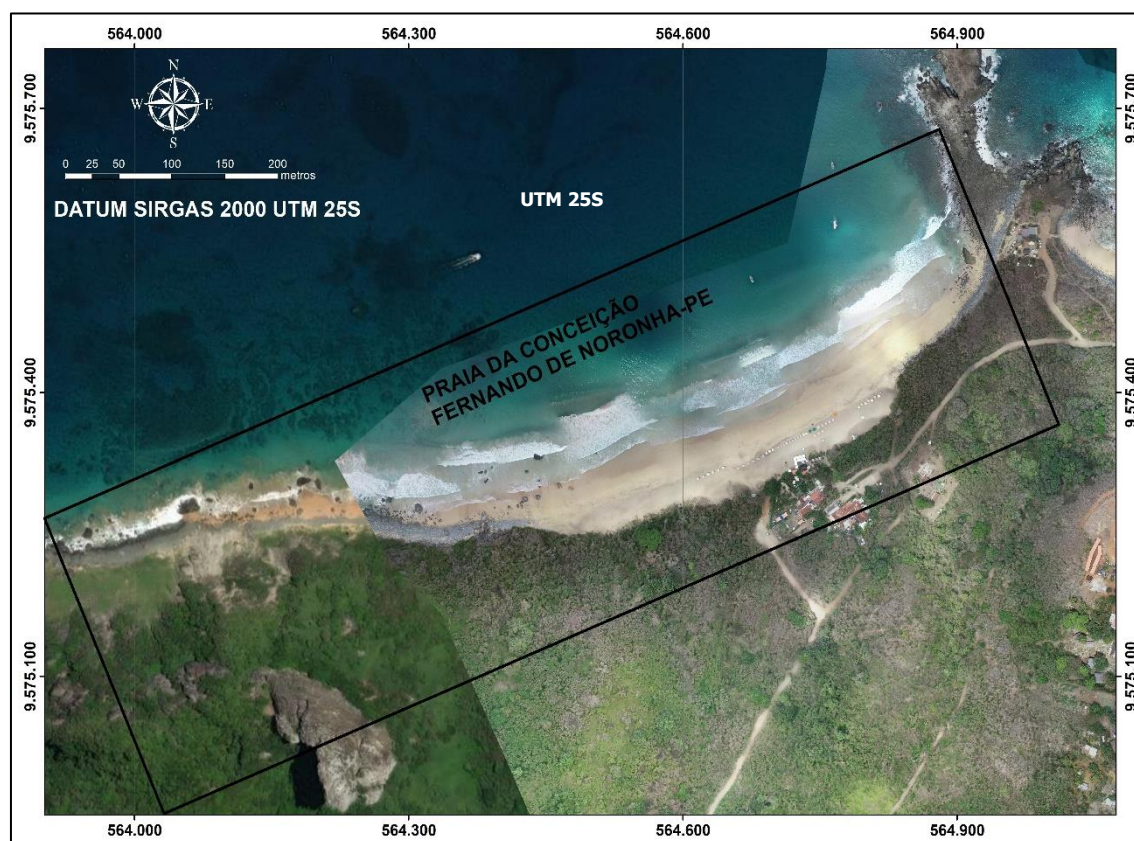


Figura 20 – Mapa de localização da Praia da Conceição. Fonte: O Autor (2021).

4.1.2 Praia do Boldró

A praia do Boldró está localizada a sudoeste da Vila dos Remédios, situada entre a Praia da Conceição e a Praia do Americano, no entorno do morro do Pico. A praia do Boldró possui uma extensão de aproximadamente 600 metros com a direção nordeste-sudoeste, como o prolongamento da Praia da Conceição e uma largura do pós-praia de 24 metros até a vegetação. Está delimitada por dois promontórios rochosos (rochas de basalto) a oeste e matacões de rochas basálticas a leste, em direção à praia da Conceição (Figura 21).

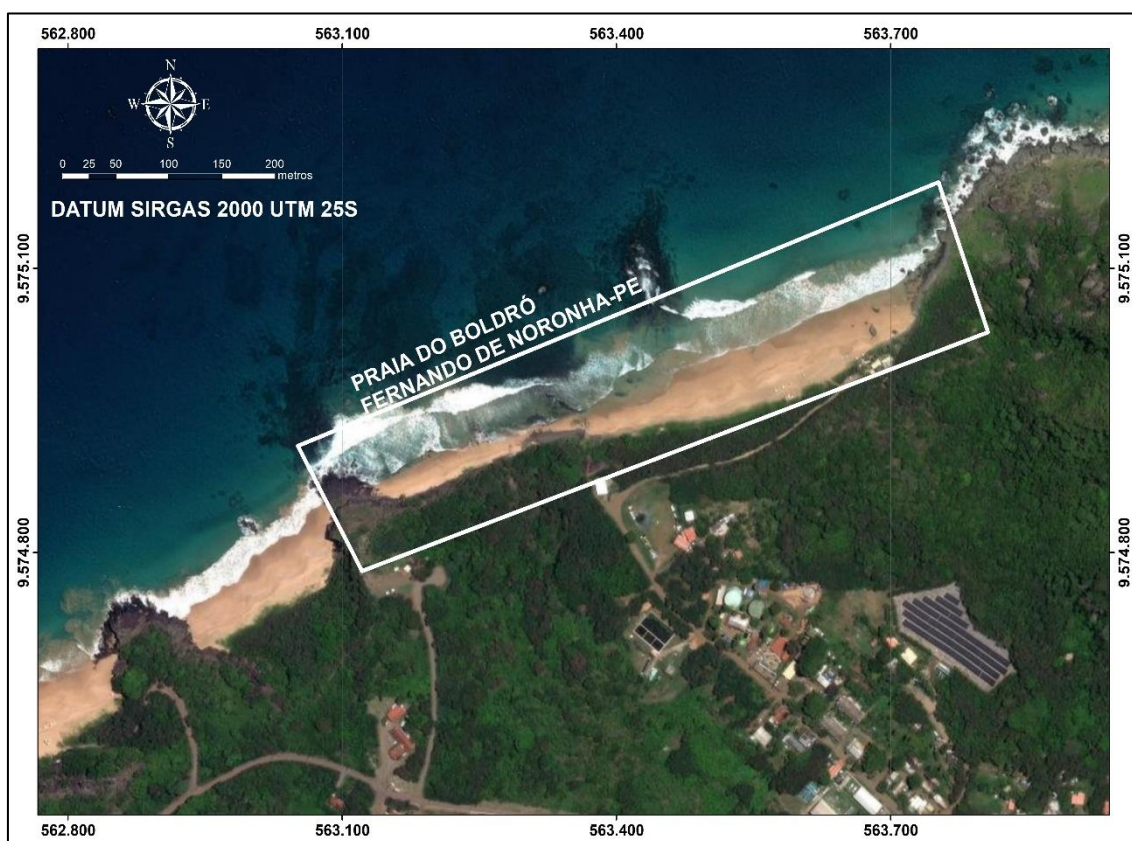


Figura 21 – Mapa de localização da Praia do Boldró. Fonte: O Autor (2021).

4.1.3 Praia do Bode

A Praia do Bode apresentou uma extensão de aproximadamente 165 metros, com a direção SW-NE, sendo o prolongamento da Praia do Boldró. Essa Praia está entre dois promontórios rochosos a leste e a oeste, respectivamente (Figura 22).

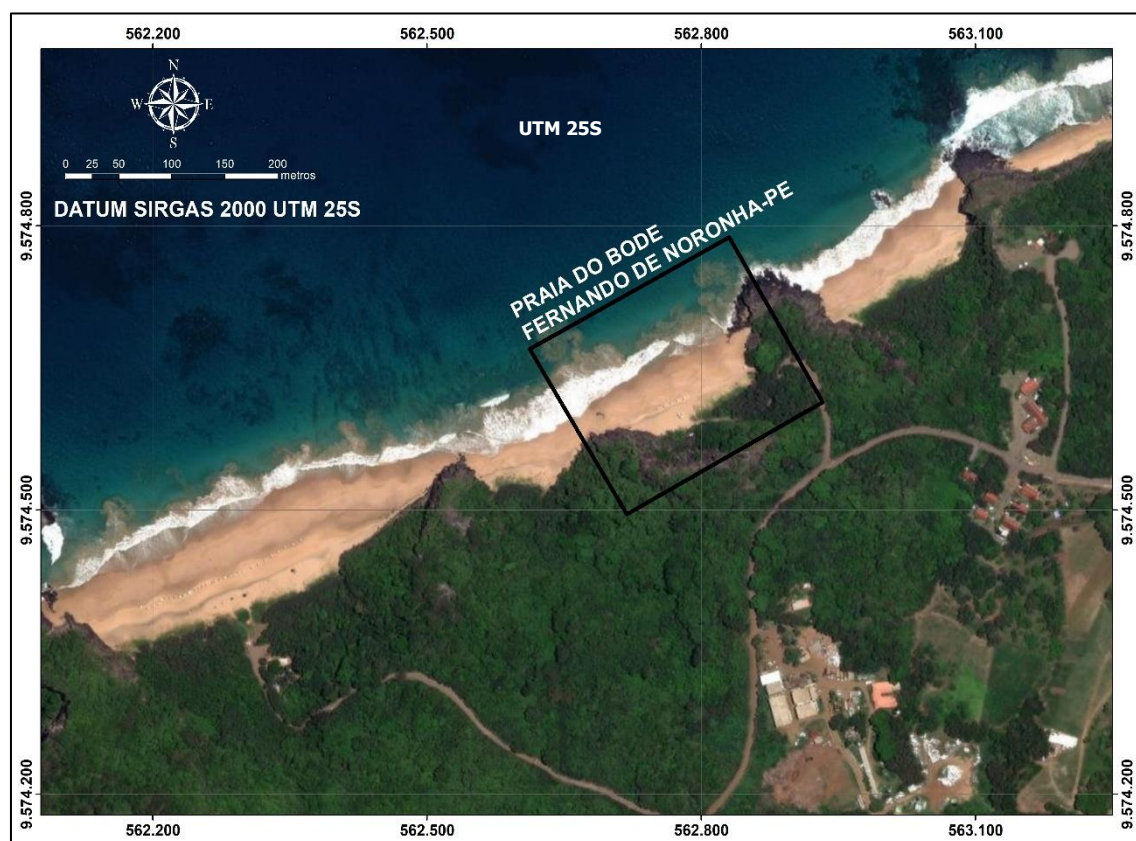


Figura 22 – Mapa de localização da Praia do Bode. Fonte: O Autor (2021).

4.1.4 Praia da Quixambinha

A Praia da Quixambinha (Figura 23) possui uma extensão aproximada de 140metros na direção ENE, sendo o prolongamento da praia do Bode. Seus limites são as rochas da Formação Quixaba à oeste e a leste a praia do Bode.



Figura 23 – Mapa de localização da Praia da Quixambinha. Fonte: O Autor (2021).

4.1.5 Praia Cacimba do Padre

A praia da Cacimba do Padre (Figura 24) tem uma extensão aproximada de 390 metros na direção ENE e está limitada a oeste por um promontório rochoso que se estende até alinha d'água, próximo das Ilhas Dois Irmãos e a leste limita-se com a praia da Quixambinha.

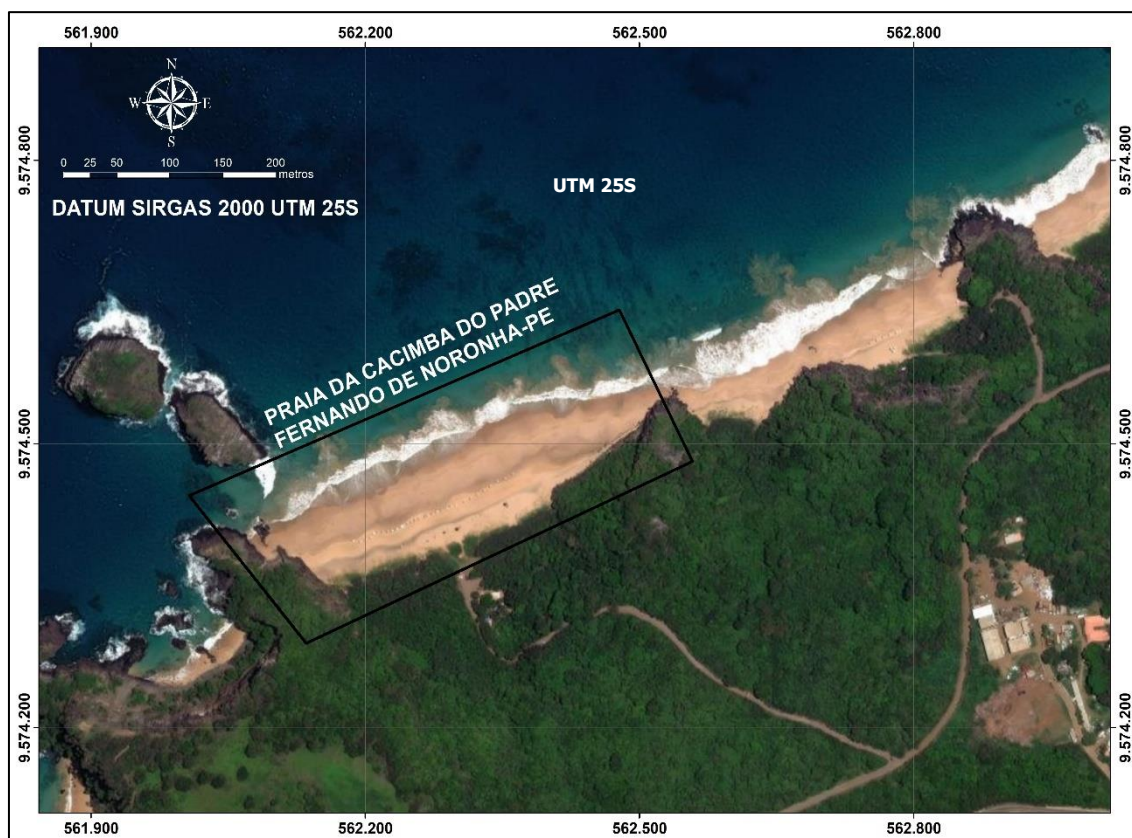


Figura 24 – Mapa de localização da Praia da Cacimba do Padre. Fonte: O Autor (2021).

4.2 GEOINDICADORES

4.2.1 Topografia, declividade e largura de pós-praia

Nos locais estudados, a Praia da Conceição apresentou valores de elevações que variaram abaixo de 5 metros até valores maiores que 10 metros (Figura 25). A Praia da Conceição apresentou predominantemente uma declividade de até 10 graus (Figura 26).

Nas figuras 27 e 28 foi registrado a deixa da maré alta marcada pela presença demaceiós. Essas áreas correspondem a superfícies preenchidas com água durante a maré mais alta, representando assim, uma área mais baixa que à adjacente na região superior do ambiente praiar. O ambiente da pós-praia da Praia da Conceição se estende da sua partecentral até a linha da vegetação, possuindo uma largura que varia de 1 a 40 metros (Figura29).

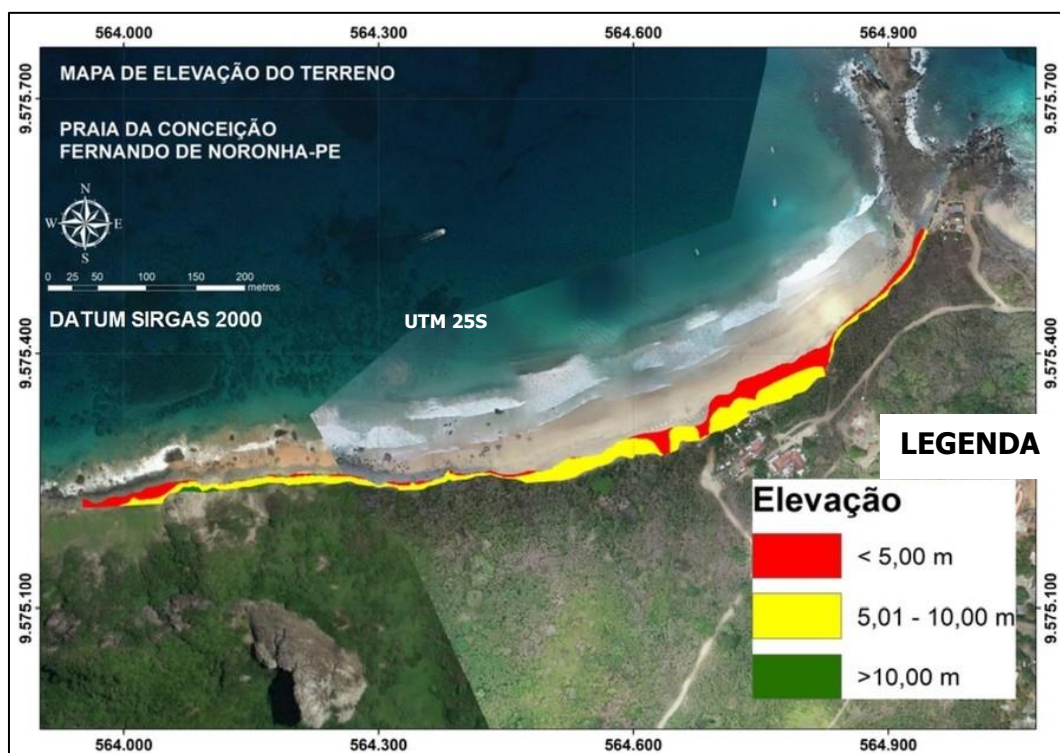


Figura 25 – Mapa de elevação do terreno, pós-praia. Praia da Conceição. Fonte: O Autor (2021).

