



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUANA RAQUEL JUVINO DA SILVA

**METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA E
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA: ESTUDO DE CASO NA PRAIA DE
PIPA, MUNICÍPIO DE TIBAU DO SUL/RN**

NATAL/RN

2022

LUANA RAQUEL JUVINO DA SILVA

METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA E
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA: ESTUDO DE CASO NA PRAIA DE
PIPA, MUNICÍPIO DE TIBAU DO SUL/RN

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro.

Coorientadora: Profa. Dra. Ada Cristina Scudelari.

NATAL/RN

2022

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Silva, Luana Raquel Juvino da.

Metodologia para o mapeamento de movimentos gravitacionais de massa: estudo de caso na praia de Pipa, município de Tibau do Sul/RN / Luana Raquel Juvino da Silva. - 2022.
98f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Natal, RN, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro.

Coorientador: Profa. Dra. Ada Cristina Scudelari.

1. Dinâmica costeira - Dissertação. 2. Estrutura de contenção - Dissertação. 3. Mudanças climáticas - Dissertação. 4. Redução de risco de desastre - Dissertação. I. Amaro, Venerando Eustáquio. II. Scudelari, Ada Cristina. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 551.4

LUANA RAQUEL JUVINO DA SILVA

METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA E
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA: ESTUDO DE CASO NA PRAIA DE
PIPA, MUNICÍPIO DE TIBAU DO SUL/RN

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro – Orientador (UFRN)

Profa. Dra. Maria Del Pilar Inguza – Examinador Interno (UFRN)

Prof. Dr. Paulo Victor Araújo – Examinador Externo (IFRN)

Natal, 29 de agosto de 2022.

Dedico aos meus pais, Rivanda Silva e Luiz Juvino (*in memoriam*), como forma de honra-los por todo o amor que me dedicaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por uma vez mais me honrar com a realização de um sonho, por ter me sustentado e estado comigo em toda a caminhada!

Aos meus amados pais, por todo o amor, carinho e dedicação. Pai, meu gordinho, eu cheguei ao final e o meu maior desejo era poder te ligar e dizer: “Pai, sou Mestre!” e ouvir teu choro de orgulho. Você está sempre comigo e consegui cumprir tua missão, não só me deixando a educação como herança, mas também por ter me preparado pro mundo. Obrigada, por tanto! Mãe, minha gordinha, se eu estou em pé e chego ao final de mais uma etapa é graças a tua fé, força e exemplo. Você é minha heroína! Teu colo me aconchegou, mesmo quando tudo em ti também doía e suas orações tem nos sustentado até aqui. Obrigada, por simplesmente ser!

Aos meus fiéis e inestimáveis amigos, Andréa Vecchi, Fernando do Carmo, Fernanda Matignago e Letícia Gonçalves, obrigada por não largarem minha mão nos dias de tempestade, por não medirem esforços para me ajudar e por não terem desistido de mim!

À Eli Sousa, gratidão! Eu sinto muito pelas memórias de dor que compartilho com você, te peço perdão por unir o meu caminho ao seu para a cura, te agradeço por estar pra mim e eu amo tu por ser quem você é!

Aos eternos Filhos/Hijos da PUC (Ana Luiza, Arthur Amaral, Bruno Pires, Jainor Cabrera, Larissa Lago, Carolina Manhães, Mariana Bernardo, Raquel Carvalho) por todo carinho, apoio e torcida que ultrapassa toda e qualquer distância!

Às queridas Amanda Miyamoto e Raille Silva, por terem literalmente aberto às portas de suas casas e me acolhido aqui em Natal! Obrigada por todo o suporte, ouvido, colo, sol, praia e altinhas! Hoje, vocês são minha família!

Aos meus colegas do Núcleo de Arquitetura e Engenharia do IDEMA, pelas partilhas e companheirismo que me possibilitaram um ambiente profissional de muito aprendizado e crescimento. Em especial, à Cris Martins, por toda compreensão e auxílio em todos os momentos que precisei nessa caminhada.

Aos amigos e colegas do PEC, em especial, à Luanda Maria por toda partilha e companheirismo nas longas e intensas jornadas de estudos.

Aos professores do PEC, por seus ensinamentos, sobretudo aos queridos Ada Scudelari e Venerando Amaro, por aceitarem conduzir esta pesquisa. Professor, obrigada por me mostrar que é possível ser humano na academia, pelo apoio no meu momento mais difícil e por toda dedicação e empenho em me orientar!

À todos vocês, minha imensa gratidão!

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, está contigo por onde quer que você andar”.

Bíblia Sagrada, Josué 1:9.

RESUMO

O litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte (RN) é assinalado pelo domínio de falésias ativas e praias arenosas, frequentemente associadas a campos de dunas móveis e fixadas por vegetação, interceptadas por desembocaduras de rios e estuários. Neste contexto geológico e geomorfológico de fragilidade natural da orla marítima está inserido o Município de Tibau do Sul, especificamente o trecho da Praia de Pipa, onde as atividades socioeconômicas estão fortemente baseadas no turismo internacional, com repercussões no turismo nacional e regional, incentivados pelas oportunidades de negócios e investimentos do setor imobiliário, além da construção de segundas residências. Tais fatores indicam a importância da atividade turística e imobiliária para o município e, conseqüentemente, relevantes financiamentos e investimentos públicos e privados sobre um trecho de orla marítima submetida à intensa dinâmica costeira natural e antropogênica, em que, desastres tem ocorrido devido ao uso e ocupação da terra realizados inadequadamente e embasados em políticas públicas ineficazes. Diante disto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta metodológica baseada em geotecnologias e na integração de dados espaciais em Sistema de Informações Geográficas, relatórios de dados históricos pluviométricos e dados das reanálises do clima de ondas, para a determinação dos índices de risco à erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa, na região da Praia de Pipa/RN. Os índices de vulnerabilidade foram calculados por meio da análise estatística ponderada das classes temáticas de geologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo, declividade, vegetação e dos eventos extremos de precipitação. A validação dos mapas temáticos se deu por meio dos levantamentos de campo, nos quais também foram verificados e investigados os processos erosivos costeiros, os pontos de alagamento e escoamento pluvial superficial, bem como a existência de estruturas de contenções implantadas de forma inadequada, que acabam potencializando o processo de erosão costeira na área. A partir da compilação das informações coletadas em campo e análises dos mapas prévios foi elaborada proposta metodológica de um mapa de risco à erosão e movimentos gravitacionais de massa, contendo a setorização de áreas definidas como de risco alto (R3) e risco muito alto (R4). O mapa de risco à erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa é fundamental para fortalecer o entendimento de áreas costeiras e fornecer, aos órgãos de gestão responsáveis pelo planejamento e controle ambiental costeiro do município de Tibau do Sul/RN, informações que auxiliam na tomada de decisões referentes às intervenções para a redução do grau de risco, elaboração de um plano de contingência, licenciamentos ou não e fiscalização de regiões costeiras.

Palavras-chave: Dinâmica Costeira; Estrutura de Contenção; Mudanças Climáticas; Redução de Risco de Desastre.

ABSTRACT

The eastern coast of the Rio Grande do Norte (RN) is the domain of active cliffs and sandy beaches, often associated with mobile dunes and fixed by vegetation, intercepted by rivers and estuaries. Along this geological and geomorphological context of natural fragility of the seashore is inserted the Municipality of Tibau do Sul, specifically the stretch of Pipa Beach, where socioeconomic activities are strongly based on international tourism, with repercussions on national and regional tourism, encouraged by the opportunities of business and investments in the real estate sector, in addition to the construction of second homes. Such factors indicate the importance of tourism and real estate activity for the municipality and, consequently, with relevant public and private financing and investments on a range of seafront subjected to intense natural and anthropogenic coastal dynamics, in which disasters have occurred due to use and occupation of land carried out inadequately and based on ineffective public policies. Therefore, the present work presents a methodological proposal based on geotechnologies and the integration of spatial data in Geographic Information System, reports of historical rainfall data and data from reanalyzes of the wave climate, for the determination of risk indices to coastal erosion and gravitational mass movements, in the section of Pipa Beach/RN. Vulnerability indices were calculated through weighted statistical analysis of thematic classes of geology, geomorphology, land use and occupation, slope, vegetation and extreme precipitation events. The validation of the thematic maps took place throughout the field surveys, in which coastal erosion processes were also verified and investigated, the points of flooding and surface rainwater runoff, as well as the existence of containment structures improperly implanted, which end up enhancing the process of coastal erosion in the area. From the compilation of information collected in the field and analysis of the previous maps, a methodological proposal was elaborated to coastal erosion and gravitational mass movement risk map was elaborated to areas defined as high risk (R3) and very high risk (R4). The indexes were calculated through weighted statistical analysis of thematic classes of geology, geomorphology, land use and cover, slope, vegetation and extreme precipitation events. The coastal erosion and gravitational mass movement risk map is essential to strengthen the understanding of coastal areas and provide, to the public managers responsible for the coastal environmental and the community at large, with information that assists in decisions regarding the interventions that could be taken to reduce the degree of risk and in the preparation of contingency plans, as well as for licensing and inspection decisions on coastal regions.

Keywords: Coastal Dynamics; Containment Structure; Beach Erosion; Landslide; Disaster Risk Reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da Queda de Blocos	23
Figura 2 - Esquema do Tombamento de Blocos.	24
Figura 3 - Esquema do Escorregamento Circular.	25
Figura 4 - Esquema do Escorregamento Planar.	25
Figura 5 - Esquema do Escorregamento em Cunha.	26
Figura 6 - Esquema de Corridas de Massa.	26
Figura 7 - Definição de Risco de Desastre.	28
Figura 8 - Localização do estado do Rio Grande do Estado do Rio Grande do Norte, o Município de Tibau do Sul e a Praia de Pipa.	30
Figura 9 - Destaque (em vermelho) para edificações construídas inadequadamente no topo da falésia, promovendo um acréscimo de carga que pode levar à ruptura da rocha.	32
Figura 10 - Movimento de Massa das Falésias. Destaque (em vermelho) para um empreendimento construído inadequadamente no topo da falésia, neste mesmo local.	33
Figura 11 - Mapa das Unidades Geológicas da Área de Estudos.	35
Figura 12 - Mapa das Unidades Geomorfológicas da Área de Estudo.	36
Figura 13 - Arenitos ferruginosos ou lateritas em estratos da Formação Barreiras.	37
Figura 14 - Depósito de tálus formado por material desagregado da falésia devido à ação de erosão costeira.	38
Figura 15 - Dunas Vegetadas sobrepostas à falésia na Área de Estudo.	41
Figura 16 - Divisão do Ambiente de Praia.	42
Figura 17 - Cobertura Vegetal de Restinga em Tibau do Sul.	45
Figura 18 - Ausência de Cobertura Vegetal nos Tabuleiros Costeiros da Praia do Amor.	45
Figura 19 - Perfis Típicos; (A) Esquema do processo de erosão basal na falésia; (B) Formação de fendas de tração devido à ação da chuva; (C) Movimento gravitacional de massa e acúmulo de tálus na base da falésia.	47
Figura 20 - Movimentos Gravitacionais de Massa na Área de Estudo; (A) Praia do Centro; (B) Praia Baía dos Golfinhos; (C) Praia do Amor; (D) Chapadão de Pipa.	48
Figura 21 - Fluxograma das Etapas Metodológicas.	50
Figura 22 - Mapa de Localização dos pontos DOW analisados parra caracterizar o regime de ondas.	54
Figura 23 - Mapa das Classes de Uso e Cobertura dos Solos da Área de Estudo.	56

Figura 24 - Mapa das Classes de Vegetação da Área de Estudo.	57
Figura 25 - Mapa das Classes de Declividade.	58
Figura 26 - Mapa de Variabilidade dos Eventos Extremos de Precipitação das Microrregiões de Natal e do Litoral Sul.	59
Figura 27 - Mapa das Classes de Vulnerabilidade da Área de Estudo.	62
Figura 28 - Setorização de áreas de controle (ACs) para mapeamento de áreas de risco.	63
Figura 29 - Checklist utilizando em campo.	65
Figura 30 - Climatologia da precipitação das cidades de Natal (A), Baía Formosa (B) e Espírito Santo (C). Os valores representam uma média mensal em (mm.mês-1).	68
Figura 31 - Média residual dos dados de precipitação diária (mm.dia-1) para o período de 1980 a 2020, nas cidades de Natal (A), Baía Formosa (B) e Espírito Santo (C).	69
Figura 32 - Distribuição anual do acumulado de precipitação diária (mm.dia-1) para o período de 1980 a 2020 nas cidades de Natal (A), Baía Formosa (B) e Espírito Santo (C), para o período de 01/05/2021 e 07/07/222 na cidade de Tibau do Sul (D), e representação do valor do limiar para EEP98 (70 mm).	70
Figura 33 - Probabilidade de ocorrência de ondas Hs, referente ao ponto DOW P02.	71
Figura 34 - Probabilidade de ocorrência de ondas Tp, referente ao ponto DOW P02.	71
Figura 35 - Diagrama de pétalas de Hs, referente ao ponto DOW P02.	72
Figura 36 - Figura 35 - Condições hidrodinâmica locais oriundos da série histórica do ponto DOW P02: (A) altura significativa de ondas (Hs); (B) período de ondas (Tp).	72
Figura 37 - Condições hidrodinâmica locais oriundos da série histórica do ponto DOW P02: (A) maré astronômica; (B) maré meteorológica.	73
Figura 38 - Ajuste da série temporal à Distribuição Generalizada de Extremos, por máximos anuais, no ponto DOW P02.	73
Figura 39 – Falésias Ativas no Setor N da Área de Estudo; (A) Incisão basal; (B) Superfícies de deslizamento; (C) Acúmulo de tálus no sopé da falésia.	75
Figura 40 - Estruturas de Contenção Construídas presentes no Setor N; (A) Muro de arrimo fissurado, com enrocamento em gaiola de madeira; (B) Enrocamento em gaiola de madeira, com presença de intensificação do processo erosivo; (C) Estrutura fissurada devido ao esforço gravitacional após o deslocamento dos sedimentos de sua base.	75
Figura 41 - Mapa diagnóstico das condicionantes ao risco de desastres no Setor N.	76
Figura 42 - Estrutura do Deck de Pipa; (A) Viga fissurada; (B) Pilares deteriorados; (C) Ligações das vigas e canos para escoamento pluvial em direção ao enrocamento e	

praia; (D) Reforços irregulares dos elementos estruturais; (E) Aberturas para apoio estrutural executado de forma inadequada; (F) Patologia na parte superior; (G) Escoamento superficial e evidências de desnível do piso. 77

Figura 43 – Pontos de escoamento de água registrados; (A) Fluxo de água em direção à praia; (B) Lançamento de esgoto proveniente do excedente do sistema instalado; (C) Um dos pontos de chegada do escoamento na praia e potencialização do processo de erosão. 78

Figura 44 – Evidências de processos erosivos no Setor NE; (A) Erosão no topo da falésia; (B) Afloramento do lençol freático; (C) Abertura de acesso à praia. 79

Figura 45 - Mapa de Diagnóstico das condicionantes ao risco de desastres do Setor NE. 79

Figura 46 – Padrão erosivo do Chapadão de Pipa; (A) Fraturas verticais paralelas; (B) Fraturas horizontais oblíquas, com evidência de deslizamento; (C) Degraus de abatimento. 80

Figura 47 - Mapa diagnóstico das condicionantes de risco de desastres do Setor S. 81

Figura 48 - Mapa Síntese de Risco de Desastres da Área de Estudo. 83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Orientações gerais para Classificação dos Graus de Risco – CPRM.	29
Quadro 2 - Características e indícios a serem observados durante a setorização de áreas de risco a movimentos de massa.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação Simplificada de Movimentos de Massa	22
Tabela 2 - Fontes das bases de dados digitais de repositórios públicos.	51
Tabela 3 - Relação das bases-estações de coleta dos dados de precipitação.	52
Tabela 4 - Descrição geográfica dos pontos DOW.	53
Tabela 5 - Escala de ponderação de Saaty aplicada no Processo Analítico Hierárquico para obtenção da importância relativa das variáveis.	59
Tabela 6 - Comparação pareada e taxa de consistência aplicada na ponderação de pesos de Vulnerabilidade.	60
Tabela 7 - Intervalos das classes de Vulnerabilidade e escores por lógica booleana.	60
Tabela 8 - Escores das classes temáticas para os índices de vulnerabilidade por lógica booleana.	61