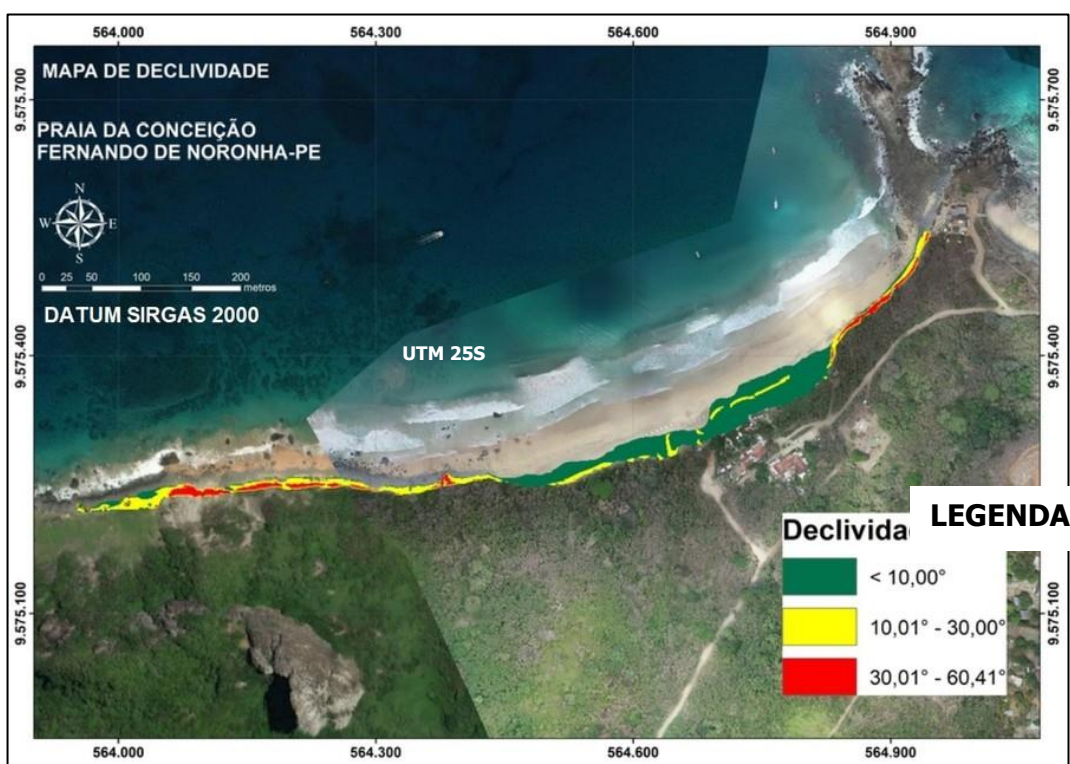


Figura 26 – Mapa de declividade do Ambiente pós-praia. Praia da Conceição. Fonte: O Autor (2021).

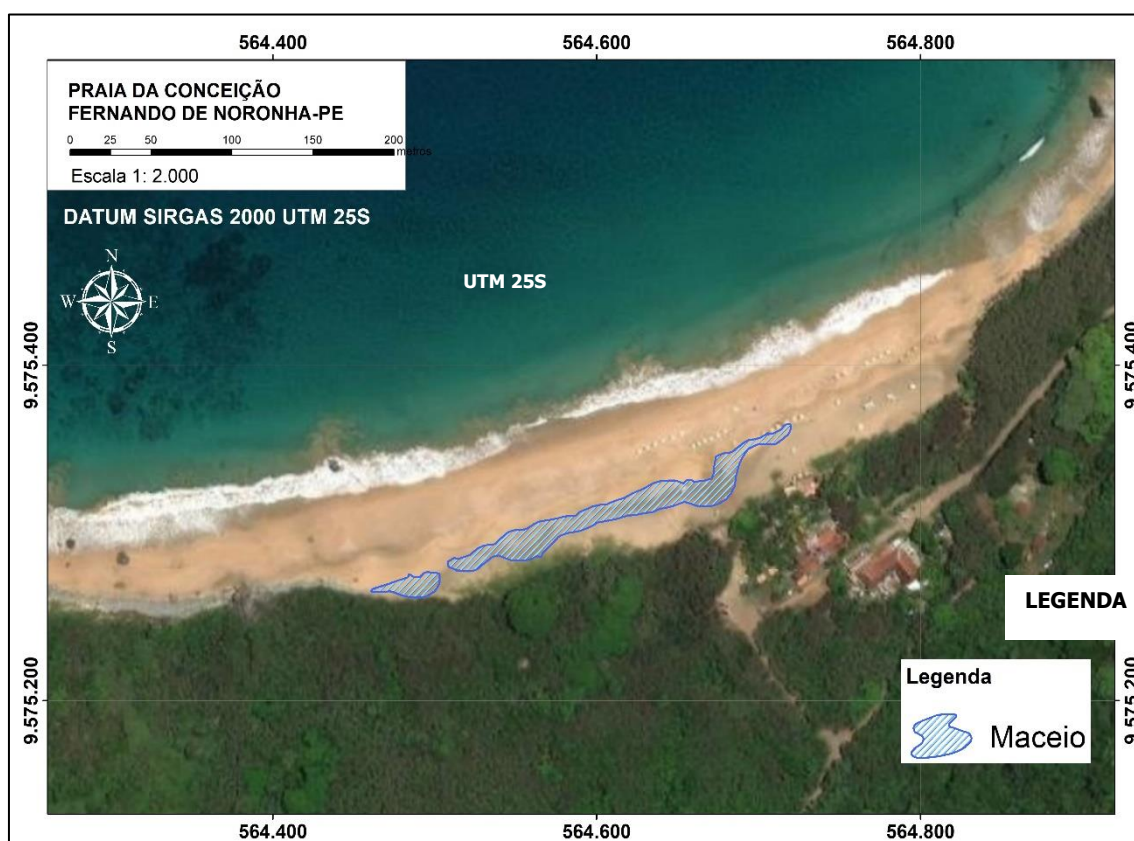


Figura 27 – Presença de água deixada pela maré alta (maceió). Praia da Conceição. Fonte: O Autor (2021).



Figura 28 – Fotografia da Praia da Conceição mostrando a Deixa da maré alta marcada pela presença de maceiós (limite em azul). (data: outubro/ 2021) Fonte: O autor

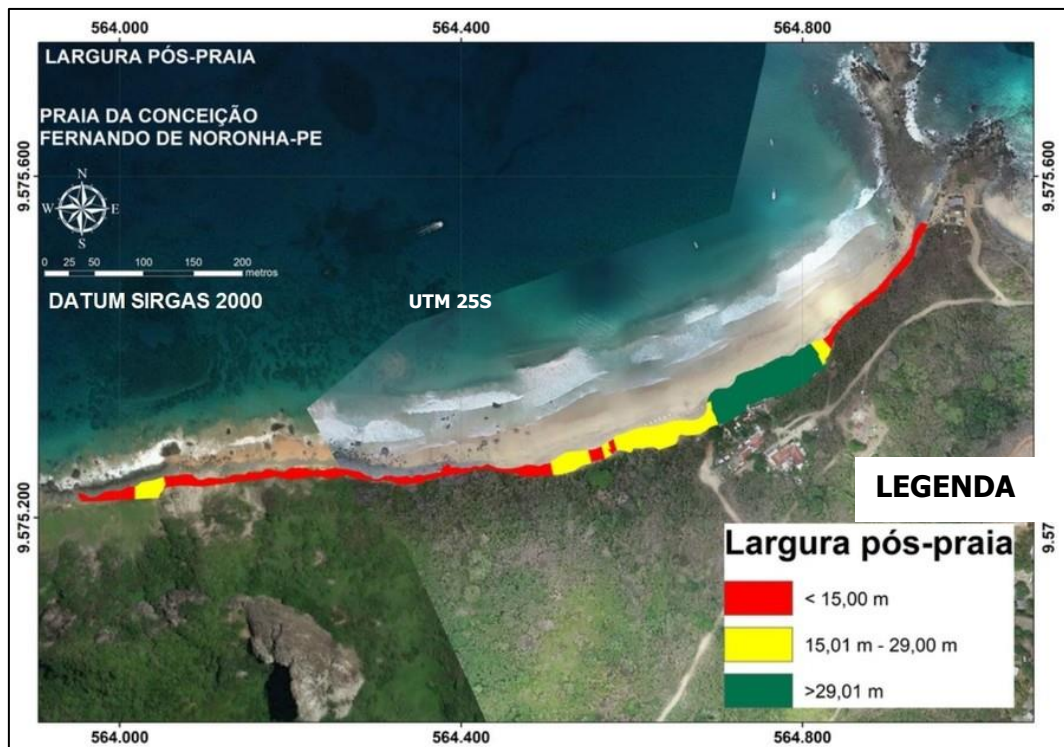


Figura 29— Largura do ambiente pós-praia. Praia da Conceição. Fonte: O Autor (2021).

Na praia do Boldró, o ambiente da pós-praia possui cotas menores que 4,97 metros (Figura 30). A largura do ambiente da pós-praia do Boldró possui valores menores que 15 metros e intervalos entre 15 e 22 metros (Figura 31). A Face da Praia possui uma declividade de dez graus (Figura 32), também foi possível destacar (Figura 33) a presença de maceiós.

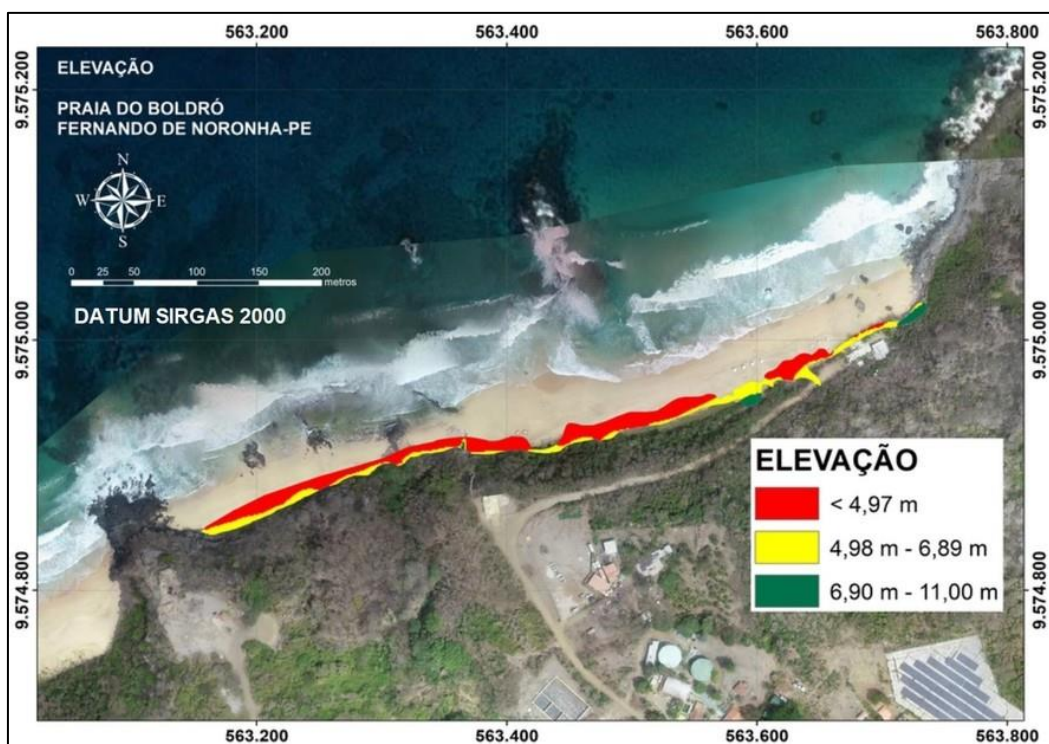


Figura 30 – Mapa de elevação do terreno no pós-praia. Praia do Boldró. Fonte: O Autor (2021).

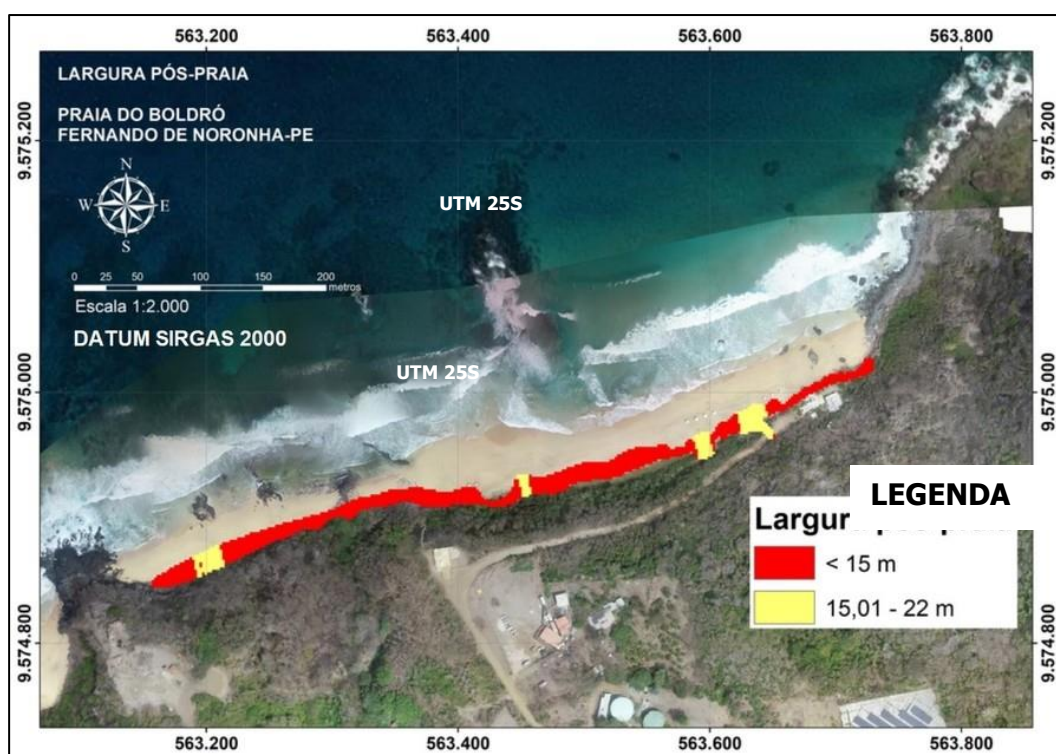


Figura 31 – Mapa da Praia do Boldró exibindo a Largura pós-praia. Fonte: O Autor (2021).

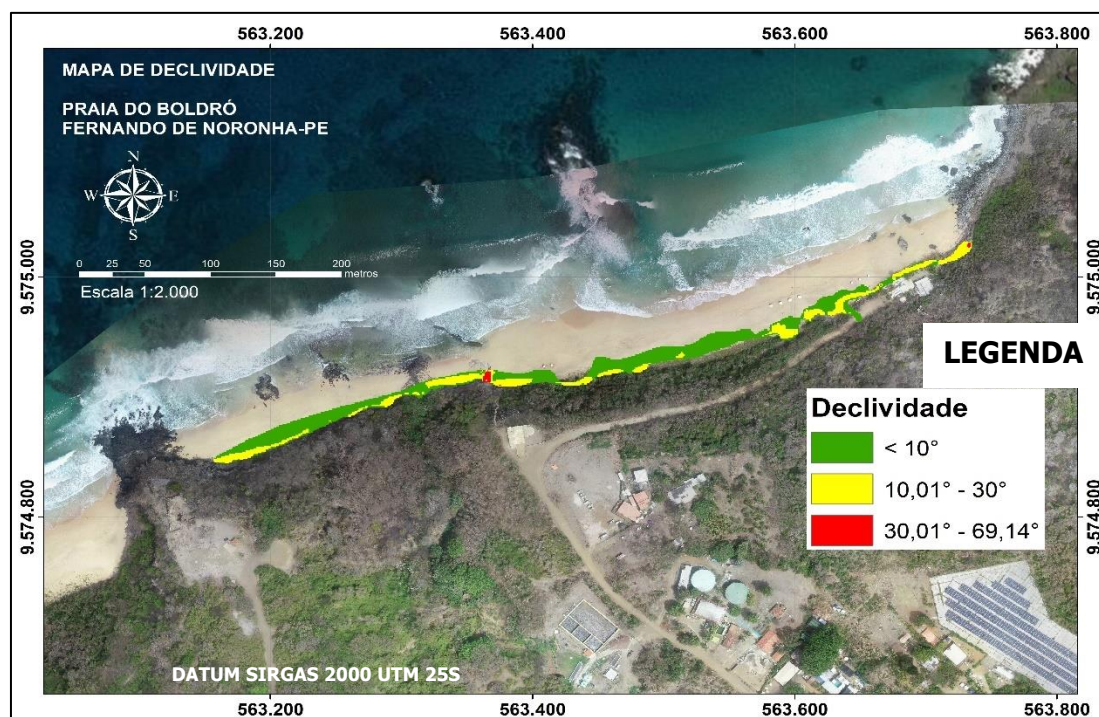


Figura 32 – Mapa contendo declividade da face de Praia com declividade medida de dez graus. Praia do boldro, outubro de 2021.



Figura 33 – Fotografia da Praia do Boldró elucidando o Maceió, local preenchido com água durante a maré alta. (data: outubro/ 2021) Foto: Autor.

A região do ambiente pós-praia atual, da Praia do Bode apresentou predominantemente locais com cotas abaixo de 6 metros (Figura 34). Sobre a extensão da Praia do Bode, que tem um sentido na direção ENE, foi constatado 143 metros, com um formato alongado, tendo seu término no contato com o paredão de rocha ao sudoeste. Nessa praia registrou-se uma areia bastante úmida pela água deixada pela maré alta, e a formação de maceiós (Figura 35). A declividade do ambiente pós-praia da praia do Bode apresentou declividade de 10 graus (Figura 36) e largura da pós-praia menor que 18 metros (Figura 37).

LEGENDA

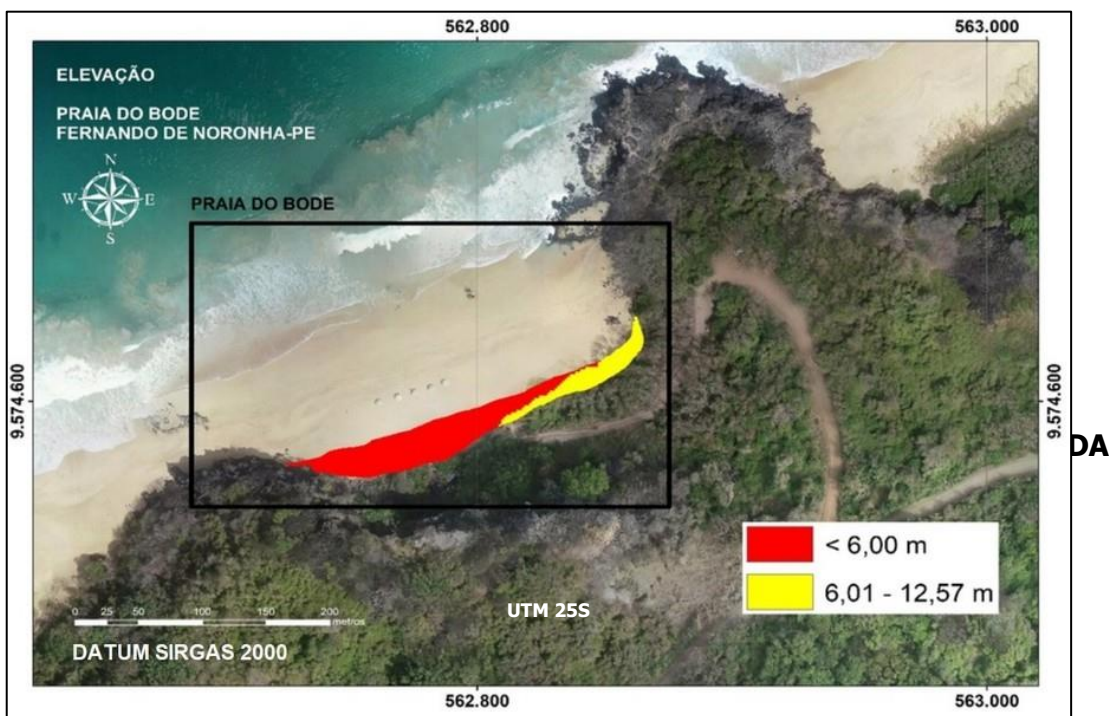


Figura 34 – Mapa de elevação do terreno da Praia do Bode (pós-praia). Fonte: O Autor (2021).



Figura 35 – Fotografia exibindo a vista frontal da Praia do Bode com destaque para a presença da marca da água deixada pela maré alta.
Fonte: O Autor (2021).

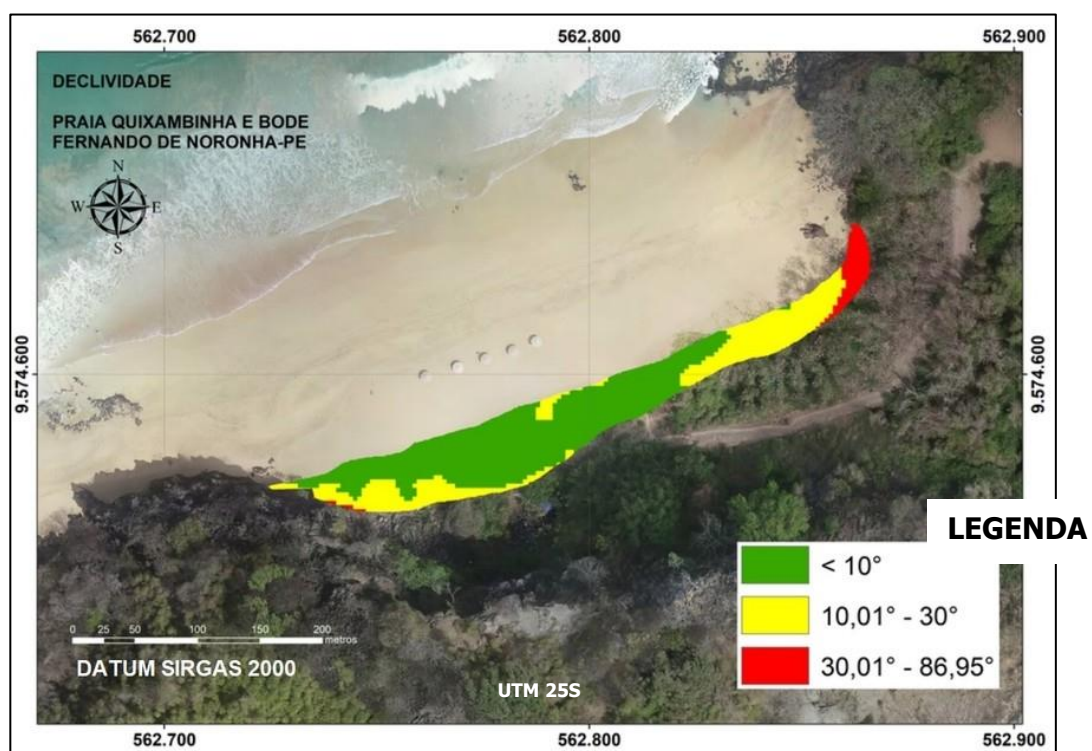


Figura 36 – Mapa de declividade da Praia do Bode (pós-praia).

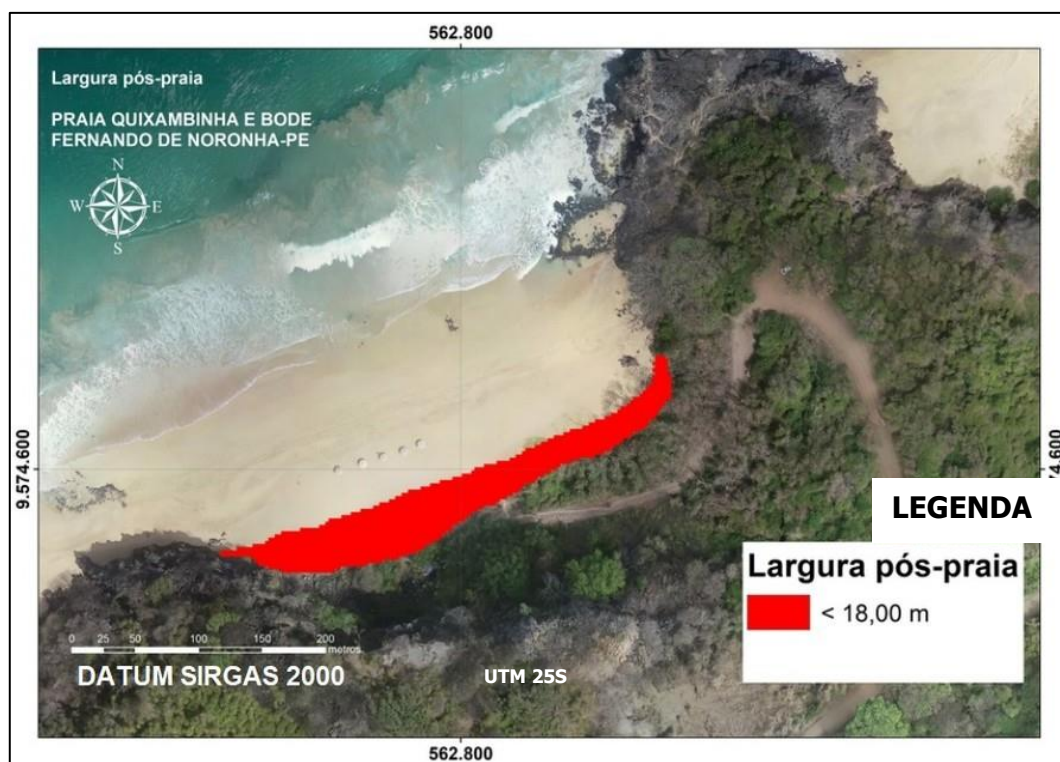


Figura 37 – Mapa da Praia do Bode ilustrando a Largura do pós-praia.

A praia da Quixambinha, quanto a declividade apresentou um ambiente pós-praia plano, não ultrapassando a 10 graus em mais de 50% das sua área (Figura 38). Nesse local foi identificado uma elevação do terreno menor que 5,89 metros (Figura 39). A presença de água remanescente da maré mais alta é destacada na figura 40 e 41 . A largura do ambiente da pós-praia na praia da Quixambinha apresentou uma medida de apenas 4 metros (Figura 42).

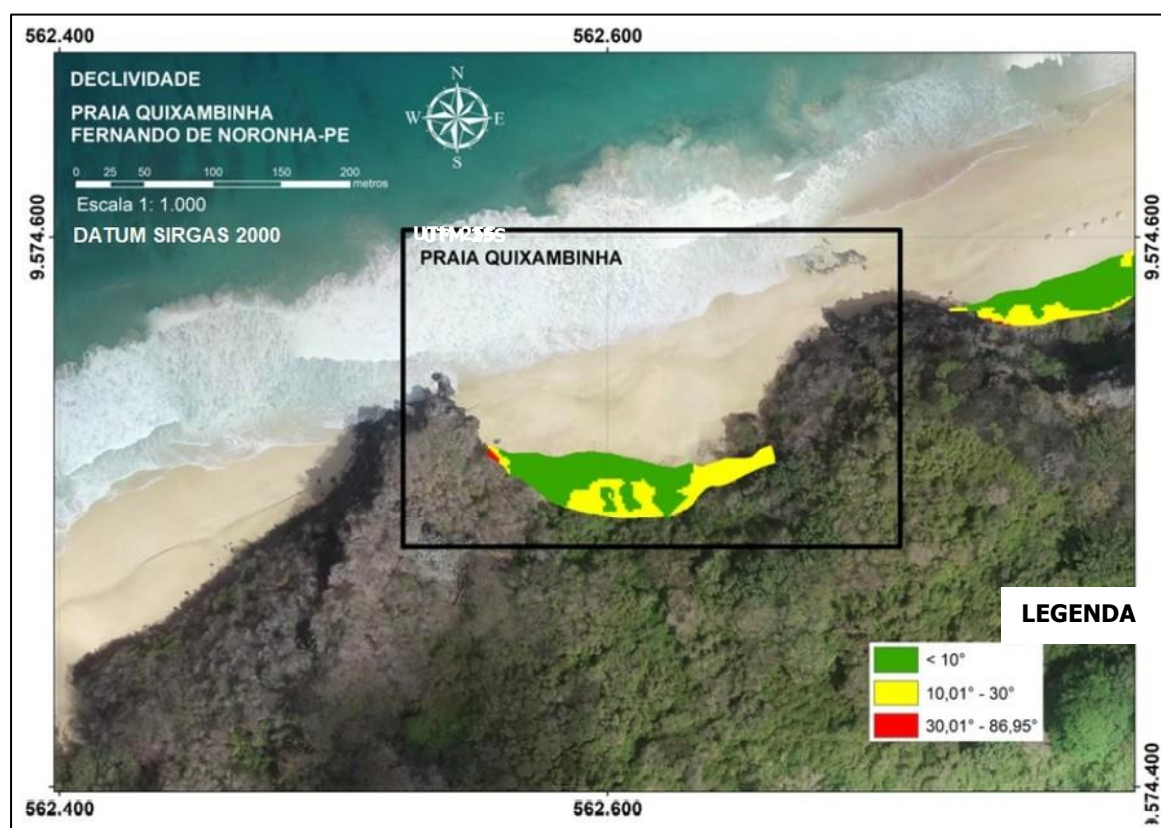


Figura 38 – Mapa de Declividade da Praia da Quixambinha.

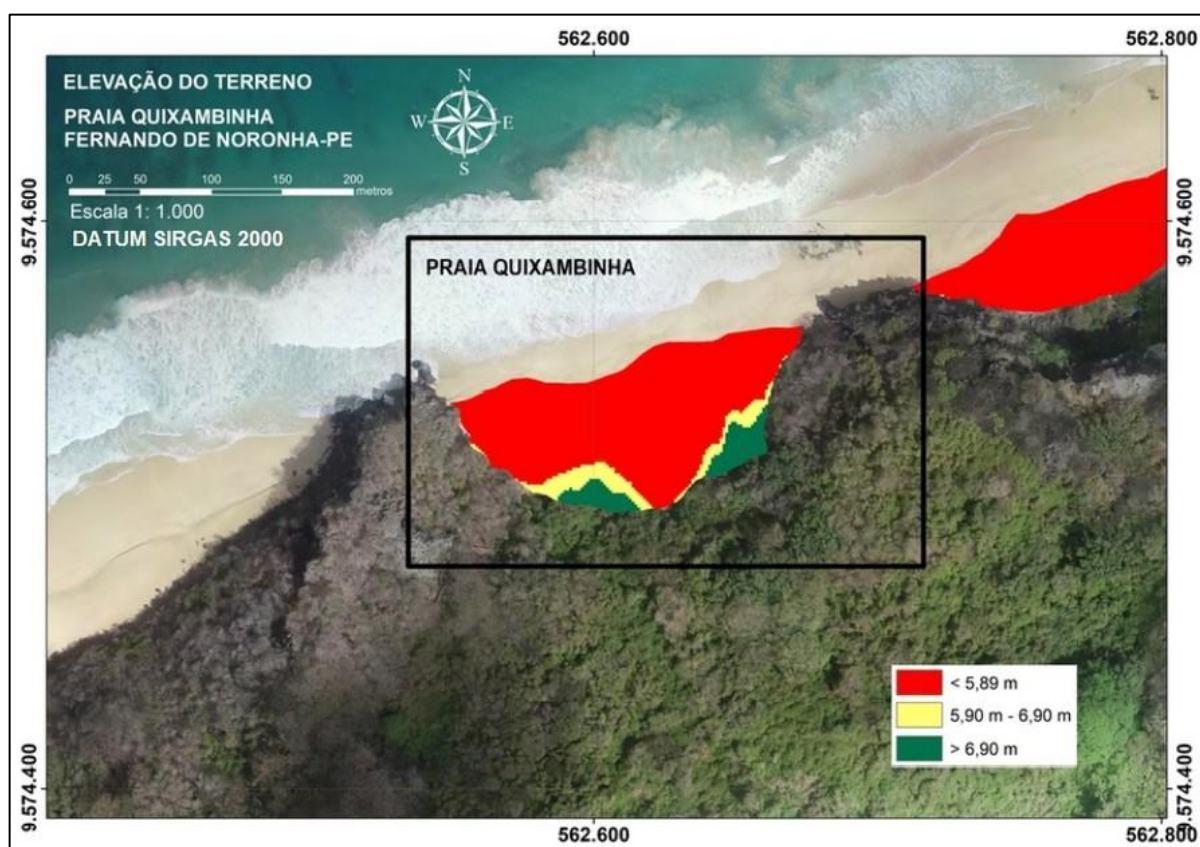


Figura 39 – Mapa de Elevação do terreno da Praia da Quixambinha

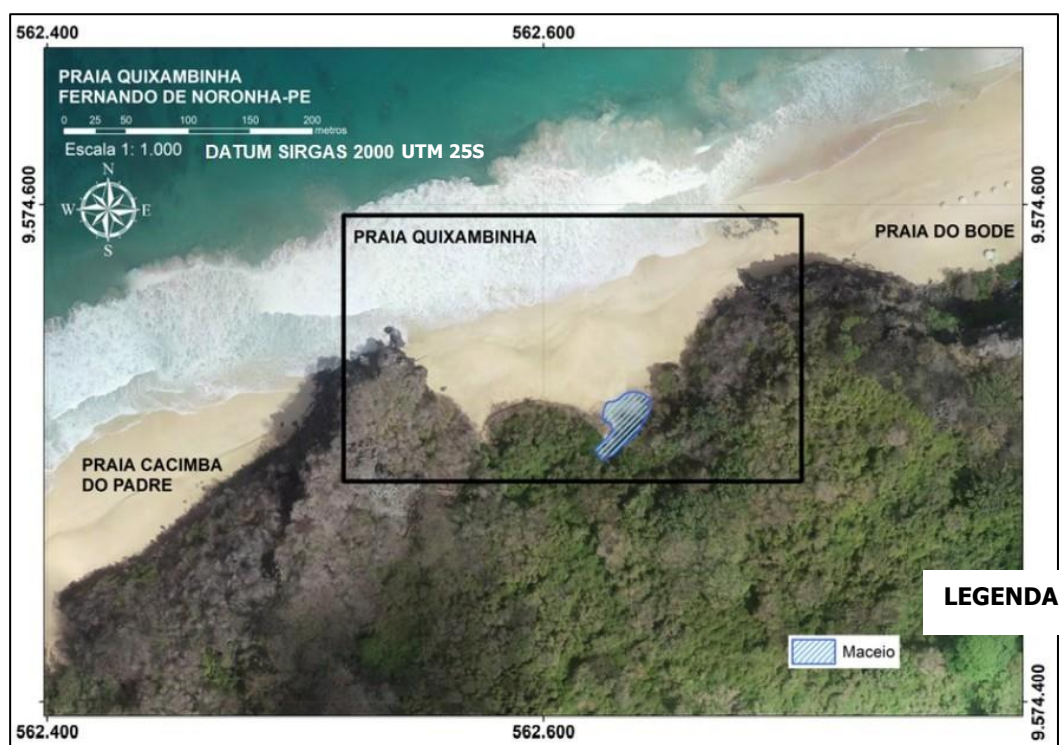


Figura 40 – Mapa da Praia da Quixabinha mostrando o Maceió, local preenchido durante a maré mais alta.