LISTA DE SIGLAS

ALOS	<i>Advanced Land Observing Satellite</i>
AMEAVA	Análise Matemática e Estatística de Variáveis Ambientais
APAS	Alta Pressão do Atlântico Sul
CBERS	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i>
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
DOW	<i>Downscaling Ocean Waves</i>
E	Leste
EEP	Eventos Extremos de Precipitação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
ESE	Leste-Sudeste
GEV	Distribuição Generalizada de Extremos
GPD	Distribuição Generalizada de Pareto
GRASS	<i>Geographic Resources Analysis Support System</i>
HFA	Quadro de Ação Hyogo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	<i>Inverse Distance Weighted</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MAPBIOMAS	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MDE	Modelo Digital de Elevação
N	Norte
NE	Nordeste
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NS	Norte-Sul
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PAH	Processo Analítico Hierárquico
PALSAR	<i>Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar</i>
PRODETUR	Programa de Desenvolvimento do Turismo no Nordeste
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
RN	Rio Grande do Norte

S	Sul
SNB	Subcorrente Norte do Brasil
UNDRR	<i>United Nations Office of Disaster Risk Reduction</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNISDR	<i>United Nations International Strategy for Disaster Reduction</i>
UTM	Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator
SGB	Serviço Geológico Brasileiro
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
WPM	Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	22
2.1.1	Quedas	23
2.1.2	Tombamentos	24
2.1.3	Escorregamentos	24
2.1.4	Corridas	26
2.2	EROSÃO COSTEIRA	27
2.3	CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS DE DESASTRES	28
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
3.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
3.2	HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO	31
3.3	INFRAESTRUTURA	32
3.4	CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO	35
3.4.1	Formação Barreiras	37
3.4.2	Depósitos Sedimentares Clásticos de Sopé de Encosta e Brecha de Tálus.....	39
3.4.3	Depósitos Litorâneos Vegetados e Não Vegetados.....	40
3.4.4	Depósitos Litorâneos Praiais	40
3.4.5	Tabuleiros Costeiros Dissecados.....	40
3.4.6	Planícies Costeiras.....	41
3.4.7	Planícies Fluviais do Litoral Oriental.....	44
3.4.8	Planícies Flúvio-Lagunares	44
3.5	CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS.....	45
3.5.1	Clima	45
3.5.2	Cobertura Vegetacional.....	45
3.5.3	Forçantes Hidrodinâmicas	47
3.5.3.1	Ondas.....	47
3.5.3.2	Marés	47
3.5.3.3	Correntes Marítimas	48
3.5.3.4	Ventos.....	48
3.6	MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	48
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	51

4.1	COMPILAÇÃO DA BASE DE DADOS	52
4.2	ANÁLISE DE DADOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS	54
4.2.1	Variabilidade dos Eventos Extremos de Precipitação	54
4.2.2	Análise Hidrodinâmica e Oceanográfica.....	55
4.3	ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	56
4.4	ELABORAÇÃO DO MAPA DE VULNERABILIDADE	61
4.5	LEVANTAMENTOS DE CAMPO	64
4.6	ANÁLISE DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	68
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
5.1	EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO	70
5.2	HIDRODINÂMICA LOCAL.....	72
5.3	DIAGNÓSTICO E MAPA SÍNTESE DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	76
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
	REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

O ambiente costeiro é caracterizado pela intensa dinâmica e complexidade, devido à processos de alta energia motrizes da interação entre eventos no ar, mar e continente, incluindo seus recursos ambientais nas faixas marítima e terrestre, além das contínuas interferências antrópicas (NOVAK e LAMOUR, 2021). A zona costeira engloba os municípios que sofrem diretamente a influência dos fenômenos ocorrentes na interface geográfica, distantes em até 50 km da linha da costa (BRASIL, 2004). A fragilidade ambiental e as taxas de ocupação das zonas costeiras têm sofrido um aumento considerável ao longo dos anos, como consequência da valorização e especulação das orlas marítimas (MUEHE, 2018; AMARO *et al.*, 2014).

Cerca de 60% da população mundial reside a menos de 60 km da linha de costa, de acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*UNIPE – United Nations Environment Programme*) e esse contingente tende a aumentar para 75% em duas décadas, demonstrando assim uma permanente inclinação ao crescimento da concentração demográfica nessas regiões devido à sua importante relação com aspectos econômicos, ecológicos e culturais (*United Nations Atlas of The Oceans*, <http://www.oceansatlas.org/>). Seguindo a tendência mundial e devido aos fatores históricos relacionados à ocupação do território, no Brasil a zona costeira é habitada por mais de 60% da população (PBMC, 2016) e suas atividades, direta ou indiretamente, são responsáveis por aproximadamente 70% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (PNUMA, 2002).

As mudanças climáticas alteram as condições ambientais ao longo da maior parte das zonas costeiras do mundo e podem gerar um incremento aos diversos riscos de desastres naturais (POLETTE e BARROS, 2012; IPCC, 2014). Os processos erosivos ocasionados pelo aumento do nível relativo do mar, aumento na energia das ondas e na frequência de tempestades locais, além das atividades antropogênicas desordenadas na zona costeira têm representado significativo aumento no risco de desastres, uma vez que a instalação de infraestruturas ocorre sem o conhecimento adequado da dinâmica dos processos costeiros no que se refere às mudanças climáticas. Tais fatores geram notadamente desequilíbrio no transporte natural dos sedimentos costeiros, afetando o balanço sedimentar nas linhas de praia, ocasionando os processos erosivos severos e grandes prejuízos socioeconômicos (AMARO *et al.*, 2014; MATOS *et al.*, 2020). Os processos costeiros, decorrentes de forçantes oceânicas e continentais, bem como as ações antrópicas desprovidas de rigorosas ações de políticas públicas, que considerem as alterações climáticas, têm sido determinantes na

avaliação da estabilidade de falésias ativas propensas a movimentos gravitacionais de massas, que estão igualmente relacionadas aos processos erosivos nas praias arenosas defrontantes às falésias (MATOS *et al.*, 2020; AMARO *et al.*, 2021).

A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu em 2015 os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que integram uma agenda global para a construção e implementação de políticas públicas com o intuito de nortear a humanidade até o ano de 2030 (WOLLAERT, 2017), através do apelo global à ação de acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, de todos os lugares, possam usufruir de paz e prosperidade (ONU BRASIL, 2022). O 13º ODS corresponde ao combate às mudanças climáticas e fomenta-se na tomada de medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos. No Brasil, no que se diz respeito à legislação, foi instituída a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), através da Lei nº 12.187/2009, que passou a ser efetivada por meio de instrumentos como o Plano Nacional sobre Mudanças do Clima, o Fundo Nacional sobre Mudanças do Clima e a Comunicação do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.

Geralmente, as avaliações de risco de desastres em zonas costeiras abordam separadamente fatores relativos aos domínios climáticos, oceânicos e continentais, considerando os perigos hidrodinâmicos e os fatores hidrometeorológicos extremos. Entretanto, Jiménez *et al.* (2021) explicam que embora tal abordagem metodológica seja razoável em alguns casos, existem ambientes onde enfoques desacoplados subestimam os riscos de desastres, geralmente quando se trata de perigos associados à dinâmica climática e, por consequência, tal perspectiva afeta o desenvolvimento eficiente de planos mitigatórios e adaptativos aos desastres. Portanto, uma metodologia que leve em consideração o contexto das forças interativas nos domínios da zona costeira seria mais apropriada. De acordo com a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UNDRR - *United Nations Office of Disaster Risk Reduction*) a perspectiva de ação *multi-hazard*, ou multi-perigo, é aquela que considera mais de um perigo em determinado local e as interações entre esses perigos, incluindo sua ocorrência simultânea e cumulativa, além de suas interações potenciais. Nesta abordagem, para que um potencial perigo progrida para a análise de risco de desastres, a natureza dinâmica da vulnerabilidade dos espaços costeiros locais deve ser considerada (<http://www.interactinghazards.com/home>).

O Quadro de Sendai para Redução de Risco de Desastres 2015-2030, adotado pelos Estados Membros das Nações Unidas, é uma ferramenta utilizada para prevenir novos e reduzir os riscos de desastres gerados por riscos naturais ou provocados pelo homem, visando

a gestão de riscos de desastres múltiplos em formação em todos os níveis, assim como dentro e em todos os setores (DRMIMS, 2021). Adotado na Terceira Conferência Mundial das Nações Unidas em Sendai, no Japão, em 2015, esse Quadro é resultado de consultas e negociações intergovernamentais, sucedendo o Quadro de Ação Hyogo (HFA) 2005-2015, que visava a construir a resiliência das nações e comunidades frente aos desastres (NAÇÕES UNIDAS, 2015). O Quadro identificou a necessidade de ações em áreas prioritárias, sendo elas: (1) compreender o risco de desastre, (2) fortalecer a governança na gestão dos riscos, (3) investir na redução de riscos de desastres para resiliência, e (4) reforçar a preparação para desastres de forma a obter uma resposta efetiva e “construir melhor” na recuperação, reabilitação e reconstrução (DRMIMS, 2021).

O litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte (RN), onde se insere o Município de Tibau do Sul área de interesse deste estudo, é assinalado pelo domínio de falésias ativas e praias arenosas, frequentemente associadas a campos de dunas móveis e fixadas por vegetação (SILVA *et al.*, 2020), interceptadas por desembocaduras de rios e estuários. As falésias ativas correspondem às bordas marinhas e estuarinas dos Tabuleiros Costeiros constituídas por rochas sedimentares da Formação Barreiras e pós-Barreiras, de topo plano suavemente mergulhante em direção ao oceano. A geometria das falésias ativas é retilínea na direção geral NS, com praias arenosas defrontantes e nos setores de enseadas parabólicas (ou em forma da letra grega *zeta*) ladeadas por promontórios (BARRETO *et al.*, 2004; AMARO *et al.*, 2014). Este arranjo estrutural peculiar acompanha a estruturação geotectônica pretérita das bacias costeiras do Nordeste do Brasil e pela geometria das principais forçantes hidrodinâmicas atuantes na costa, com transporte preferência de sedimentos no sentido de sul para norte (BEZERRA *et al.*, 2001; AMARO *et al.*, 2014; MATOS *et al.*, 2020).

Neste contexto geológico e geomorfológico de fragilidade natural da orla marítima do Município de Tibau do Sul se insere especificamente o trecho da Praia de Pipa, onde as atividades socioeconômicas estão fortemente baseadas no turismo internacional, com repercussões no turismo nacional e regional, incentivados pelas oportunidades de negócios e investimentos do setor imobiliário, além da construção de segundas residências. Esta dinâmica local é a principal responsável pela movimentação da economia no Município de Tibau conectada aos serviços relacionados direta e indiretamente aos setores turístico e imobiliário, transformando o município no segundo maior polo turístico do RN. Atualmente, a praia da Pipa está entre os principais municípios indutores do turismo no Brasil, de acordo com o Ministério do Turismo (MINISTÉRIO DO TURISMO, 2018). Tais fatores indicam a

relevância da atividade turística e imobiliária para o município e, conseqüentemente, com relevantes financiamentos e investimentos públicos e privados sobre um trecho de orla marítima submetida a intensa dinâmica costeira natural e antropogênica, em que desastres tem ocorrido devido ao uso e ocupação da terra realizados inadequadamente e embasados em políticas públicas ineficazes.

Portanto, as inter-relações entre as variáveis costeiras exigem a elaboração de mapas de perigo e risco à erosão costeira e de movimentos gravitacionais de massa na orla marítima da Praia de Pipa, através de uma abordagem baseada na integração de fatores causadores de perigos em análise alinhada com as propostas do Quadro Sendai e com o intuito de fortalecer o entendimento de áreas costeiras e fornecer, aos órgãos de gestão responsáveis pelo planejamento e controle ambiental costeiro do município de Tibau do Sul/RN, informações que auxiliam na tomada de decisões referentes à intervenções para a redução do grau de risco, na elaboração de um plano de contingência, para licenciamentos ou não e fiscalização de regiões costeiras, o presente trabalho teve por objetivo apresentar uma metodologia baseada no uso de Geotecnologia e na integração de dados espaciais em Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a elaboração de um mapa síntese de risco à erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa da Praia de Pipa. Na análise de risco, além dos fatores geoambientais (geologia, geomorfologia, vegetação, uso e cobertura do solo) foram considerados os históricos de movimentos de massas ocorridas na região, fatores desencadeantes (clima, eventos extremos de precipitação e hidrodinâmica costeira), os fatores antrópicos (infraestruturas instaladas e intensificação do uso e ocupação do solo), bem como dados a sobre o recuo da linha de praia, avaliados estatisticamente em ambiente SIG.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Movimentos Gravitacionais de Massa

Os movimentos gravitacionais de massa são processos naturais atuantes na dinâmica das vertentes, em que o movimento do solo, rocha e/ou vegetação ocorre devido à ação direta da gravidade e contribui para a evolução geomorfológica em regiões de serra (TOMINAGA, SANTORO e AMARAL, 2009). O aumento da ocupação urbana desordenada, sem um correto planejamento do uso e ocupação do solo e sem a implementação de técnicas de estabilização em áreas desfavoráveis, também é um fator disseminador para a ocorrência de acidentes relacionados a estes processos, chegando por diversas vezes a serem classificados como desastres (TOMINAGA, 2007; TOMINAGA, SANTORO e AMARAL, 2009).

Uma variedade de materiais e processos estão relacionados aos movimentos de massa. Para a distinção dos diversos tipos de movimentos é necessário levar em consideração alguns critérios, tais como velocidade, mecanismo do movimento, material, geometria da massa mobilizada, modo de deformação, e presença de água. Sendo assim, existem, na literatura, diversas classificações desses movimentos, como a proposta por Varnes (1978) que é uma das mais utilizadas internacionalmente e se baseia no tipo de movimento e em qual material transportado. A Tabela 1 mostra uma simplificação dessa classificação dos movimentos de massa proposta por Varnes (1978).

Tabela 1 – Classificação Simplificada de Movimentos de Massa

Tipo de Movimento	Tipo de Material		
	Rocha	Material Detrítico	Solos
Queda	Queda de Blocos	Queda de Detritos	Queda de Solos
Tombamento	Tombamento de Blocos	Tombamento de Detritos	Tombamento de Solos
Escorregamento Rotacional e Translacional	Escorregamento de Rocha	Escorregamento de Detritos	Escorregamento de Solo
Corrida	Avalanche de Blocos	Corridas de Detritos	Corrida de Solo (ou lama)
Complexo	Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

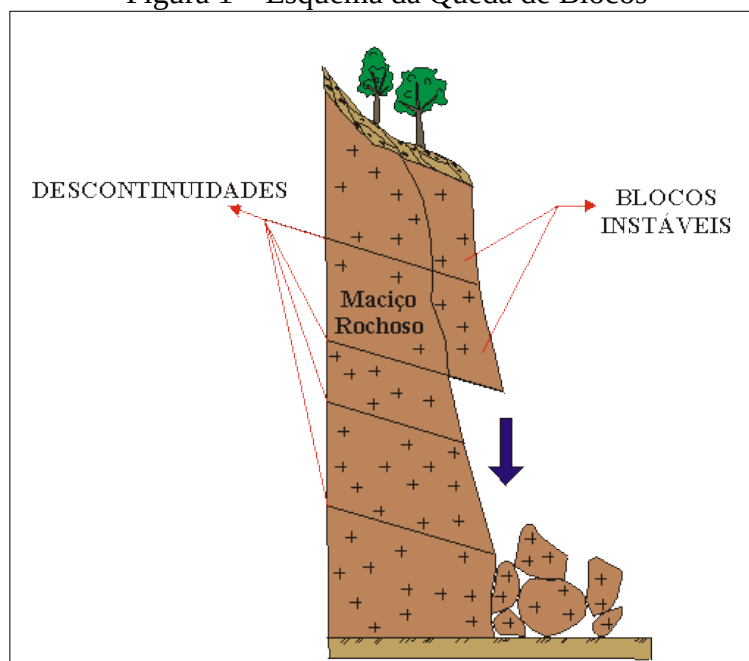
Fonte: Adaptado de Varnes (1978).

Os movimentos são classificados como complexos quando ocorre a combinação de dois ou mais tipos de movimentos (ABGE, 1998).