Figura 41 – Fotografia da Praia da Quixabinha mostrando o local preenchido com água durante a maré alta.
Foto: Autor, 08/10/2022

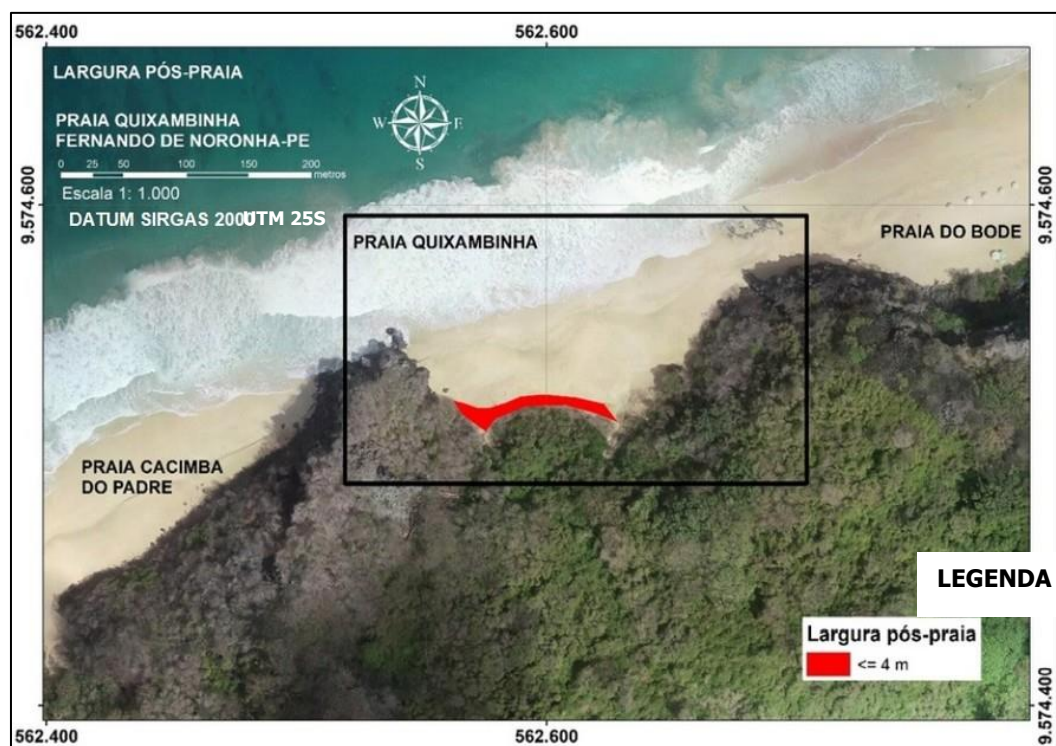


Figura 42 . mapa da largura do ambiente pós-praia da Praia da Quixambinha.

A elevação do terreno na praia da Cacimba do Padre apresentou cotas menores que 5 metros e na sua parte central, a elevação no ambiente da pós-praia apresentou valores topográficos de até 5,95 metros (Figura 43). Nesses locais registrou-se ainda a presença de água acumulada durante a maré mais alta (maceiós) representados nas figuras 44 e 45. A declividade foi menor que 10 graus em toda a área estudada no ambiente da pós-praia da praia da Cacimba do Padre (Figura 46). A largura da pós-praia na Cacimba do Padre variou entre valores menores que 15 metros a 24 metros (Figura 47).

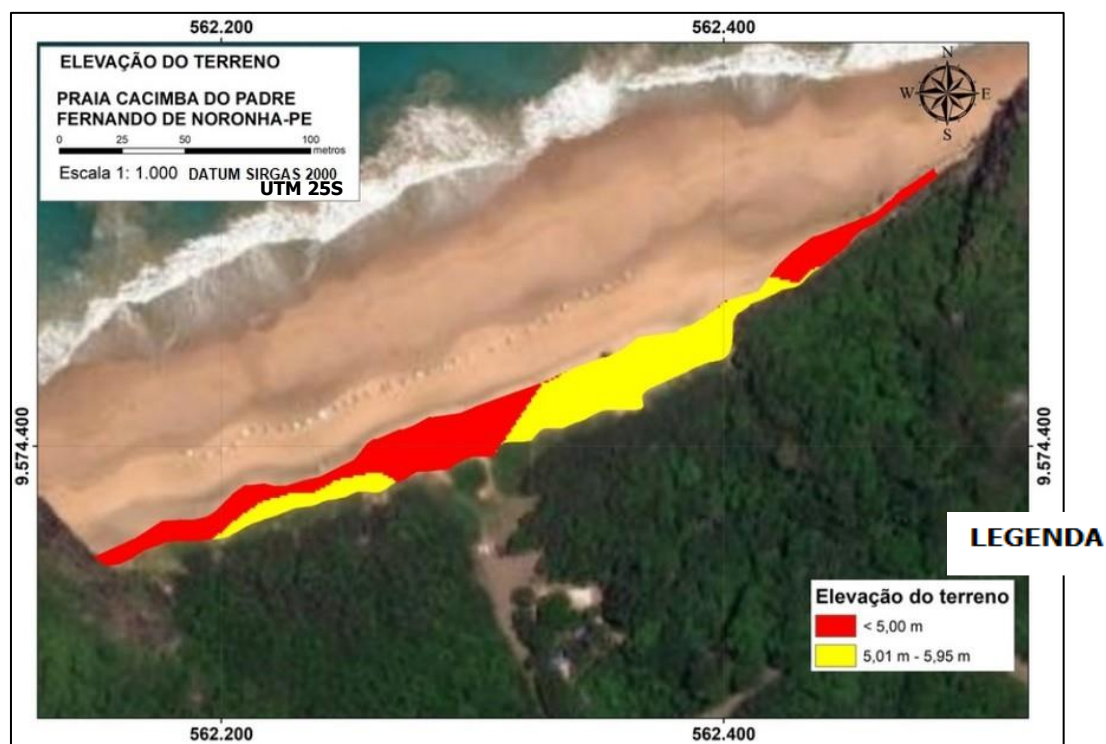


Figura 43 – Mapa de elevação do terreno. Praia Cacimba do Padre.

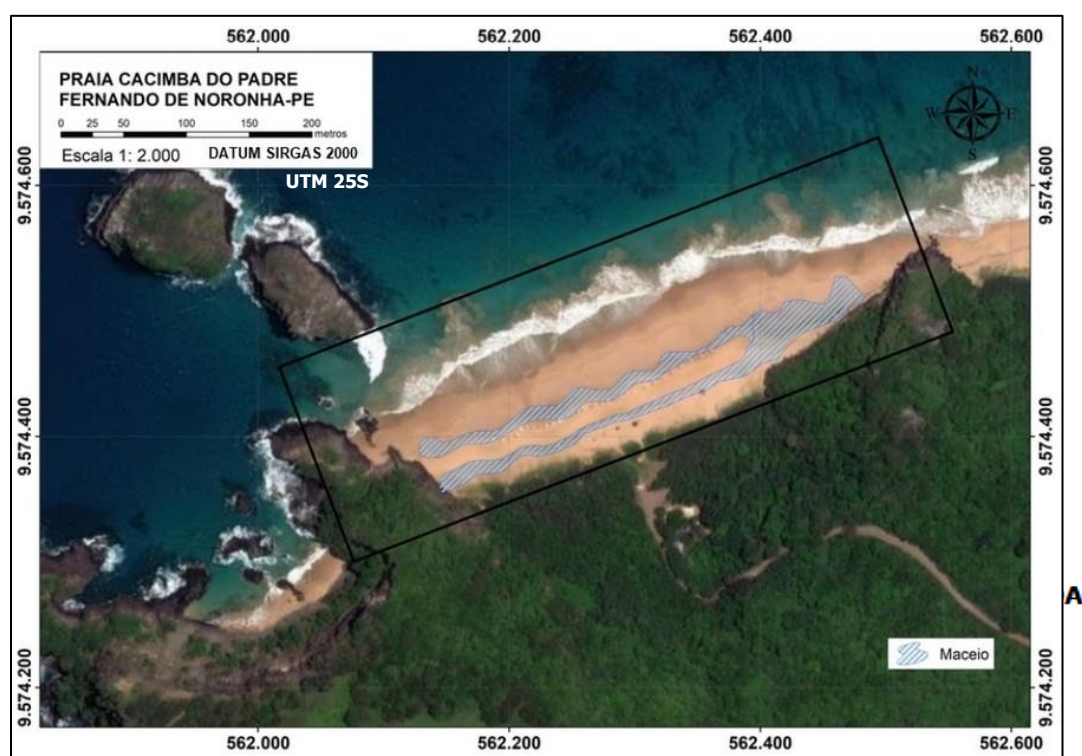


Figura 44 – Local preenchido com água durante a maré alta. Praia da Cacimba do Padre.



Figura 45 – Fotografia da Praia Cacimba do Padre exibindo a vista lateral (direção oeste) no canto esquerdo da imagem, local preenchido com água durante amareé alta. Local: Praia Cacimba do Padre . Foto: Autor, 9/10/2022.

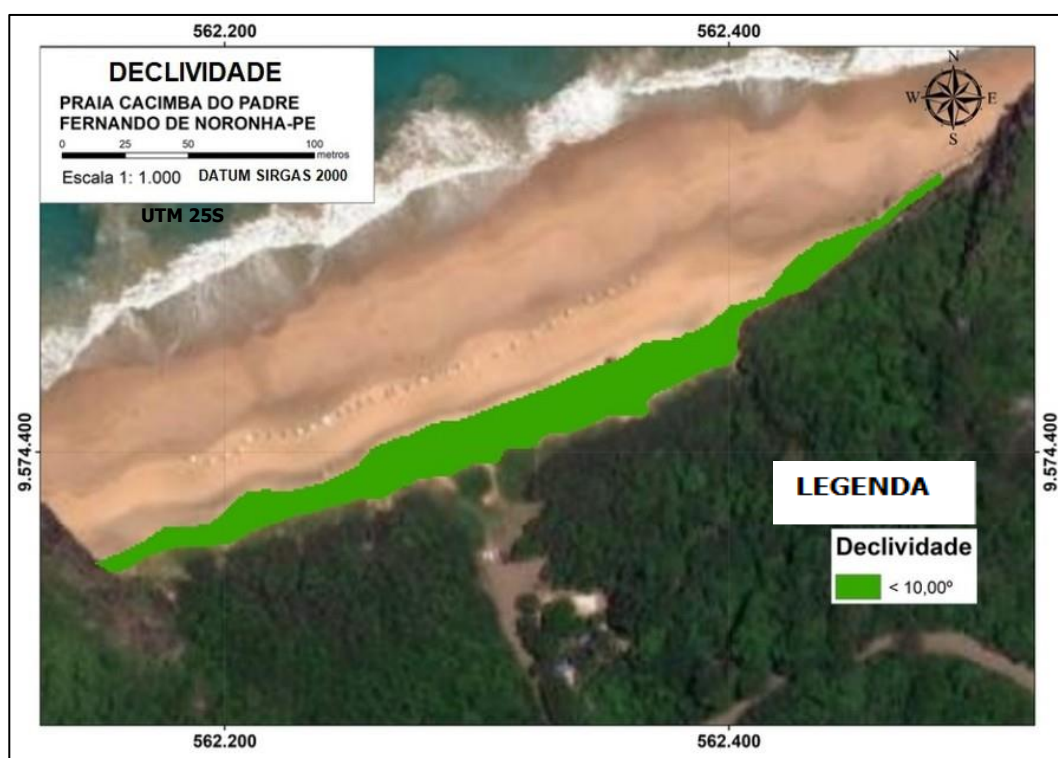


Figura 46 – Mapa de declividade. Praia da Cacimba do Padre.

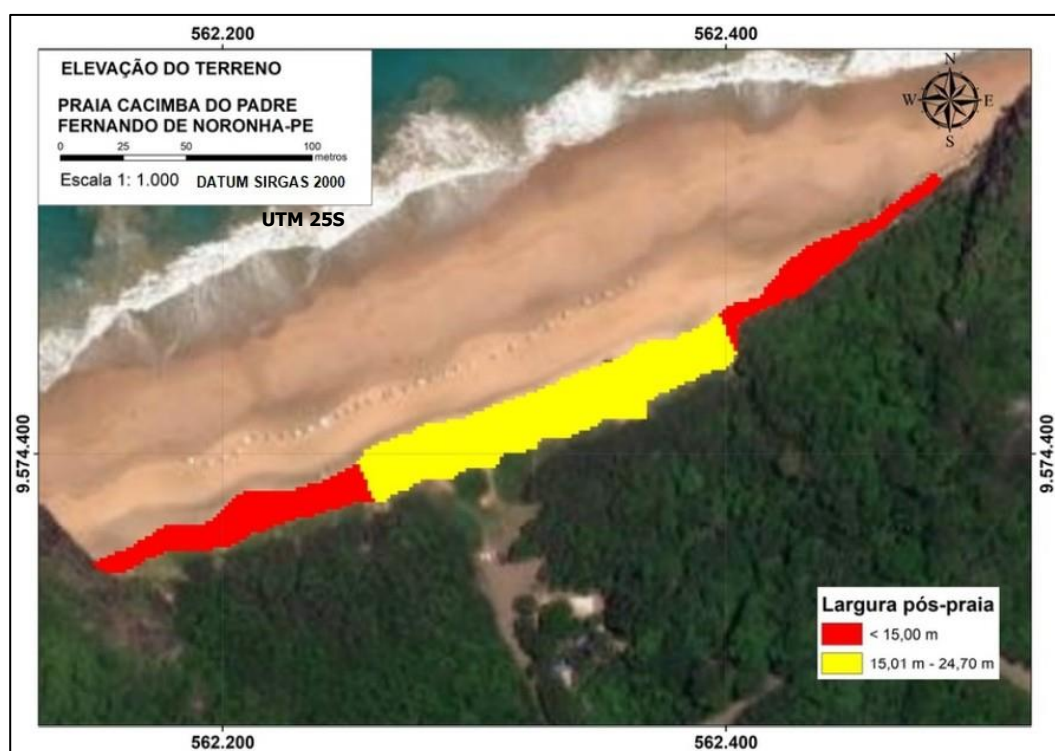


Figura 47 – Mapa da Praia Cacimba do Padre ilustrando Largura do Ambiente pós-praia.
Praia Cacimba do Padre.

4.2.2 Vegetação

A vegetação é inexistente nos ambiente de pós-praia estudados. A Praia da Conceição (Figura 48), Praia do Boldró (Figura 49), Praia do Bode (Figura 50), Praia Quixambinha (Figura 51) e Praia Cacimba do Padre (Figura 52).



Figura 48 – Fotografia da pós-praia da Conceição mostrando a vegetação gramínea entre o final do ambiente pós praia e a linha de vegetação. Pós-praia da Conceição.



Figura 49 – Vegetação rasteira entre o final do ambiente pós-praia e a linha de vegetação. Pós-praia do Boldró.



Figura 50 – Vegetação rasteira entre o final do ambiente pós-praia e a linha de vegetação. Pós-praia do Bode.



Figura 51 – Vegetação rasteira e vegetação arbórea em contato com o ambiente pós-praia.
Local: Praia Quixambinha.



Figura 52 – Vegetação rasteira e vegetação arbórea em contato com o ambiente pós-praia.

Local: Praia Cacimba do Padre.

5 SEDIMENTOLOGIA

O diâmetro médio (ϕ) consiste no tamanho médio dos grãos. Com base no tamanho médio dos grãos mostrado na Tabela 05, na face média da praia variou de areia fina à areia grossa (Figura 53). Os grãos referentes às amostras coletadas no ambiente de face da praia: FN-01 (Praia da Conceição), FN-03 (Praia do Boldró), FN-05 (Praia do Bode), FN-07 (Quixambinha), e FN-09 (Praia Cacimba do Padre) apresentaram uma predominância de areia fina (Figura 54).

Tabela 05 – Características dos sedimentos coletados na face de praia e ambiente pós-praia em outubro/2021.

PRAIA	CÓD.	AMBIENTE	CLASSIFICAÇÃO	SELEÇÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE
CONCEIÇÃO	FN-01	Face de praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
CONCEIÇÃO	FN-02	Pós-praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Platicúrtica
BOLDRÓ	FN-03	Face de praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
BOLDRÓ	FN-04	Pós-praia	Areia média	Mod. Selecionado	Negativa	Leptocúrtica
BODE	FN-05	Face de praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
BODE	FN-06	Pós-praia	Areia grossa	Bem selecionado	Muito positiva	Leptocúrtica
QUIXAMBINHA	FN-07	Face de praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
QUIXAMBINHA	FN-08	Pós-praia	Areia média	Mod. Selecionado	Aprox. simétrica	Platicúrtica
CACIMBA	FN-09	Face de praia	Areia média	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
CACIMBA	FN-10	Pós-praia	Areia média	Bem selecionado	Muito positiva	Leptocúrtica

Os grãos coletados no ambiente da pós-praia possuem um intervalo phi

($1 < \phi < 2$, areia média), esses foram distribuídos entre 28% e 73%, entretanto a amostra FN-06 da Praia do Bode apresentou sedimentos grossos, abaixo de 1ϕ (Figura 55). Na região da pós-praia, referentes aos grãos das amostras FN-02 (Conceição), FN-04 (Boldró), FN-06 (Bode), FN-08 (Quixambinha) e FN-10 (Cacimba do Padre) apresentaram também uma variação de areia fina a areia grossa (Figura 56), mas com uma predominância de areia média.

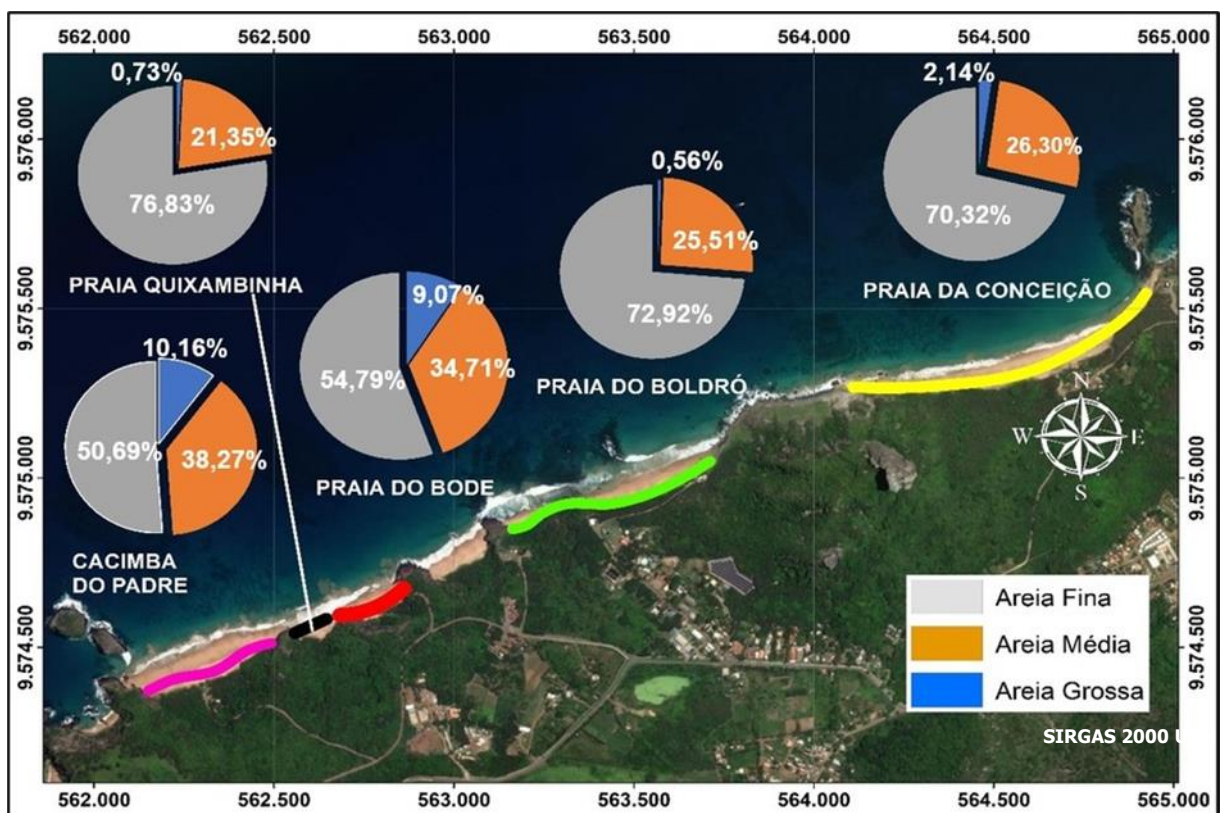


Figura 53 – Mapa da distribuição média dos grãos nos sedimentos da face da praia na área de estudo.