2.1.1 Quedas

As quedas são os movimentos de massa que ocorrem devido aos destacamentos de materiais rochosos, detritos e/ou massa de solos de volume e litologias diversos, de taludes ou encostas íngremes e deslocam em queda livre. Os blocos e/ou lascas dos maciços rochosos em penhascos ou taludes íngremes, deslocados pelo intemperismo, caem devido à ação da gravidade (Figura 1). Esse movimento pode ocorrer com velocidade rápida à extremamente rápida e podem ou não ocorrer após movimentos de menores proporções, que geram a separação progressiva da porção do maciço (SEVERO, 2005). Além de ser um dos mecanismos para a formação de depósitos de tálus. Diversas causas são responsáveis pelas quedas, tais como: alívio de tensões de origem tectônica, variação térmica do maciço rochoso, alternância de congelamento e degelo nas fraturas e juntas em locais de baixas temperaturas, vibrações, diminuição da sustentação dos blocos devido à ação erosiva da água, desconfinamento lateral do maciço rochoso promovidos por cortes no talude, etc. (GUIDICINI E NIEBLE, 1984).

Figura 1 – Esquema da Queda de Blocos

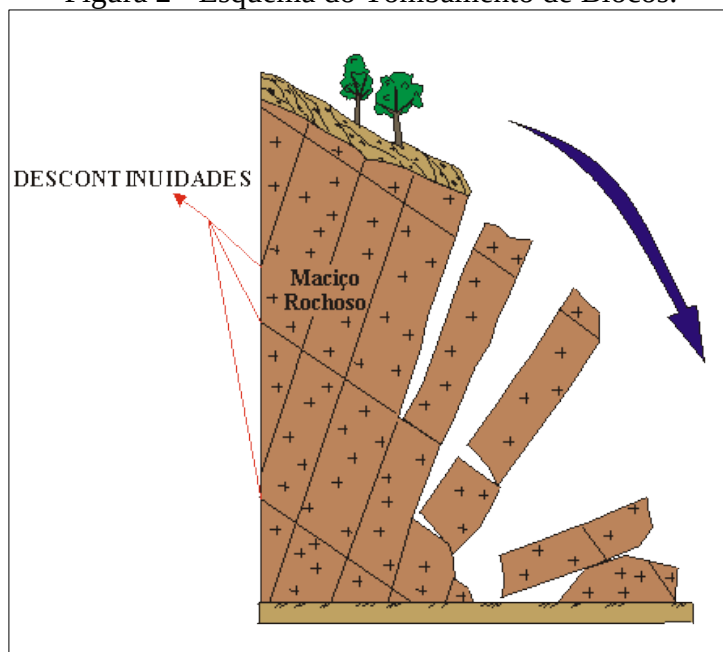


Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) *apud* Peixoto (2022).

2.1.2 Tombamentos

Os tombamentos são movimentos que acontecem pela rotação da massa, condicionado pela presença de estruturas geológicas com grandes mergulhos (Figura 2). Neste mecanismo o material rochoso se desloca abruptamente de encostas íngremes em altas velocidades, a depender da declividade do talude, forma e dimensão do material deslocado. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (BRASIL, 2007) aponta que as principais causas de ocorrência dos tombamentos são descontinuidades litológico-estruturais e a ação do intemperismo físico-químico, que pode ser provocado por eventos chuvosos.

Figura 2 - Esquema do Tombamento de Blocos.



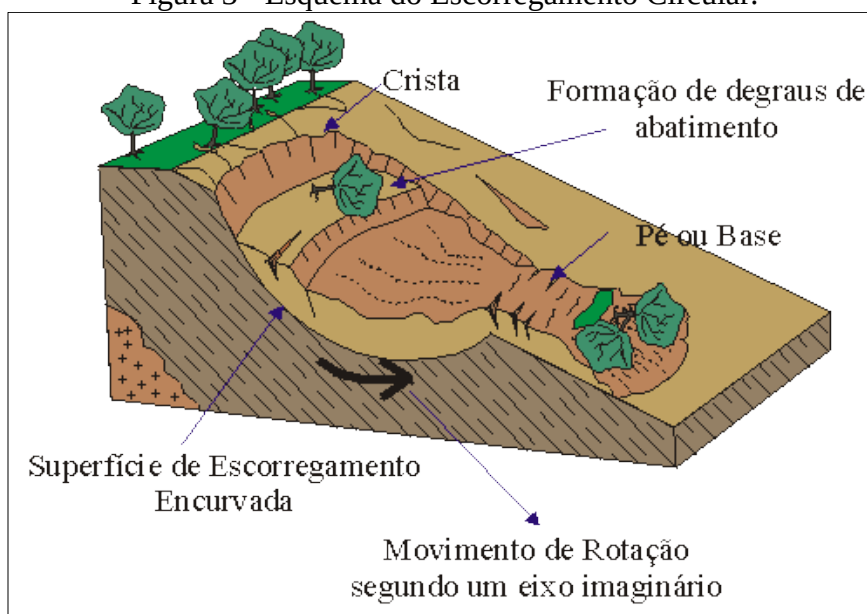
Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) *apud* Peixoto (2022).

2.1.3 Escorregamentos

Os escorregamentos são movimentos rápidos, com duração relativamente curta, normalmente com volume de massa do terreno bem definido, no qual o centro de gravidade se desloca para baixo e para fora da encosta (GUIDICINI E NIEBLE, 1984). De acordo com Terzagui (1967), a velocidade de um escorregamento cresce de praticamente zero à cerca de 0,30 metros por hora, descendo, em sequência, até a estabilidade. O alcance máximo de velocidade desse movimento está relacionado com a inclinação da superfície de escorregamento, a causa inicial de movimentação e com a natureza do terreno.

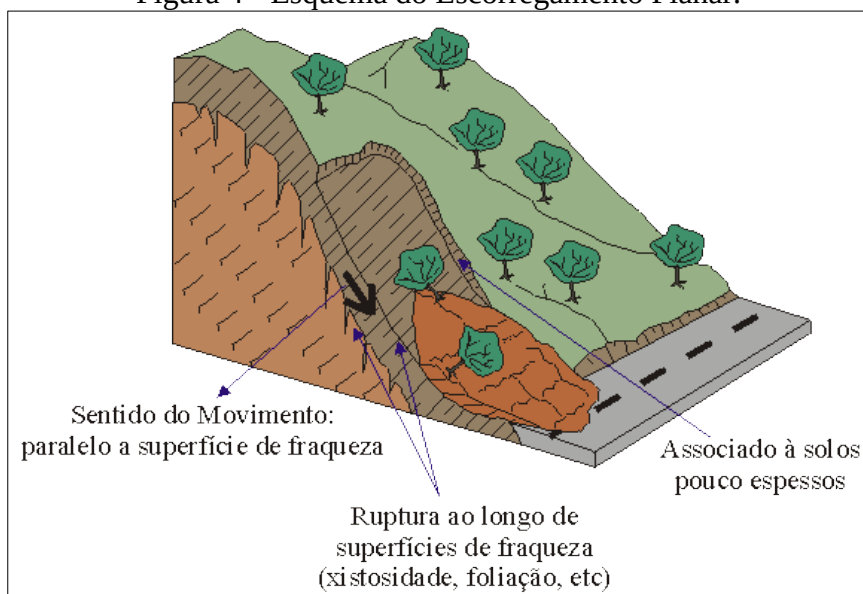
A classificação dos escorregamentos acontece de acordo com a forma do plano de ruptura e com o tipo de material movimentado, podendo ser subdivididos em três tipos: rotacionais (circular), translacionais (planar) e em cunha. Os escorregamentos circulares geram superfície de ruptura curva e é comum que ocorra uma série de rupturas combinadas e sucessivas (Figura 3); já os planares envolvem solos superficiais até o contato com a rocha subjacente, sendo ela alterada ou não (Figura 4). Os escorregamentos em cunha estão associados aos saprólitos e maciços rochosos, onde ocorrem estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, geram o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos (Figura 5). Acontecem, geralmente, em encostas desconfiadas por ação natural ou antrópica (INFANTI JR. e FORNASARI FILHO, 1998).

Figura 3 - Esquema do Escorregamento Circular.