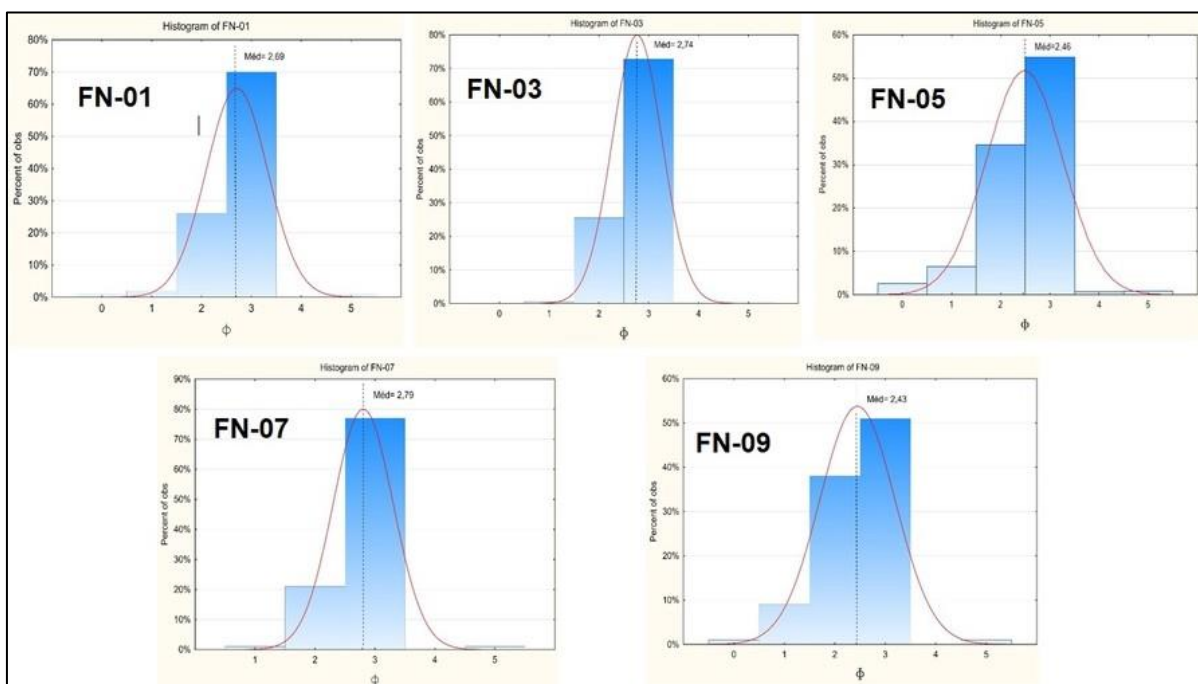


Figura 54 – Frequências do tamanho médio dos grãos da face de praia.

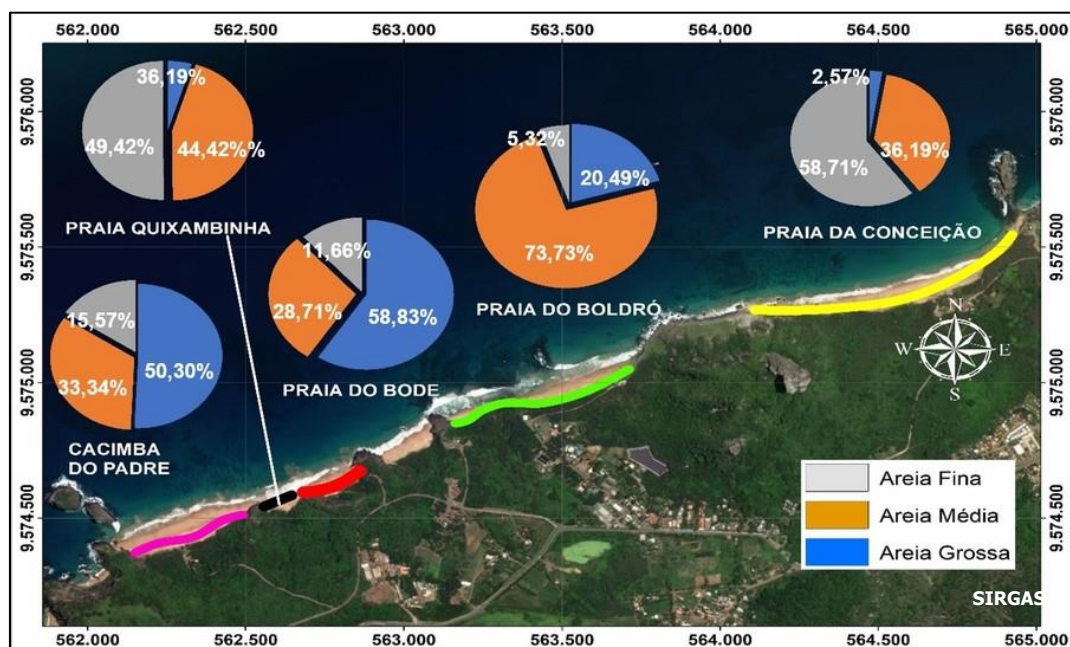


Figura 55 - Mapa da distribuição do tamanho médio dos grãos nos sedimentos da pós-praia na área de estudo.

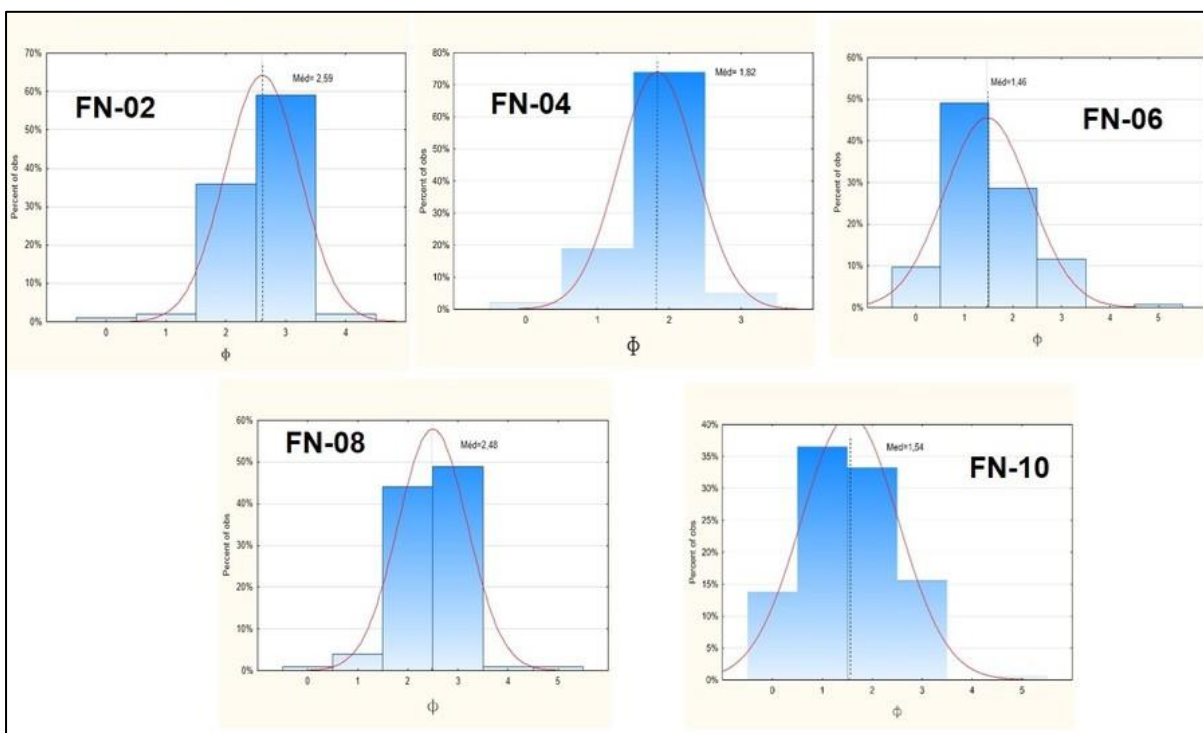


Figura 56 – Frequências do tamanho médio dos grãos do ambiente da pós praia.

A seleção ou grau de seleção é uma das medidas de dispersão da amostra, ou seja, o desvio padrão (σ) de cada distribuição. Grãos bem selecionados indicam sedimentos com uma pequena dispersão dos seus tamanhos em torno da tendência central. As amostras variaram de grãos moderadamente selecionados a bem selecionados. Foi observado nos resultados, que todas as amostras da face da praia predominaram grãos moderadamente selecionados (Tabela 05). Na região da pós praia os grãos variaram de moderadamente selecionados a bem selecionados, entretanto, apresentou apenas uma amostra de grãos bem selecionados, na praia praia do Bode (FN-06), sendo também a única amostra que foi identificada como areia grossa.

As curvas de distribuição de granulometria dos sedimentos coletados variaram de assimetria negativa a muito positiva. Todas as amostras coletadas na face de praia: FN-01 (Praia da Conceição), FN-03 (Praia do Boldró), FN-05 (Praia do Bode), FN-07 (Quixambinha), e FN-09 (Praia Cacimba do Padre) apresentaram assimetria negativa.

Na região da pós-praia, a praia Conceição (FN-02) e Boldró (FN-04) foram caracterizados como assimetria negativa. Porém as curvas de distribuição dos grãos das praias Quixambinha (FN-08) e da Cacimba do Padre (FN-10)

apresentaram classificação simétrica. Duas amostras no ambiente da pós-praia apresentaram uma distribuição nos sedimentos como assimetria muito positiva, na praia do Bode (FN-06) e na praia da Cacimba do Padre (Tabela05).

A curtose indica o grau de concentração dos valores de distribuição em torno da média. As amostras apresentaram uma variação da curtose, de platicúrtica a leptocúrtica. Através desse indicador, pode-se identificar se há uma alta concentração de valores (Leptocúrtica), uma concentração normal (Mesocúrtica) ou uma baixa concentração (Platicúrtica).

Na face média da praia foi observada uma predominância de valores mesocúrticos(Tabela 05). Os grãos dos sedimentos coletados na pós-praia da praia da Conceição (FN-02), Boldró (FN-04), Bode (FN-06) e Quixambinha (FN-08), praia da Cacimba do Padre (FN-10) apresentaram uma variação de 50% platicurtica e 50% leptocúrtica. Não sendo constatado a presença de grãos mesocúrticos.

O teor de carbonato na face de praia apresentou na Praiada Quixambinha, 92,23% (FN-07), sendo o maior valor observado nesse ambiente e as demais amostras apresentaram um teor de carbonato em torno de 60% e 50%, na Cacimba do Padre foi de 65,31% (FN-09); Praia da Conceição, 65% (FN-01); 60% face de Praia do Boldró (FN-04) e a Praia do Bode com 50,29% (FN-05) apresentando o menor valor para todas as praias observadas.

O maior valor do teor de carbonato, de 94% foi observado na pós-praia da Praia do Boldró (FN-03); seguido de 92,64% na pós-praia da Praia do Bode (FN-06); 92,64%, Cacimba do Padre (FN-10); 90,20% na Praia Quixambinha (FN-08) e na pós praia da Praiada Conceição 65% (FN-02).

Os grãos siliciclásticos são formados em sua maioria por grãos de quartzo leitosos, alguns grãos de quartzo hialino. Esses grãos se apresentam com manchas de óxido e hidró- xido de ferro. Foi verificado a presença de minerais pesados opacos, provavelmente óxido e hidróxidos de Ferro e fragmentos de rochas. Os grãos apresentaram uma variação de subarredondados a angulosos, predominando grãos angulosos e um grau de esferecidede moderada.

5.1 CÁLCULO DO DESLOCAMENTO DA LINHA DE COSTA

Os resultados dos cálculos da variação da linha de costa de 2019 e 2021

das praias estudadas estão representados na Tabela 06. O deslocamento mostrados nos gráficos cartesianos (em azul) são obtidos pelo cálculo entre a distância da linha costeira mais antiga e a linha costeira mais recente. A taxa de deslocamento mostrada nos gráficos boxplot (em vermelho) é obtida dividindo a distância medida (deslocamento) pelo tempo decorrido (por ano) entre as duas posições da linha de costa.

O mapa contendo o deslocamento da linha de costa da Praia da Conceição apresenta dois setores que representam comportamentos peculiares. No setor localizado a oeste, destacado na cor vermelha (Figura 57) apresentou uma taxa média de recuo de -3,95 metros/ano na direção onshore (indicando erosão), sobre o domínio arenoso do ambiente da pós-praia (Figura 58). Esse segmento apresentou um deslocamento máximo de -13,57 metros/ano e o valor mínimo de 5,96 metros/ano (Figura 58).

No setor localizado a leste da Praia da Conceição, destacado na cor azul, apresentou um deslocamento máximo de 10,35 metros/ano (deposição de sedimentos ou progradação) e o deslocamento mínimo de -2,17 metros/ano (A taxa média de deslocamento nesse setor foi de 2,82 metros/ano, com um valor máximo de 5,63 e o valor mínimo de -1,09 metros/ano (Figura 59).

Tabela 06 - Resultados estatísticos das taxas de variação da linha de costa em metros/ano (EPR) das praias estudadas. Fonte: O Autor (2021).

PRAIAS	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	VARIÂNCIA	DESVIO PADRÃO
CONCEIÇÃO (SETOR OESTE)	-3,95	-4,17	2,98	-6,88	4,58	2,14
CONCEIÇÃO (SETOR LESTE)	2,82	3,21	-1,09	5,63	1,67	1,29
BOLDRÓ	-4,04	-3,06	-0,58	-12,40	7,49	2,74
BODE	-8,41	-9,48	0,00	-10,78	5,72	2,39
QUIXAMBINHA	-14,05	-12,93	-0,04	-24,68	38,97	6,24
CACIMBA	-0,18	-0,50	3,66	-2,84	3,85	1,51



Figura 57 – Mapa do deslocamento da linha de costa da Praia da Conceição (2019-2021). A cor vermelha representa o setor localizado a oeste, destacando um processo erosivo. A cor azul representa o setor leste destacando a deposição de sedimentos.

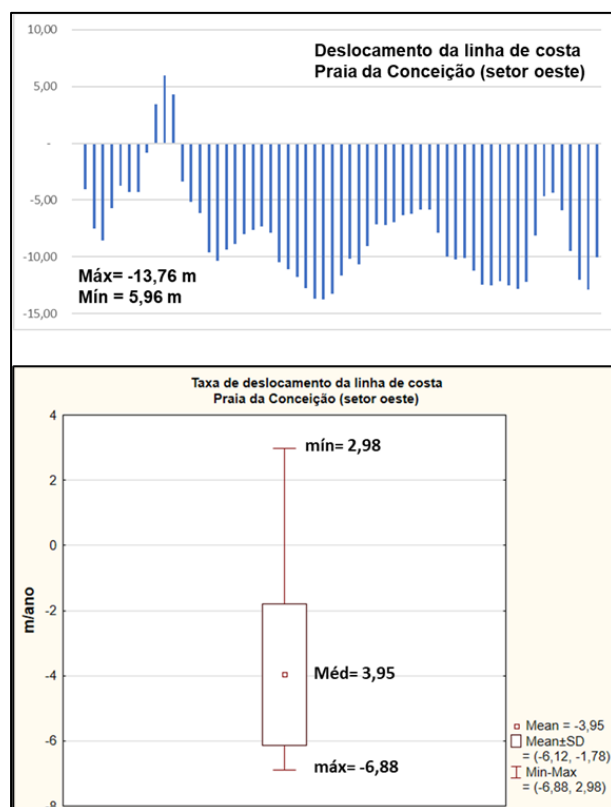


Figura 58 – Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia da Conceição, setor oeste (2019-2021). Fonte: o Autor

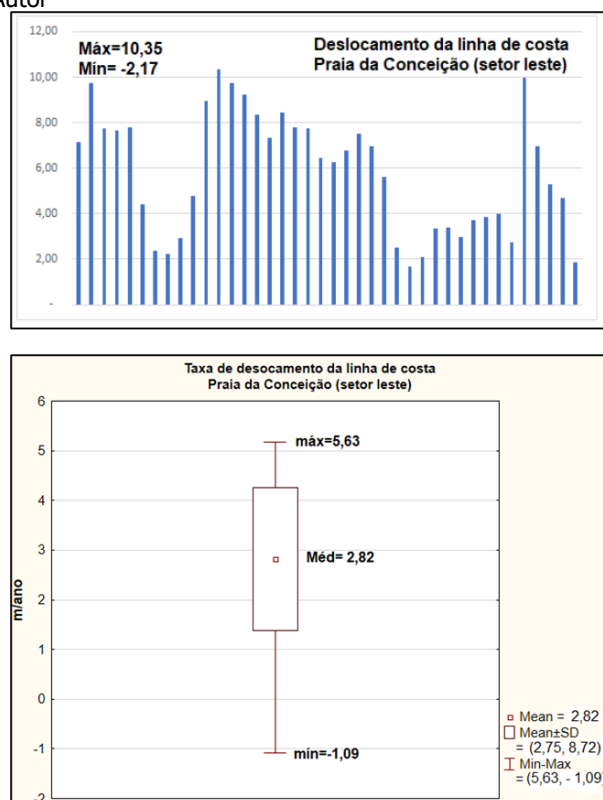


Figura 59 – Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia da Conceição, setor leste (2019-2021). Fonte: o autor

O resultado da variação da linha de costa da Praia do Boldró apresentou um taxa média de recuo, no valor de -4,04 metros/ano em direção onshore (erosão ou retrogradação) no domínio arenoso do ambiente pós-praia (Figura 60). O deslocamento máximo da linha de costa na Praia do Boldró foi de -24,81 metros (Figura 61), indicando uma erosão ao longo de toda sua extensão com os valores das taxas entre -0,57 e -12,40 metros/ano (Figura 61).