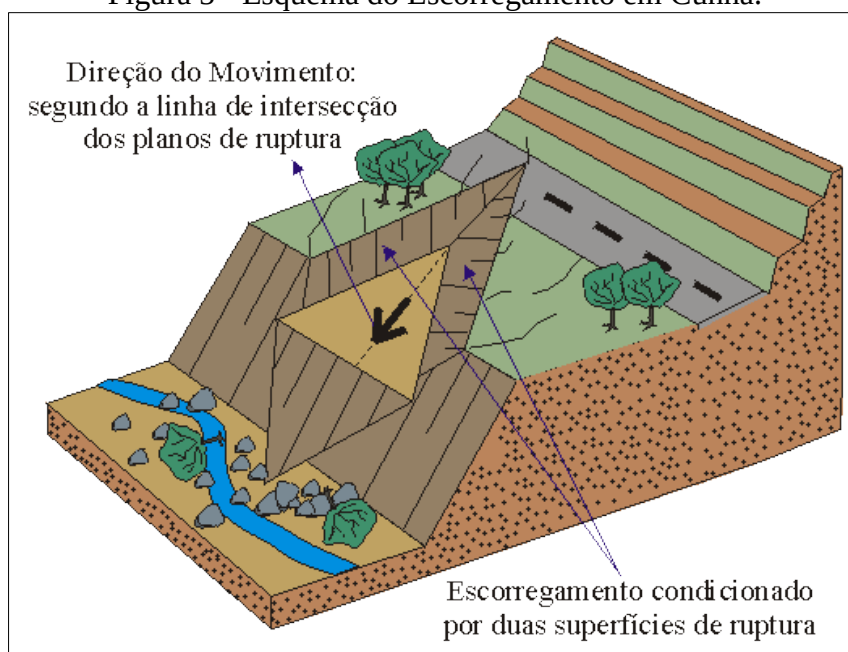
Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) *apud* Peixoto (2022).

Figura 4 - Esquema do Escorregamento Planar.



Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) *apud* Peixoto (2022).

Figura 5 - Esquema do Escorregamento em Cunha.

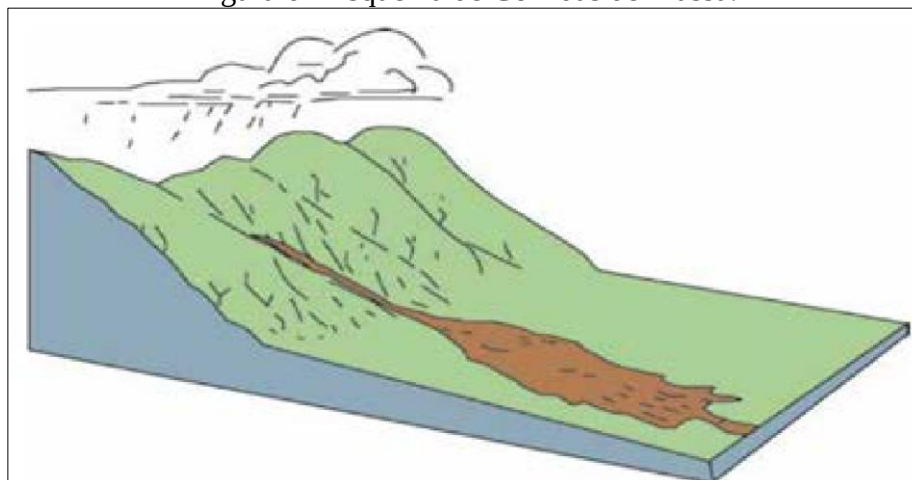


Fonte: Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998) *apud* Peixoto (2022).

2.1.4 Corridas

As corridas são movimentos gravitacionais complexos de massa, relacionados com eventos pluviométricos excepcionais (Figura 6). Acontecem a partir de deslizamentos nas encostas e deslocam grandes volumes de material em um escoamento rápido, ao longo de um ou mais canais de drenagem, com características líquida viscosa e alto potencialidade de transporte (BRASIL, 2007).

Figura 6 - Esquema de Corridas de Massa.



Fonte: Highland (2008) *apud* Riffel, Guasselli e Bressani (2016).

2.2 Erosão Costeira

O processo de erosão costeira é resultado de ações antrópicas (atividades humanas, tais como urbanização, obras de engenharia, drenagens, represamento de rios, etc.) e mudanças ambientais naturais (clima, precipitação, ondas, corrente, vento) que geram um desequilíbrio na dinâmica costeira (balanço de sedimentos, dispersão de sedimento, variações do nível relativo do mar, etc.), por meio do transporte natural de areias, afetando o balanço de sedimentos a longo prazo e culminam no recuo da linha de costa em direção ao continente (SILVA *et al.*, 2020; YE YINCAN *et al.*, 2017).

A problemática da erosão costeira está presente nas linhas de praias de todo o mundo, e é considerada um perigo costeiro, demonstrando assim, ser um foco comum da gestão costeira local e nacional (PIKEY, NELA e BUSH, 2009). As mudanças climáticas também contribuem para a alteração das condições ambientais das zonas costeiras, e consequentemente para o processo de erosão, desta forma identificar os perigos relacionados ao clima nessas regiões é especialmente um desafio nos países em desenvolvimento, onde os dados, a experiência e os recursos econômicos são limitados e as populações costeiras estão crescendo rapidamente (APPELQUIST e BALSTROM, 2014).

Pikey, Neal e Bush (2009) explicam que, no estudo das taxas e mecanismos de erosão, é essencial levar em consideração os distintos tipos de costas separadamente. Sendo assim, para a mitigação dos processos de erosão costeira é de suma importância o entendimento do seu comportamento físico, principalmente em região de praias urbanas

utilizadas com a finalidade turística e recreativa, e onde infraestruturas como hotéis, quiosques e calçadões à beira-mar encontram-se em potencial risco (AMARO *et al.*, 2014).

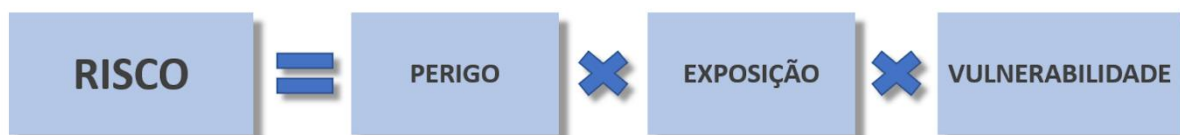
O Sistema Costeiro-Marinheiro, recentemente integrado ao conjunto de biomas brasileiros (IBGE, 2019), tem extrema relevância e consiste em importante desafio para a gestão costeira no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável em relação à diversidade ambiental existente. O litoral oriental do RN, onde está localizado o Município de Tibau do Sul, caracteriza-se por intensas e constantes alteração da morfologia em curtos períodos de tempo, destacando a ocorrência de processos erosivos que colocam em risco edificações da orla do município. Neta área são observadas mudanças da linha de praia em curtos (sazonais), médios (anuais) e longos (décadas) períodos de tempo, definindo trechos marcado pela erosão e outras deposições, normalmente potencializando os riscos aos quais as instalações muito próximas à linha de costa estão sujeitas. A pesquisa realizada por Matos *et al.* (2022) mostra que, entre os anos de 1988 e 2018, em todo o litoral do RN a erosão costeira é evidenciada, sendo mais acentuada na última década, a partir de 2008.

2.3 Classificação de Riscos de Desastres

O conceito de risco é qualificado pela probabilidade da população e seus bens materiais sofram consequências prejudiciais ou perdas (mortes, lesões, danos em propriedades, interrupção de atividade econômica, dentre outros) frente ao impacto de ameaças naturais (terremotos, ciclones, etc.) ou antropogênicas (poluição, explosão, etc.); ou seja, é uma possibilidade de dano (DMIMD, 2021).

De acordo com a Estratégia Internacional das Nações Unidas Para a Redução de Desastres (UNISDR – *Uniter Nations International Strategy for Disaster Reduction*), o risco de desastres pode ser entendido como as potenciais perdas de desastres, em vidas, estado de saúde, meios de subsistências, bens e serviços, que podem ocorrer a uma determinada comunidade ou sociedade ao longo de um determinado tempo futuro (UNISDR, 2009). Sendo assim, o risco a desastre é a consequência da interação entre o perigo desse desastre com as características que tornam as pessoas e lugares vulneráveis e expostos à esses perigos, como mostra a Figura 7 (DMIMS, 2021).

Figura 7 - Definição de Risco de Desastre.



Fonte: DMIMS (2021).