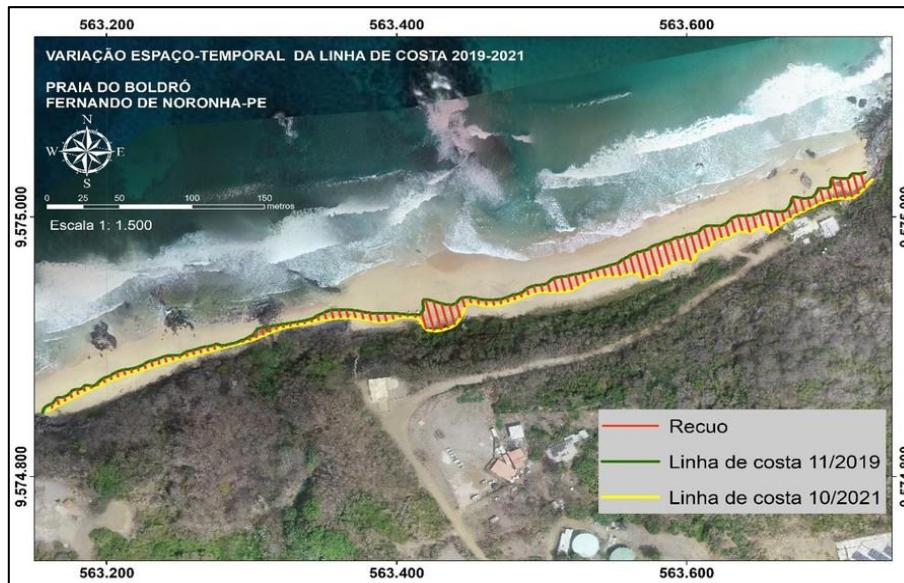


Figura 60. Mapa do deslocamento da linha de costa, Praia do Boldró 2019-2021).

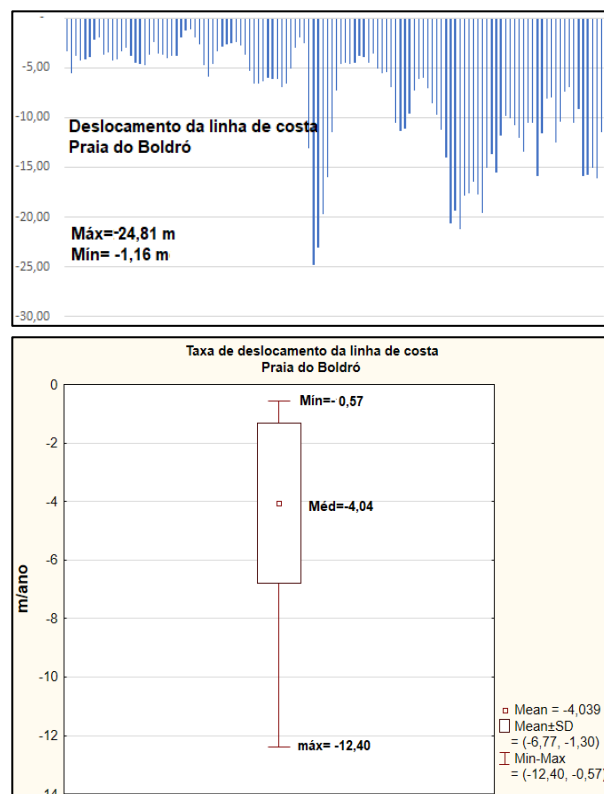


Figura 61 – Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia do Boldró (2019-2021).

A linha de costa no segmento Praia do Bode apresentou uma taxa média de recuo no valor de -8,49 metros/ano onshore sobre o domínio arenoso do ambiente pós-praia (Tabela 06 e Figura 62) ocorrendo erosão de sedimentos ou progradação. A variação máxima da linha de costa na Praia do Bode (Figura 63) foi de -10,78 metros/ano, o que mostra uma alta erosão nesse local. Os resultados das taxas observados na Praia do Bode apresentaram variação da linha de costa entre -0,62 (mínima) e -10,78 (máxima) metros/ano (Figura 63).

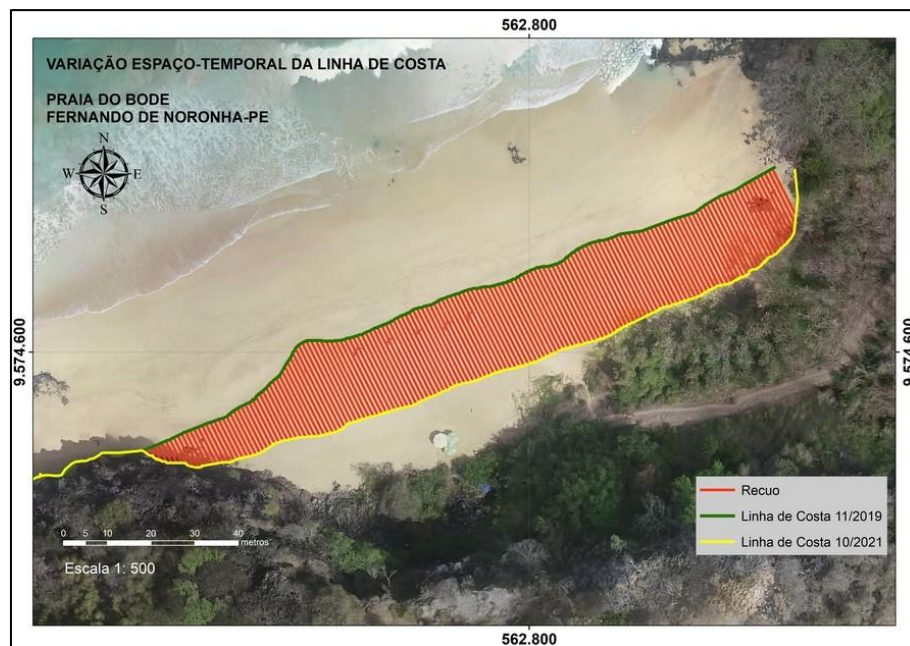


Figura 62 – Mapa do deslocamento da Linha de costa na Praia do Bode. Fonte: O Autor (2021).

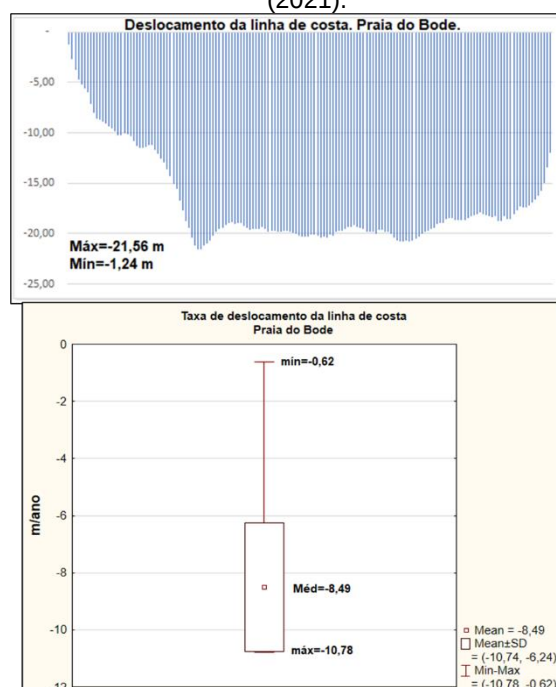


Figura 63 – Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia do Bode (2019-2021). Fonte:

O deslocamento máximo da linha de costa na Praia da Quixambinha (Figura 64) foi de -49,36 metros (Tabela 06 e Figura 65) indicando que houve progradação e erosão costeira nesse local e o deslocamento mínimo da linha de costa foi de -0,08 m/ano.

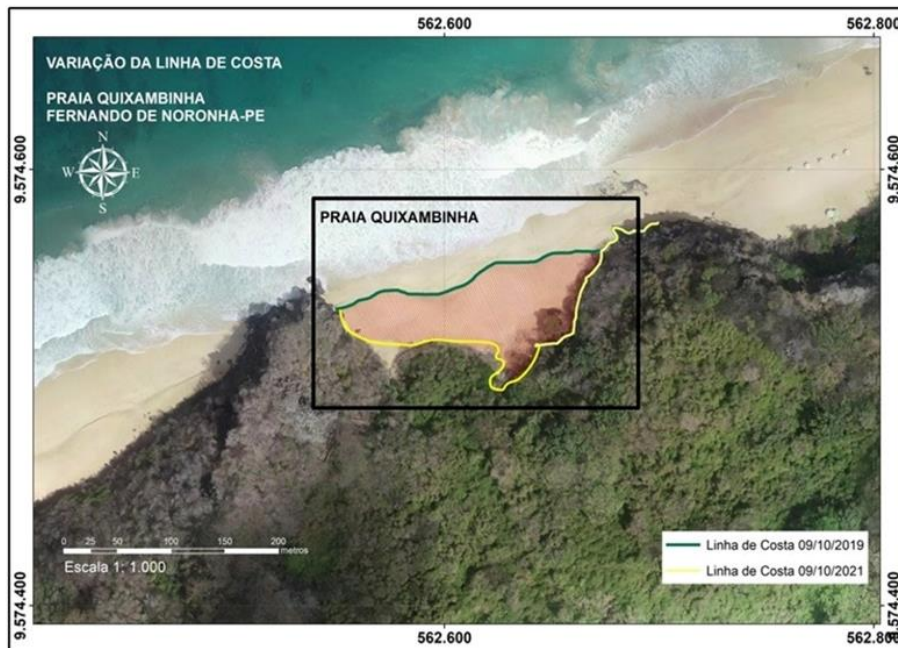


Figura 64 – Mapa do deslocamento da Linha de costa na Praia da Quixambinha. Fonte: O Autor (2021).

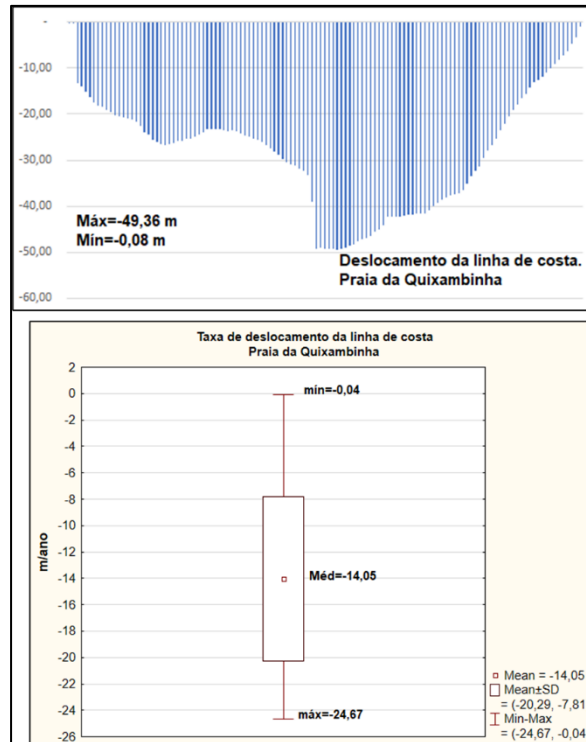


Figura 65 – Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia do Bode (2019-2021).

O deslocamento da linha de costa da Praia da Cacimba do Padre apresentou uma taxa média de -5,69 metros/ano onshore no domínio arenoso do ambiente pós-praia (Tabela 06 e Figura 66) .

A variação máxima da linha de costa na Praia da Cacimba do Padre foi de 14,54 metros (Tabela 06 e Figura 67) e o valor mínimo foi de -5,69 metros por ano (Tabela 06 e Figura 67) . A linha de costa da Praia da Cacimba do Padre apresentou uma variação entre -2,84 m/ano e 7,26 m/ano indicando uma predominância de retrogradação da linha de costa ou ambiente de erosão.



Figura 66 – Mapa do deslocamento da Linha de costa na Praia da Cacimba do Padre. Fonte: O Autor (2021).

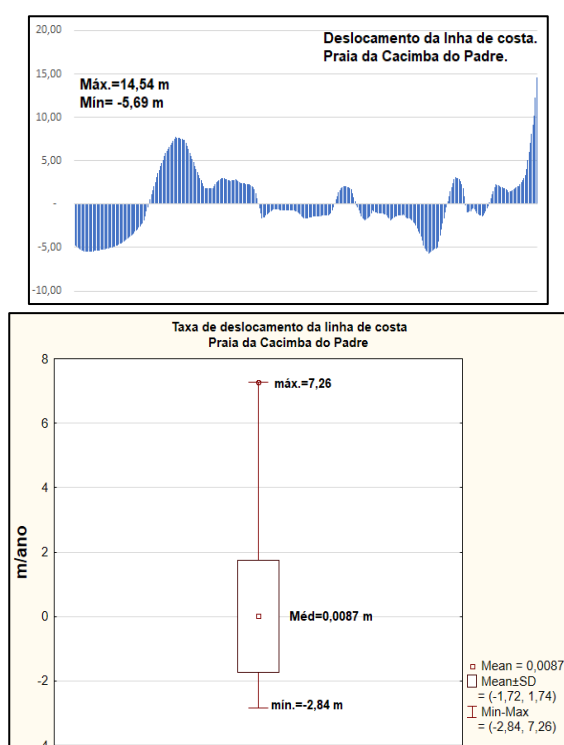


Figura 67 – Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia da Cacimba do Padre (2019-2021).

6 OCUPAÇÃO HUMANA

Na praia da Conceição nos locais observados foram construídas edificações entre a vegetação nativa e o ambiente da pós-praia, destacados na Figura 67, construções complexas com estruturas de alvenaria e madeira, como: bares, banheiros, cozinha, moradia, depósitos e estacionamentos para veículos. Mais ao nordeste do mapa da Praia da Conceição conforme a Figura 68 registrou-se outra construção entre a interface do ambiente da pós-praia e a vegetação sobre o ambiente praial.

A ocupação humana na Praia do Boldró se faz também a presença de uma estrutura mista de madeira e alvenaria para a instalação de um bar e moradia (Figura 67). Nesse local ainda se observa que, as instalações dessas edificações estão sobre a vegetação, no limite com o ambiente da pós-praia. Ver as fotos e a observação que está abaixo da foto.

Dutos de PVC com uma proteção de alvenaria e uma extensão de aproximadamente 40 metros foram observados no ambiente praial em direção offshore (Figura 69 ou 70, reveja). Ainda, na praia do Boldró próximo a esse local também existe uma remobilização de sedimentos da praia, que acomoda efluentes do dessalinizador da Ilha instalado pela COMPESA – Companhia Pernambucana de Água e Saneamento), advertida em uma placa, metros antes do reservatório instalado, com os sedimentos remobilizados da praia: “EFLUENTE DO DESSALINIZADOR – Água não potável, imprópria para Consumo Humano” (Figura 71).



Figura 67 – Ortofotocarta das edificações sobre a vegetação e a interface do ambiente pós-praia. Praia da Conceição. Fonte: O Autor (2021).



Figura 68 – Ortofotocarta das edificações sobre o ambiente de praia. Local entre a praia da Conceição (à esquerda) e a praia do meio (à direita). Fonte: O Autor (2021).

Ver as margens da legenda de todas as figuras.



Figura 69 – Instalação de estrutura de alvenaria e madeira. Foto: Autor, 2021.



Figura 70 – Duto de PVC com proteção de alvenaria em ambiente de praia. Praia do Boldró.
Foto: O autor, 2021.



Figura 71 – Remobilização de sedimentos da praia para acomodação de efluentes da dessalinização. Placade advertência: “EFLUENTE DO DESSALINIZADOR – Água não potável, imprópria para Consumo Humano”. Local: Praia do Boldró, Fernando de Noronha-PE. Fonte: O Autor (2021).

7 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE

O mapa de vulnerabilidade da Praia da Conceição mostra uma alta vulnerabilidade nos locais com elevação do terreno abaixo de 5 metros. A alta vulnerabilidade nesses locais é devido ao recuo da linha de costa, que causou o estreitamento da largura da pós praia, onde foi medido valores menor que 15 metros, e ainda foram identificados a presença de água deixada pela maré alta, chamados de maceiós. A presença humana foi registrada sobre a vegetação natural logo após o ambiente da pós praia em direção onshore. A variação da linha de costa registrou uma taxa de recuo, no valor de -1,2 metros por ano. Nos locais com a pós-praia mais estreita (nas extremidades da praia da Conceição) apresentaram altos índices de vulnerabilidade, tanto pela ausências do ambiente pós praia, como pela alta declividade, provocada pela desnudação de rochas da Formação Remédios nesses locais. O mapa contendo os índices de vulnerabilidade costeirada da Praia da Conceição está na Figura 72.

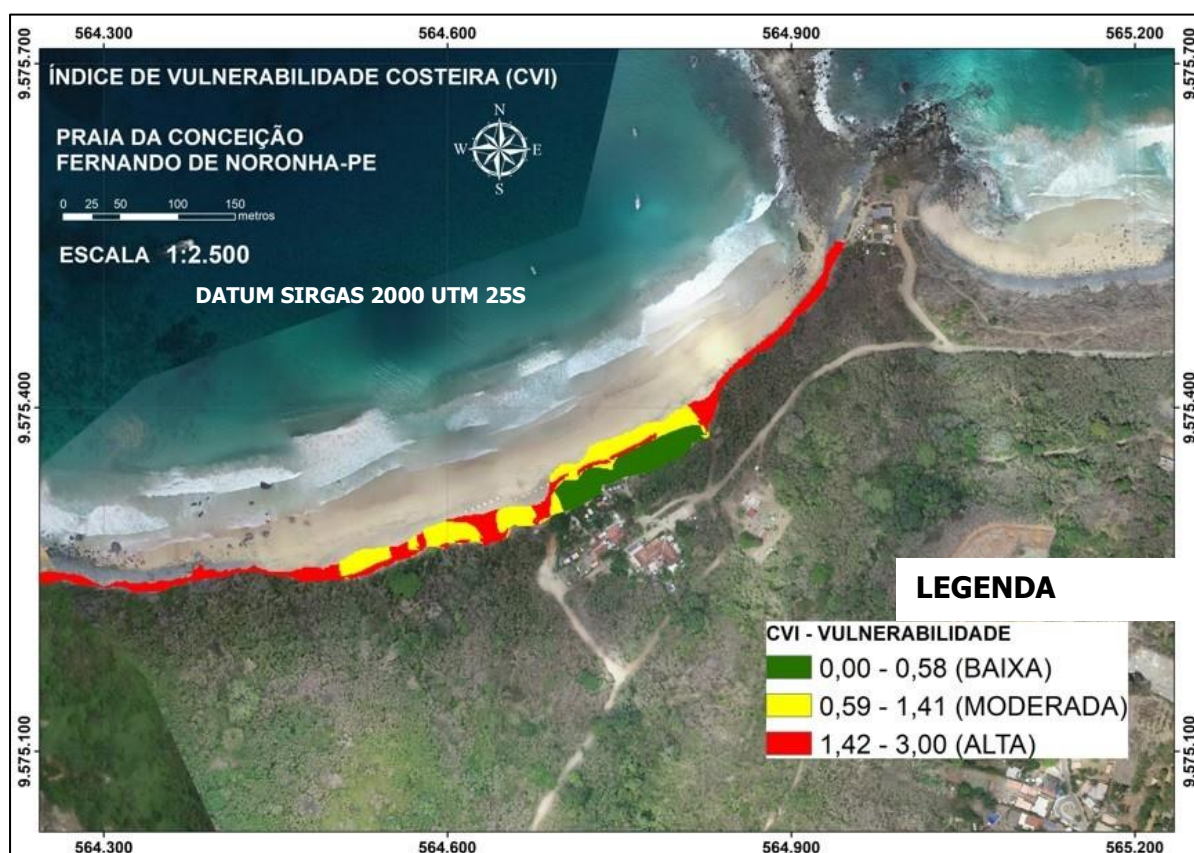


Figura 72 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Costeira da Praia da Conceição. Fonte: O Autor (2021).

A Praia do Boldró apresentou índices de vulnerabilidade entre 1,42 a 3,00). Esses índices refletem uma elevação mais baixa que o entorno da área adjacente, predominantemente presente em toda a praia, apresentando cotas abaixo de 5 metros e a presença marcante de extensas porções de água deixadas pela maré alta, aproximadamente 300 metros (maceiós), que delimitam a linha de costa atual. Esses lagoeiros delimitam também a largura da pós-paraia com menos de 15 metros. Na praia do Boldró foi identificada uma remobilização de sedimentos para acolher o rejeito do dessalinizador. Nesse local o recuo médio da linha de costa registrado foi mais de 11 metros/ano, após a instalação dessas águas de rejeito. O mapa contendo os índices de vulnerabilidade costeira Praia do Boldró está na Figura 73.



Figura 73 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) da Praia do Boldró. Fonte: O Autor (2021).

A Praia do Bode e a Praia da Quixambinha apresentaram altos índices de vulnerabilidade, em quase toda área mapeada. Apesar de apresentarem menores extensões, de aproximadamente 120 metros, essas praias possuem marca da linha de deixa, durante a maré mais alta em todo o limite com a vegetação,

indicando ambiente sem a presença do ambiente da pós-praia para o período monitorado nesses locais. A declividade é menor que 10 graus em toda área. O mapa contendo os índices de vulnerabilidade costeira da Praia do Bode está representado na Figura 74. E o mapa contendo os índices de vulnerabilidade costeira da Praia da Quixambinha está na Figura 75.

A presença de alto índice de vulnerabilidade da praia da Quixambinha e do Bode e de uma declividade mais baixa, provavelmente pode ser explicado pela retirada dos sedimentos na região superior dos seus perfis praias, formando perfis retilíneos, na região da pós praia.

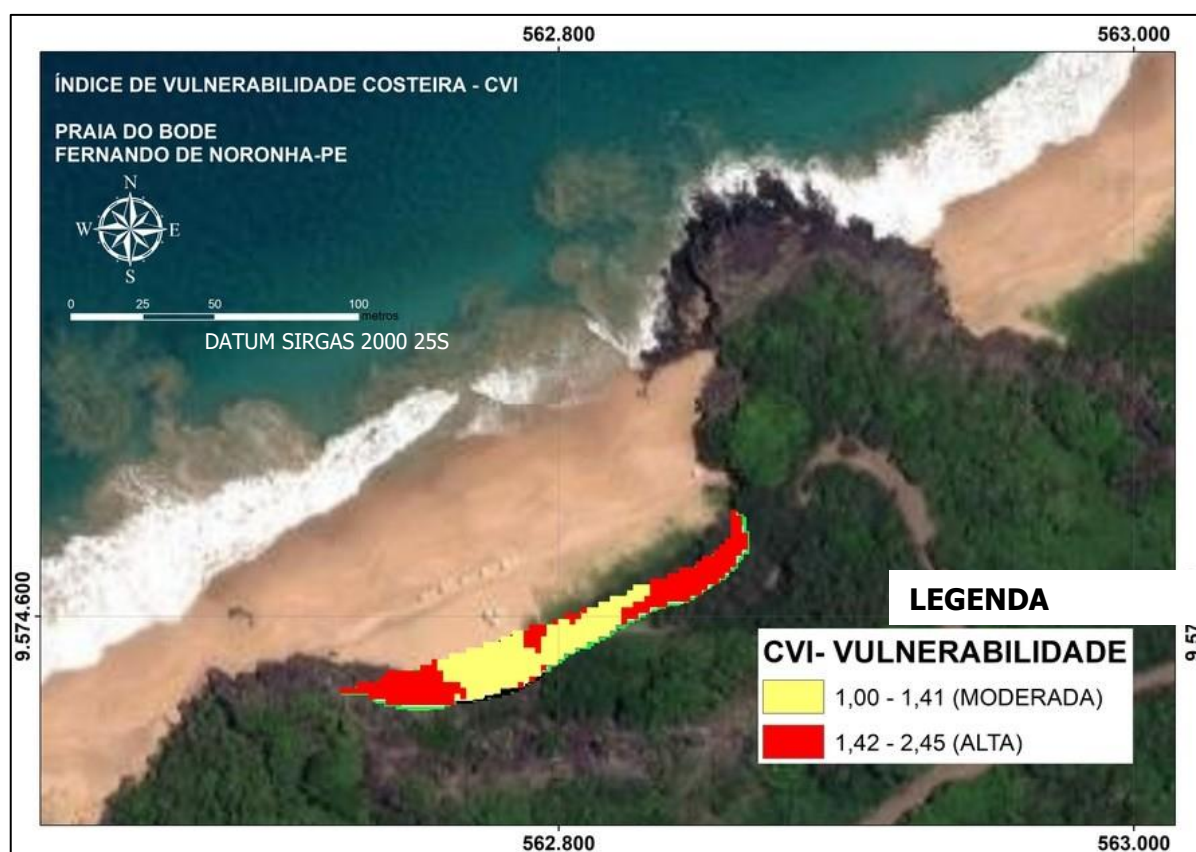


Figura 74 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) da Praia do Bode. Fonte: O Autor (2021).

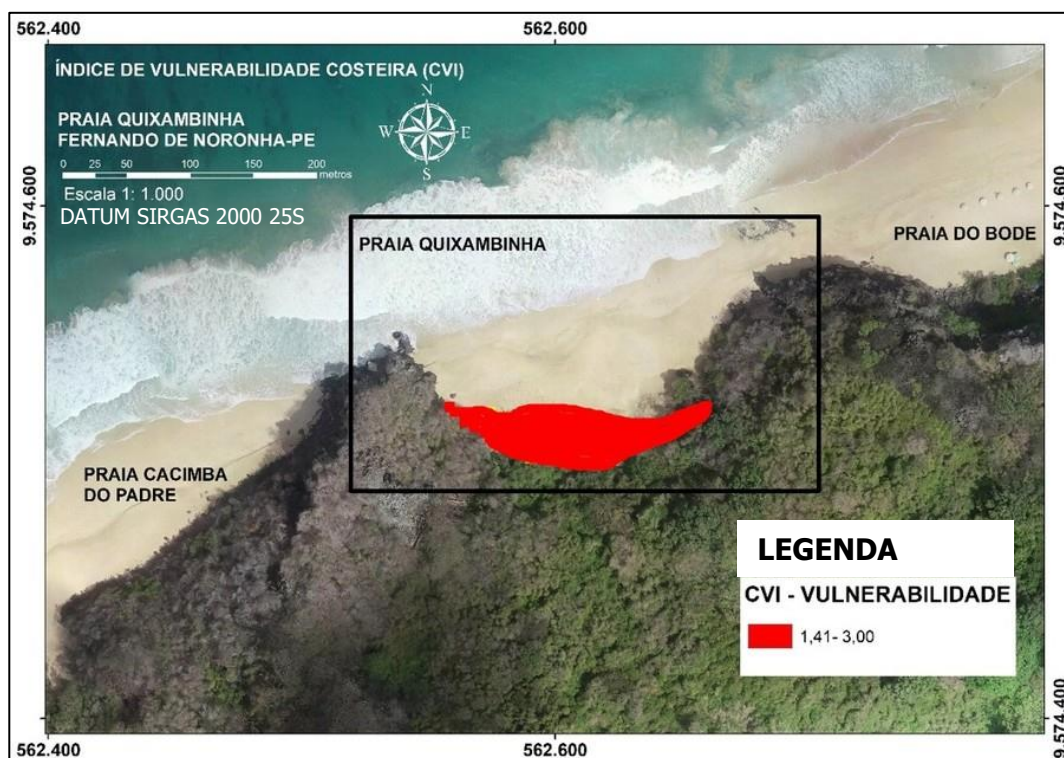


Figura 75 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) da Praia da Quixambinha.
Fonte: O Autor (2021).

A Praia da Cacimba do Padre (Figura 76), a vulnerabilidade variou entre moderada e alta, entretanto, na parte central da área predomina uma vulnerabilidade média em virtude da largura da pós-praia maior que 15 metros. Também foi destacada a presença de porções de água remanescentes, maceiós.

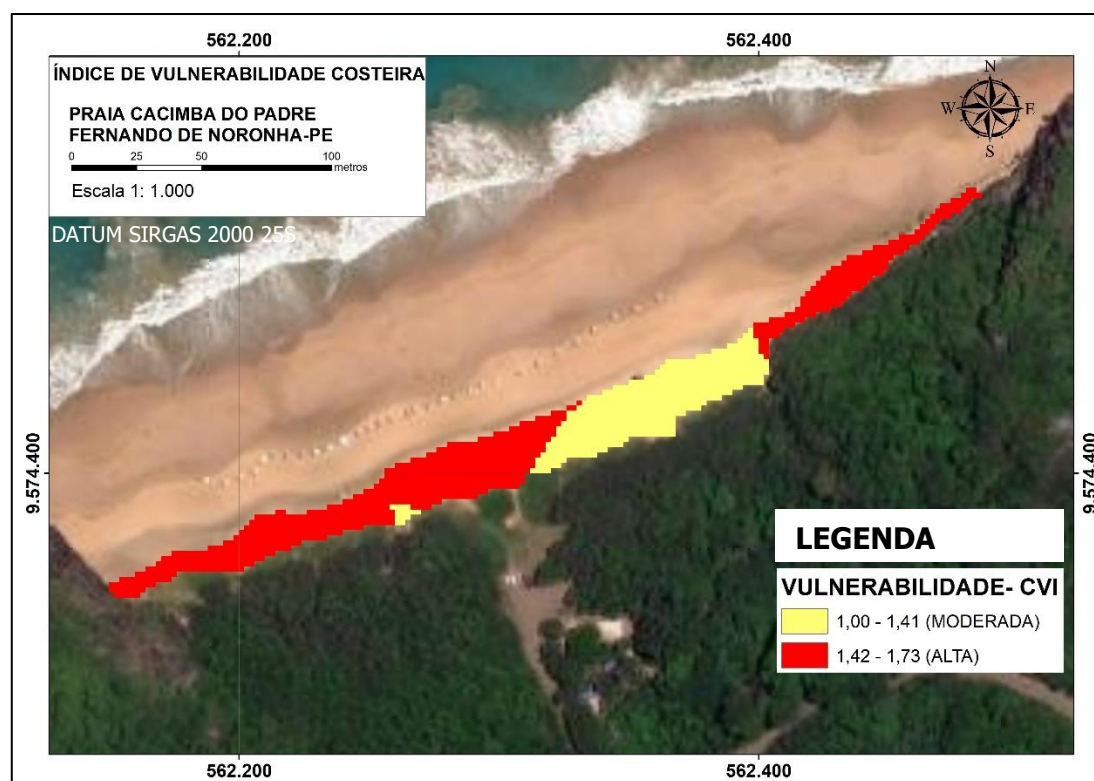


Figura 76 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) da Praia da Cacimba do Padre.

Fonte: O Autor (2021).
Estava muito fora da margem, reveja as demais.

8 DISCUSSÃO

Berger (1966), Bush ET AL. (1999) e Menezes ET AL. (2016) observaram que a abordagem dos geoindicadores identificam um conjunto mínimo de parâmetros que descrevem a dinâmica ambiental a curto prazo e representam todos os parâmetros dos quais os processos dependem. Como resultado, os geoindicadores podem fornecer aos gestores ferramentas simples e qualitativas para identificação rápida do potencial de risco.

De acordo com Tagliani (2003), a declividade é um dos fatores mais importantes no processo do escoamento superficial e essencial para uma avaliação de vulnerabilidade a erosão e destaca que, quanto maior a declividade da área, maior a vulnerabilidade costeira. O ambiente da pós-praia, na praia da Conceição, Praia do Boldró, Bode, Quixambinha e Cacimba apresentaram em mais de 60% de suas áreas uma declividade com valores abaixo de 10 graus. Essa baixa declividade permitiu a deposição de sedimentos finos nesses locais.

Segundo Menezes ET AL. (2018), a vegetação na zona costeira indica estabilidade de uma área adjacente à praia e funciona como um impedimento ao fluxo de sedimentos em direção ao mar promovido pela ação dos ventos, ondas e marés. Bush (1999) declara que a própria presença de gramíneas, arbustos e árvores altas no ambiente de uma praia sugerem baixo potencial de erosão. Esse mesmo autor ainda registra que a vegetação retém sedimentos e sendo assim reduz o potencial de erosão. A presença de vegetação em todas as praias estudadas foi observada posteriormente ao ambiente pós-praia em direção on-shore com pouca expressão nesses locais.

A granulometria dos grãos coletados no estirâncio das Praias da Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha e Praia da Cacimba do Padre apresentaram uma predominância de areia fina, seguido de areia média. Nos ambientes de pós-praia de todas as praias estudadas apresentaram maiores percentuais de granulometria com areia grossa. A quantidade em teores de silte e argila foram de pouca ocorrência, não apresentando valores relevantes. Diante desses resultados se observa que nos ambientes avaliados não apresenta uma baixa energia, devido não ter um valor significativo da presença de silte argila nas amostras coletadas.

Davis Jr. e Fitzgerald (2004) mostraram que os sedimentos finos (fração silte) tendem a se acumular em ambientes de baixa energia de ondas, enquanto que os

sedimentos tamanho fração areia tendem a se acumular em ambientes de alta energia. Entretanto no estirâncio das praias da Conceição, Boldró, Bode e Quixambinha se caracterizam por terem grãos de areia fina e portanto ambientes de alta energia. Somente a praia da Cacimbado Padre apresentou granulometria média indicando uma energia mais alta do agente de deposição.

Já no ambiente de pós-praia os sedimentos foram classificados como de granulometria média os pertencentes as praias do Boldró, Quixambinha e Cacimbado Padre enquanto na praia do Bode areia grossa e na praia da Conceição areia fina.

Segundo Duane (1964) e Friedman (1961), os sedimentos praias variam de areia muito fina a média. Isso é explicado pela turbulência das águas causadas pelas ondas que peneiram os grãos mais finos e distorcem a curva de frequência para o lado negativo na distribuição nos valores da granulometria da areia média e grossa. A força do transporte ou da agitação dos sedimentos de diferentes tamanhos tende a separar os grãos dos sedimentos por seu tamanho. Martins (2003) afirma que os sedimentos de praia são moderadamente a bem selecionados, enquanto sedimentos de origem eólica são muito bem selecionados. Isso acontece com as amostras de sedimentos coletados em todas as praias estudadas, tanto nos ambientes de face de praia, quanto da pós-praia que foram classificados como moderadamente selecionados, com exceção dos grãos coletados na pós-praia da Cacimba do Padre, já que esses foram classificados como bem selecionados.

Os grãos coletados na face de praia e pós-praia em relação à assimetria apresentam predominância de assimetria negativa. Estudos apresentados por Duane (1964), Martins (2003) e Friedman (1967) afirmam que, grãos nos ambientes de praia apresentam assimetria negativa, segundo esses autores a assimetria negativa é causada pela remoção da cauda dos grãos finos da distribuição curva de frequência, através da adição de grãos maiores no ambiente praias. Friedman (1961) concluiu que a maior parte das areias de dunas possuem assimetria positiva enquanto areias da praia possuem assimetria negativa. Sahu (1964) explica que a assimetria negativa está relacionada com a energia mais altas nesses ambientes. Esse fato é visto no estiramento de todas as praias sendo nas praias do Bodee Cacimba do Padre apresentaram os maiores teores de areia média, do que as demais praias, o que indica mais energia nesses locais.

Quanto à curtose todos as populações de sedimentos coletados na face de praia se enquadram numa classificação mesocúrtica, indicando uma energia moderada nesses ambientes pois há uma ocorrência de várias classes de granulometria. Mas no ambiente pós-praia, das praias Quixambinha e Conceição as populações dos sedimentos foram classificados como platicúrtica, o que mostra uma concentração de grãos grossos e tamanho médios, indicando alta energia nesses ambientes.

A classificação de curtose leptocúrtica, foi indicada nas praias: Praia do Boldró,

Bodee Cacimba do Padre. Essa distribuição leptocúrtica indica que ocorre maiores concentrações de areia média e fina. A predominância de populações de grãos leptocúrticas e platicúrticas acima mencionadas está associado provavelmente a mistura de classes granulométricas oriundas de outros ambientes, tais como os sedimentos carbonáticos oriundos da plataforma, permanecendo as características da área-fonte, conforme declaram Folk e Ward (1957).

Nas amostras de sedimentos foi observado que a maioria dos grãos é formada por sedimentos carbonáticos. E a maioria por grãos silicicláticos são quartzo leitosos, sendo alguns grãos formados de quartzo hialino. Quanto ao arredondamento foi observada uma variação de grãos subarredondados a angulosos, com uma predominância grãos angulosos, e um grau de esferecidade moderada. Considerando a energia do ambiente, esses grãos

não foram retrabalhados durante um longo período, sendo remobilizados para outros locais, e possuem fraturas e marcas de impacto, provavelmente causado pelo fluxo.

A taxa média de variação da linha de costa teve valores negativos nas praias avaliadas e a relação da largura de pós-praia nesses locais indicou uma tendência erosiva mais maior no período de 2019 e 2021 observadas nas praias da Conceição, Bodró, Bode, o recuo da linha de costa apresentaram valores de -1,2, -4,04 e -8,41 metros por ano, respectivamente. A praia do Bode teve 100% da área do pós-praia comprometida pela ação das ondas durante a maré alta. Adjacente a esses locais a marca da deixa da maré alta indicou que, a linha de costa da praia da Quixambinha teve uma taxa de recuo, cerca de -14 metros por ano. Essas praias são as que apresentaram maiores taxas de recuo da linha de costa e também com menores largura de pós-praia, sendo que, a praia da Quixambinha apresentou uma largura da pós-praia quase inexistente. Com essas observações destaca-se que as praias da Quixambinha e do Bode possuem características de ambientes de alta energia em relação as demais praias analisadas. Este fenômeno de recuo identificado nessas praias podem estar associadas ao aumento da energia dos principais agentes dinâmicos locais, como ondas, ventos e correntes (Komar, 1983).

A praia da Cacimba do Padre apresentou uma pequena variação homogênea da linha de costa, demarcada pela presença de água deixada pela maré alta (maceiós). Essas taxas menores de recuo da linha de costa podem ser explicadas pela presença das Ilhas Dois Irmãos, localizadas na plataforma interna, que podem estar impedindo o fluxo longitudinal de sedimentos no sentido de NE para SW.

Manso ET AL. (2001) afirma que no sistema de praias setentrionais da Ilha de Fernando de Noronha está sob um processo erosivo com a transferência de material sedimentar de NE para SW.

As ocupações humanas, como bares, restaurantes e moradias estão sobre o ambiente pós-praia, uma delas está localizada no centro da pós-praia da Conceição e outro restaurante dotado de banheiros, cozinha de alvenaria localizado mais a leste da praia da Conceição. A presença dessas edificações agravam para uma alta vulnerabilidade dessa praia. Outra intervenção humana no ambiente da pós-praia está relacionada a obra de armazenamento do rejeito

de água do dessalinizador, sobre o ambiente da pós praia do Boldró. A presença desse bolsão de água servida diminui bastante a largura da pós-praia neste local e contribui para a ação de erosão.

Os locais com vulnerabilidade baixa, mapeados na praia da Conceição são os que tem maiores valores de largura da pós-praia. Esse local na parte leste da praia da Conceição apresentou também baixas taxas de variação da linha de costa.

Os locais com vulnerabilidade baixa apresentaram uma largura da praia maiores e uma pós praia mais afastada da ação das ondas. Esses trechos apresentaram também baixas taxas na variação da linha de costa. As praias da Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha e Cacimba do Padre apresentaram alta vulnerabilidade com taxas de recuo da linha de costa associados a presença de lagoeiros (ou maceiós) no início do ambiente pós-praia, deixados pela última maré alta e ocorrem na maior parte dessas praias. Os maceiós ou lagoeiros consomem uma grande parte da área de ambiente pós-praia, sendo assim mais exposta à ação das ondas e passivas de erosão.

Essas praias que foram classificadas com o índice de vulnerabilidade alto, estão associadas a alta energia desses ambientes, o recuo da linha de costa e a quase inexistência da pós-praia, que as tornam com o risco de deslocamento da linha de costa para níveis mais altos do terreno, mais adentro da ilha, onde repousa a vegetação local e vias de acesso à praia. A praia da Cacimba do Padre apesar de ter uma taxa de recuo menor, apresenta uma largura da pós-praia estreita, sendo quase inexistente próximo à praia da Quixambinha e com a presença de água remanescente da maré alta, próximo ao limite entre a pós-praia e a linha de vegetação e se caracteriza por um ambiente de alta energia.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia apresentada neste trabalho permitiu identificar e quantificar os Índices de Vulnerabilidade Costeira (CVI) a partir da análise da variação da linha de costa, morfologia (declividade, elevação do terreno e largura do ambiente pós-praia) e dados granulométricos dos sedimentos destes locais. Esses dados podem ser utilizados na gestão de risco e de apoio à gestão de áreas costeiras. Todos esses geoindicadores permitem aferir a vulnerabilidade desses ambientes, tendo como base a avaliação de cada fator. Após a análise dos geoindicadores nas praias estudadas verificou-se a variação da vulnerabilidade de baixa à alta.

Verificou-se, que a partir de produtos (MDT, ortomosaicos) oriundos de aerolevantamentos por veículos aéreos não tripulados (VANTs) podem ser utilizados e obter resultados mais detalhados da área de estudo como declividade e a elevação do terreno.

A presença de sedimentos grossos e retirada de grãos finos mostram que, a energia nesses ambientes é alta devido à remoção dos grãos finos pela ação energética das ondas nesses ambientes. Isso é ratificado pela assimetria negativa nas populações de sedimentos coletados em cada praia. As amostras de sedimentos coletadas apresentaram em sua maioria formadas por sedimentos de origem carbonática e os grãos siliciclásticos são constituídos por grãos de quartzo leitosos e halinos, com uma esfericidade moderada e uma variação de grãos subarredondados a angulosos, indicando que os grãos não foram retrabalhados durante um longo período, provavelmente está ligado a um ambiente de alta energia com a remobilização dos grãos para outros locais.

O recuo da linha de costa, juntamente com a ausência de vegetação próximo ao ambiente da pós-praia, associada com a alta energia nesses ambientes, tem como resultado a diminuição ou quase ausência da pós-praia, como é o caso da praia do Bode e a praia da Quixambinha. Conforme cartografia de risco gerada, as praias estudadas apresentaram índice de vulnerabilidade alta em mais de 50% da área da pós-praia. Os locais de alta vulnerabilidade apresentaram elevados recuos da linha de costa, largura de praias menores, baixa elevação do terreno e proximidade de áreas com a presença de lagoeiros (maceiós) deixadas pela maré alta.

O recuo da linha de costa nas praias: Conceição (-1,20 m/ano), Boldró (-4,04

m/ano), Bode (-8,41 m/ano), Quixambinha (-14,05 m/ano) e a Praia da Cacimba do Padre (-0,18 m/ano), juntamente com a instalação de edificações, a impermeabilização desses locais, e a remobilização de sedimentos registrado nas praias da Conceição e Boldró aumentam o índice de vulnerabilidade, que retraem o ambiente da pós-praia e põem em risco o patrimônio material e humano, e o próprio ambiente praial, com a retirada de sedimentos.

Um caso particular e mais grave está na praia do Boldró pois o local da instalação do rejeito do dessalinizador, o recuo da linha de costa máximo nesse local foi de -24,90 metros chegando até a vegetação nativa, próxima daquele ambiente. Nas áreas de vulnerabilidade média não foram registrados a lagoeiros da deixa da maré, embora um recuo da linha de costa foi registrado, porém uma largura de praia é maior.

As áreas de vulnerabilidade baixa foram apenas vistas na praia da Conceição, que apresentou uma largura de praia maior, baixa declividade, e sem remanescência de água pela deixa da maré, e nesses locais foram registrados avanços da linha de costa, deixando o ambiente pós-praia mais extenso. Os produtos aqui gerados de índices de vulnerabilidade podem ser utilizados para acompanhamento da evolução do risco em áreas costeiras. Uma avaliação temporal da variação da linha de costa, morfodinâmica costeira e o histórico de ocupação humana demandam de mais tempo de aquisição e de dados na área de estudo. Portanto medidas mitigadoras ou estruturais devem ser estudados sob pena de perda de patrimônio natural da ilha.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, FERNANDO F.M. **Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha**. Rio de Janeiro, DGM/DNPM. 181p. (Monografia 13), 1955.
- ALMEIDA, FERNANDO F.M. **Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica**. Terra e Didática, v. 2, n. 1, p. 3-18, 2006.
- BERGER, A. R. **Assessing rapid environmental change using geoindicators**. Environmental Geology, v. 32, n. 1, p. 36-44, 1997.
- BEZERRA JR., J. L. **Comunidade planctônica do nêuston: malaco e ictiofauna na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do nordeste do Brasil (REVIZEE)**. 153p. Dissertação de Mestrado. UFPE, 1999.
- BIJLSMA, LUITZEN ET AL. **Coastal zones and small islands. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, p. 289-324, 1996.
- BIRD, E. **Coastline Changes**. Jonh Wiley and Sons, New York, 219 p, 1985.
- Borges, P. A., Azevedo, E. B., Borba, A. E. S. D., Dinis, F., Gabriel, R., & Silva, E. **Ilhas Oceânicas**. Portugal Millenium Ecosystem Assessment, 463-510, 2009
- BOSOM E., & JIMÉNEZ, J. A. **Avaliação probabilística da vulnerabilidade costeira a tempestades em escala regional - aplicação às praias catalãs (NW Mediterrâneo)**. Natural Hazards and Earth System Sciences , 11 (2), 475-484, 2011.
- BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R., MCDONNELL, R. A., & LLOYD, C. D. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, 2015.
- 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 & Coastal Management, 42(8), 647-670, 1999.
- CALLIARI, L. J., MUEHC, D., HOEFEL, F. G., & TOLDO JR, E. **Morfodinâmica Praial: uma Breve Revisão**. Revista brasileira de oceanografia, 51(UNICO), 63-78, 2003.
- CÂMARA, G., CASANOVA, M. A., & MAGALHÃES, G. C. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**, 1996.
- CAMARGO, MAURÍCIO GARCIA DE. **Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento**. 1999.

CARDONA, OMAR. **The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management**, 2004.

COBUM A.S. **Reducing Vulnerability of North Carolina Communities: A Model Approach for Identifying, Mapping and Mitigating Coastal Hazards**. Program for the Study of Developed Shorelines, Duke University, 2001.

CORDANI, UMBERTO G. **Idade do vulcanismo no oceano Atlântico Sul**. Boletim IGA, v. 1, p. 09-75, 1970.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Descrição Geral do Geoparque**. Disponível em https://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geoparques/noronha1/index.php?geoparque=5>. Acesso em: 05 out. 2019.

DANIEL SALIM. **Combinação da fotogrametria com drone e modelagem da irradiação para propor cenários de transição fotovoltaica para a Ilha de Fernando de Noronha (PE, Brasil)**. Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 2021

DIETZ ROBERT S. **Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor**. Nature N° 4779, 1961.

DUANE, David B. **Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina**. Journal of Sedimentary Research, v. 34, n. 4, p. 864-874, 1964.

FERREIRA, ALEXANDRE MORENO RICHWIN. **Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – Vant, Para Uso Em Aerolevantamentos**. Dissertação de mestrado, 2014.

FOLK, ROBERT LOUIS; WARD, WILLIAM C. **BRAZOS River bar [Texas]; A study in the significance of grain size parameters**. Journal of sedimentary research, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

FRIEDMAN, GERALD M. **Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics**. Journal of Sedimentary Research, v. 31, n. 4, p. 514-529, 1961.

FRIEDMAN, GERALD M. **Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands**. Journal of Sedimentary Research, v. 37, n. 2, p. 327-354, 1967.

GORINI M.A., BRYAN G.M. **A semi-isolated basin off the northeast brazilian margin**. Amer. GEOPH. UNION TRANS., 55:278, 1974.

GORNITZ V., DANIELS R. WHITE T., BIRDWELL K. **The Development of Coastal Risk Assesment Database: Vulnerability to Sean-Level In The U.S. Southeast**. Journal of Coastal Research Special Issue 12, 327-338, 1994.

GORNITZ, V. **Global Coastal Hazards From Future Sea Level Rise**. 89, 379-398, 1991.

GORNITZ, V., WHITE, T. **A Coastal Hazards Database for the U.S. East Coast**, ORNL/CDIAC- 45, NPD-43A, Oak Ridge. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, 1992.

GROTZINGER, J., & JORDAN, T. **Decifrando a Terra**, 2013.

HESS, H., **Drowned Ancient Islands of the Pacific Basin**, 1946.

HIMMELSTOSS, E.A., FARRIS, A.S., HENDERSON, R.E., KRATZMANN, M.G., ERGUL, AYHAN, ZHANG, OUYA, ZICHICHI, J.L., AND THIELER, E.R., 2018, **Digital Shoreline Analysis System (version 5.0)**: U.S. Geological Survey software release, <https://code.usgs.gov/cch/dsas>

HUISMAN, O., & DE BY, R. A. **Principles of Geographic Information Systems**. ITC Educational Textbook Series, 1, 17, 2009.

KOMAR, P. D. **Handbook of Coastal Processes and Erosion**. CRC Press, Incorporated, 1983.

LORING, G. H.; RANTALA, R. T. T. **Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter**. Earth Sei. Rev., 32: 235 – 283p. 1992.

MARTINS, L. R. **Recent sediments and grain-size analysis**. Gravel, v. 1, p. 90-105, 2003.

MAZZER, ALEXANDRE MAIMONI. **Proposta metodológica para análise de vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira: aplicação em praias arenosas da costa sudeste da Ilha Santa Catarina (Florianópolis, Santa Catarina-Brasil)**. Tese de Doutorado, 2007.

MENEZES, A. F., PEREIRA, P. D. S., GONÇALVES, R. M., ARAÚJO, T. C. M. D., & SOUSA, P. H. G. D. O. **Análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (PE), Brasil**. 2018

MENEZES, ATHOS FARIAS. **Análise da vulnerabilidade à erosão costeira no estado de Pernambuco através de indicadores ambientais e antrópicos**. 2016

NIKI E., ANNA K., MILTIADIS P., AND VASILIS K. **Coastal Erosion**, New York: Cambridge University Press 2013.

OFFICE OF THE UNITED NATIONS DISASTER RELIEF COORDINATOR (UNDRO). **Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Expert Group Meeting**, 1979.

OLIVEIRA, M. R. L. D., & NICOLODI, J. L. **A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla: Uma análise sob a ótica do poder público**. Revista de Gestão Costeira Integrada, 12(1), 89-98, 2012.

SALIM, D.H.C. **Combinação da fotogrametria com drone e modelagem da irradiação para propor cenários de transição fotovoltaica para a Ilha de Fernando de Noronha (PE, Brasil)**. Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 2021.

SHORT, A. D.; WRIGHT, L. D. **Physical variability of sandy beaches**. In: **Sandy beaches as ecosystems**. Springer, Dordrecht. p. 133-144. 1983.

SHORT, A.D. **Holocene coastal dune formation in southern Australia: A case study**, *Sedimentary Geology*, Volume 55, Issues 1–2, Pages 121-142, 1988.

SOUSA, PAULO H. G. O.; SIEGLE, EDUARDO; TESSLER, MOYSÉS GONSALEZ. **Vulnerability Assessment of Massaguaçu Beach (SE Brazil)**. *Ocean & coastal management*, v. 77, p. 24-30, 2013.

SUGUIO, KENITIRO, **Tópicos de Geociências para o Desenvolvimento Sustentável: As Regiões Litorâneas**. Geologia USP. Série Didática, v. 2, p. 1-40, 2003.

TAGLIANI, CARLOS RONEY ARMANINI. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**. 2003.

THIELER E.R., 2018, **Digital Shoreline Analysis System** (version 5.0): U.S. Geological Survey software release, <https://code.usgs.gov/cch/dsas>

TRAVASSOS, PAULO & HAZIN, FÁBIO & ZAGAGLIA, J.R. & ADVÍNCULA, R. & SCHOBBER, J. **Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil**. *Archive of Fishery and Marine Research*. 47. 211-222, 1999.

VALDIR DO AMARAL, V. M., DE ALBUQUERQUE MENOR, E., VALENÇA, L. M. M., DE ML NEUMANN, V. H., PEREIRA, N. S., DE AS JUNIOR, C. F., & SILVA, E. R. M. **Morfodinâmica de Praias Setentrionais da Ilha de Fernando do Noronha** (2011).

WILDNER, WILSON; FERREIRA, ROGÉRIO VALENÇA. **Geoparque Fernando de Noronha (PE): proposta**. In: SCHOBHENHAUS, CARLOS; SILVA, CASSIO ROBERTO DA (Org.). *Geoparques do Brasil: propostas*. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. Cap. 10

WILSON T., J. **A New Class of Faults and Their Bearing on Continental Drift**. *Nature* n° 4995, 1965.

ANEXO A - FOTOS



Figura 76 – (1) Vista da Prefeitura de Fernando de Noronha ; (2) e (3) Reunião com técnicos da administração da Ilha: ao fundo, da esq. para dir.: Prof. Dra. Márcia C. de Souza, fundo e Prof. Dra. Maria das Neves, a frente, da esq. para dir.: Eng. Agro. Antonio Ferreira/Biól. Érika Andradeda Gestão de Meio Ambiente da ATEDFN e mestrando Geól. Roberto Souza ; (4) por do Sol na Praia da Conceição.