Baseado nesses conceitos e nos métodos preconizados pelo o Ministério das Cidades e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2004 e 2007), em que originalmente foram elaborados para a aplicação no mapeamento de áreas de risco a movimentos de massa e processos hídricos, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM estendeu essa metodologia apresentando uma proposta de setorização de áreas de risco geológico a movimentos de massa, erosões, subsidência, solapamento ou colapso, movimentação de dunas expansão e contração de argilas, conforme orientações apresentadas no Quadro 1. Isso porque apesar de apresentarem diferentes mecanismos de deflagração, esses processos possuem características semelhantes àquelas que os movimentos gravitacionais de massa são associados (LANA *et al.*, 2021).

Quadro 1 – Orientações gerais para Classificação dos Graus de Risco – CPRM.

GRAU DE PROBABILIDADE	DESCRIÇÃO
R1 Baixo	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Não são observados sinais/feições/evidências de instabilidade. não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. 3. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
R2 Médio	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. É observada a presença de sinais/feições/evidências de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipientes processos de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes e reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R3 Alto	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Observa-se a presença significativa de sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.), processo de instabilização em pleno desenvolvimento, mas ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. 3. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.

R4 Muito alto	1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. 2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação a margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude, processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
--	--

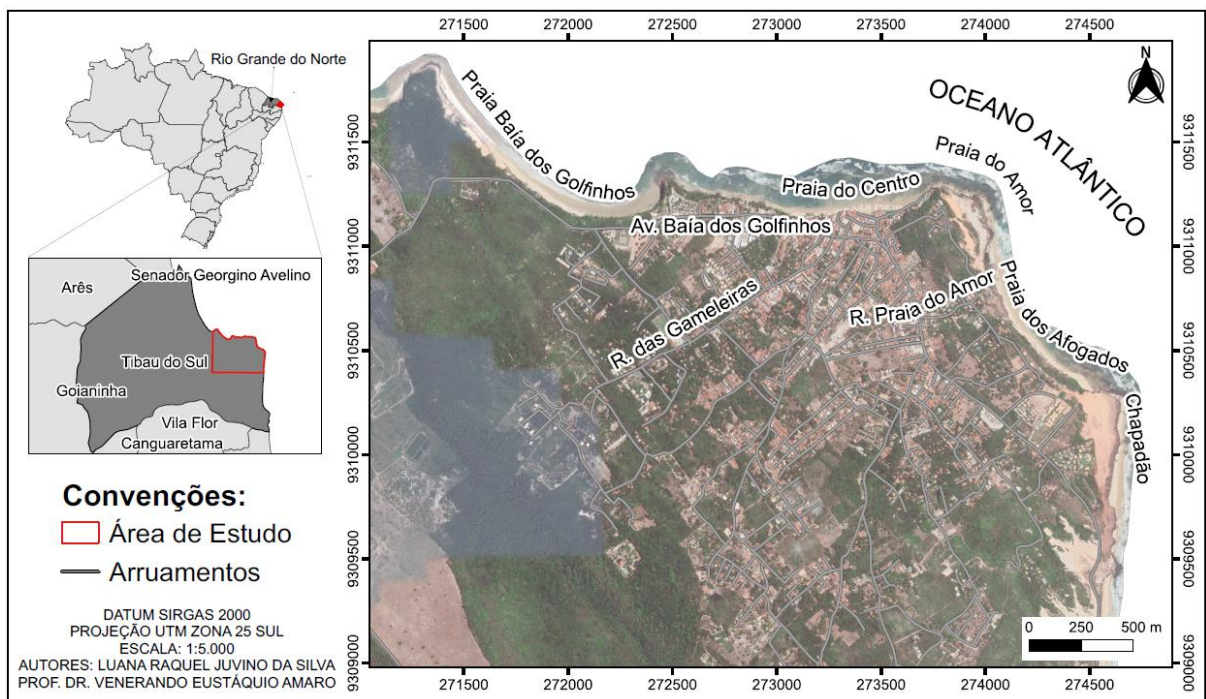
Fonte: Lana *et al.* (2021).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da Área de Estudo

O Município de Tibau do Sul está localizado no litoral oriental sul do RN, distante aproximadamente 60 km de Natal, sua capital. Seu acesso rodoviário se dá por meio da BR-101 entre Natal e Goianinha e da RN-003 até a Praia de Pipa, possui uma área de 102,68 km² e uma linha de costa com cerca de 16 km de extensão. As atividades de mapeamento de risco propostas neste estudo serão realizadas na orla marítima urbana da praia de Pipa, desde o denominado Chapadão de Pipa até parte da Praia da Baía dos Golfinhos (Figura 8).

Figura 8 - Localização do estado do Rio Grande do Norte, o Município de Tibau do Sul e a Praia de Pipa.



Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

3.2 Histórico de Ocupação

As praias arenosas e falésias ativas do Município de Tibau do Sul/RN, especialmente o trecho da Praia de Pipa, possuem estágios distintos de ocupação da faixa litorânea, tendo como marco principal o crescimento das atividades socioeconômicas baseadas na ascensão do turismo local.

Nunes (2014) explica que por muitos anos as principais atividades econômicas do município eram a agricultura e a pesca, realizada na Laguna Guaraíra. Contudo, a partir da década de 1980 e com as problemáticas geradas pelas grandes secas do Nordeste, esses setores passaram declinar. Atualmente, as atividades turísticas são as maiores responsáveis pelas demandas de emprego formal, bem como pelo aumento de investimentos tanto na expansão do setor quanto na implantação de empreendimentos de infraestrutura (SILVA *et al.*, 2019). De acordo com a última avaliação do Ministério do Turismo, a Praia de Pipa é a segunda localidade do RN a ser classificada como de *Categoria A* entre os destinos turísticos brasileiros, categoria esta que somente a capital do estado (Natal) havia alcançado até então.

Com a intensificação das atividades turísticas na região em meados da década de 1980, o Distrito de Pipa e as localidades ao redor sofreram uma rápida urbanização (AIRES, NGUIZARE e CRUZ, 2012). Essas atividades promovem, até os dias de hoje, um fluxo de bens e serviços que colocaram a região numa dinâmica turística com repercussão nacional e internacional.

No ano de 2010, um censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), mostrou que o número de habitantes no município de Tibau do Sul chegava a 11.385. Porém, as estimativas, apontavam um aumento nesse número até o ano de 2020, para 14.440 habitantes; denotando um relativo crescimento populacional na região, no período de dez anos (IBGE, 2017). Esse aumento da população gerou constantes alterações na paisagem no setor mais visado pelas especulações imobiliárias. Cruz (2007) evidencia que a atividade turística pode promover essas alterações nos lugares de acordo com os seus interesses, destacando que a falta de planejamento adequado para os empreendimentos geram problemas tanto no âmbito social, como no ambiental. Essas características são bastante presente nas instalações existentes na área de estudo.

3.3 Infraestrutura

O Município de Tibau do Sul, com o decorrer dos anos, sofreu constantes e indeléveis alterações na paisagem da orla marítima, setor mais requisitado pela especulação imobiliária. Essa mudança de paisagem, segundo Lohmann e Panosso Netto (2008), pode ter como responsável principal a prática do turismo. Araújo (2002) afirma que uma nova configuração espacial do município teve um considerável crescimento nas duas últimas décadas, promovendo mudanças na paisagem da comunidade pesqueira. Um importante incremento ao turismo da região foi a abertura da rodovia “Rota do Sol”, em 1992, que liga a capital Natal, aos municípios do litoral sul do estado (SILVA E OLIVEIRA, 2013).

Com o crescente crescimento populacional, a partir da década de 1990, foram executadas diversas obras para a instalação de saneamento básico e de melhoria das vias de acesso às áreas urbanas e praias de Tibau do Sul, além da mudança de estilo arquitetônico das infraestruturas da antiga vila de pescadores na Praia de Pipa (ARAÚJO, 2002; ALVES, 2018). Esse crescimento ocorreu de forma desordenada e sem planejamento, o que possibilitou o surgimento de diversos problemas de mobilidade. Semelhantemente, foram instalados residências, pousadas, hotéis, áreas de *camping*, *hostels* e condomínios em regiões precárias ou sem infraestrutura básica. Além disso, diversas regiões naturais protegidas também foram ocupadas (Figura 9).

Figura 9 - Destaque (em vermelho) para edificações construídas inadequadamente no topo da falésia, promovendo um acréscimo de carga que pode levar à ruptura da rocha.



Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

O estado do Rio Grande do Norte, assim como todo o Nordeste (NE) brasileiro, recebeu algumas melhorias na infraestrutura básica com recursos do Programa de Desenvolvimento do Turismo no Nordeste (PRODETUR). Neste contexto, visando atender a comunidade turística de Pipa, que se encontrava em processo de expansão, o Município de

Tibau do Sul foi contemplado com a implementação de um aterro sanitário simplificado e provisório, a construção das rodovias Tibau do Sul / Pipa e Pipa / Simbauma, bem como o anel viário, obras essas consideradas de suma importância para o escoamento do fluxo turístico do distrito (LOPES E ALVES, 2015). Entretanto, a maneira como as falésias ativas, os Tabuleiros Costeiros, as praias arenosas e os campos de dunas móveis e fixas vindo sendo utilizados não foram contemplados por algum tipo de planejamento, promovendo os consequentes impactos ambientais, que incluem a alteração da paisagem local, degradação da fauna e da flora, poluição dos recursos hídricos, desmatamento e impermeabilização dos solos. Essas consequências geram e potencializam os movimentos gravitacionais de massa, que ocorrem em vários pontos da orla e em grandes proporções (Figura 10).

Figura 10 - Movimento de Massa das Falésias. Destaque (em vermelho) para um empreendimento construído inadequadamente no topo da falésia, neste mesmo local.



Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

O censo de 2010 (IBGE, 2017) apontou que somente 19,8% dos domicílios de Tibau do Sul apresentam esgotamento sanitário adequados, 32,6% dos domicílios urbanos estão instalados em vias públicas com arborização e 0,9% em vias públicas com urbanização adequada, contendo bueiros, calçadas, pavimentação e meio-fio. Ao comparar com outros municípios do estado, referentes a esses dados, a posição é 80 de 167, 155 de 167 e 112 de

167, respectivamente. O que denota um precário atendimento do município e, principalmente, das áreas urbanizadas com infraestruturas apropriadas, descumprindo assim as legislações específicas à ocupação de áreas protegidas, tanto no âmbito federal como no estadual e no municipal.

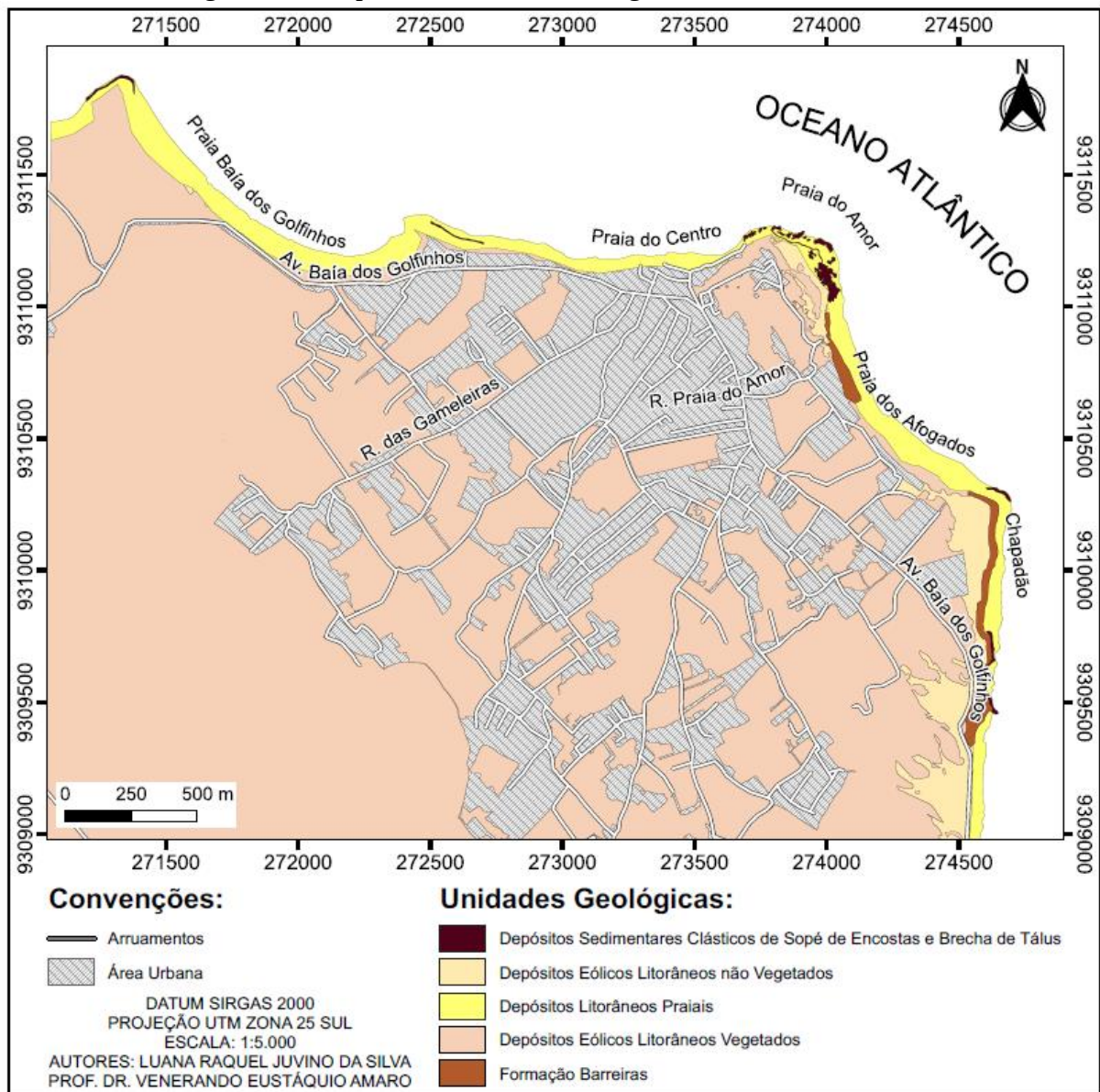
3.4 Contexto Geológico e Geomorfológico

O Município de Tibau do Sul está inserido na Província da Borborema, estratigraficamente desde o embasamento cristalino, em seguida as rochas da Bacia Pernambuco-Paraíba, limitada a norte com a Bacia Potiguar pelo Alto de Touros e a sul, com a Bacia Sergipe-Alagoas, pelo Alto de Maragogi (CÓRDOBA *et al.*, 2007), até o domínio das intercalações de rochas sedimentares da Formação Barreiras, depósitos colúvio-eluvionares, flúvio-lagunares, campos de dunas e praias arenosas, que configuram a paisagem costeira (CPRM, 2005). As praias arenosas se distribuem em trechos retilíneos, frontais às falésias ativas, e em baías parabólicas, com presença de terraços marinhos e arenitos de praia, interceptadas pelas fozes do rio Catu e do Sistema Estuário Lagunar da Guaraíras (SILVA *et al.*, 2003; PIÉRRRI, 2008; SILVA e OLIVEIRA, 2013; CAMARA *et al.*, 2019).

Tibau do Sul se desenvolveu sobre o topo do Tabuleiro Costeiro, por vezes com campos de dunas sobrepostos, e a expansão urbana acarretou vários problemas ambientais e socioeconômicos, pelo desmatamento de mata nativa e por estar sujeito à alta vulnerabilidade de ação da erosão costeira e dos movimentos gravitacionais de massa (PIÉRRRI, 2008). As falésias ativas de topo plano da Formação Barreiras, com alturas que variam entre 20m a 40m, ocorrem ao longo de toda sua extensão do município, com taludes inclinados de 45° a 90° (SILVA *et al.*, 2016; SILVA, *et al.*, 2020).

Na área se destacam os sistemas de campos de dunas e praias arenosas, constituídos por areias quartzosas, que foram depositadas sobre os estratos litológicos da Formação Barreiras, correspondentes aos sedimentos terrígenos, arenitos argilosos com porções de conglomerados, além de apresentar grau variável de oxidação, por diversas vezes com diferentes dimensões de materiais lateríticos e ferruginosos. O Mapa das Unidades Geológicas da Área de Estudo (Figura 11) foi confeccionado a partir de dados prévios e revisitas baseadas em interpretações em imagens de Sensoriamento Remoto, que possibilitaram a identificação das unidades litoestratigráficas presentes na área de estudo, sendo elas: depósitos sedimentares clásticos de sopé de encostas e brecha de tálus, depósitos eólicos litorâneos não vegetados, depósitos litorâneos praias, depósitos eólicos litorâneos vegetados e Formação Barreiras.

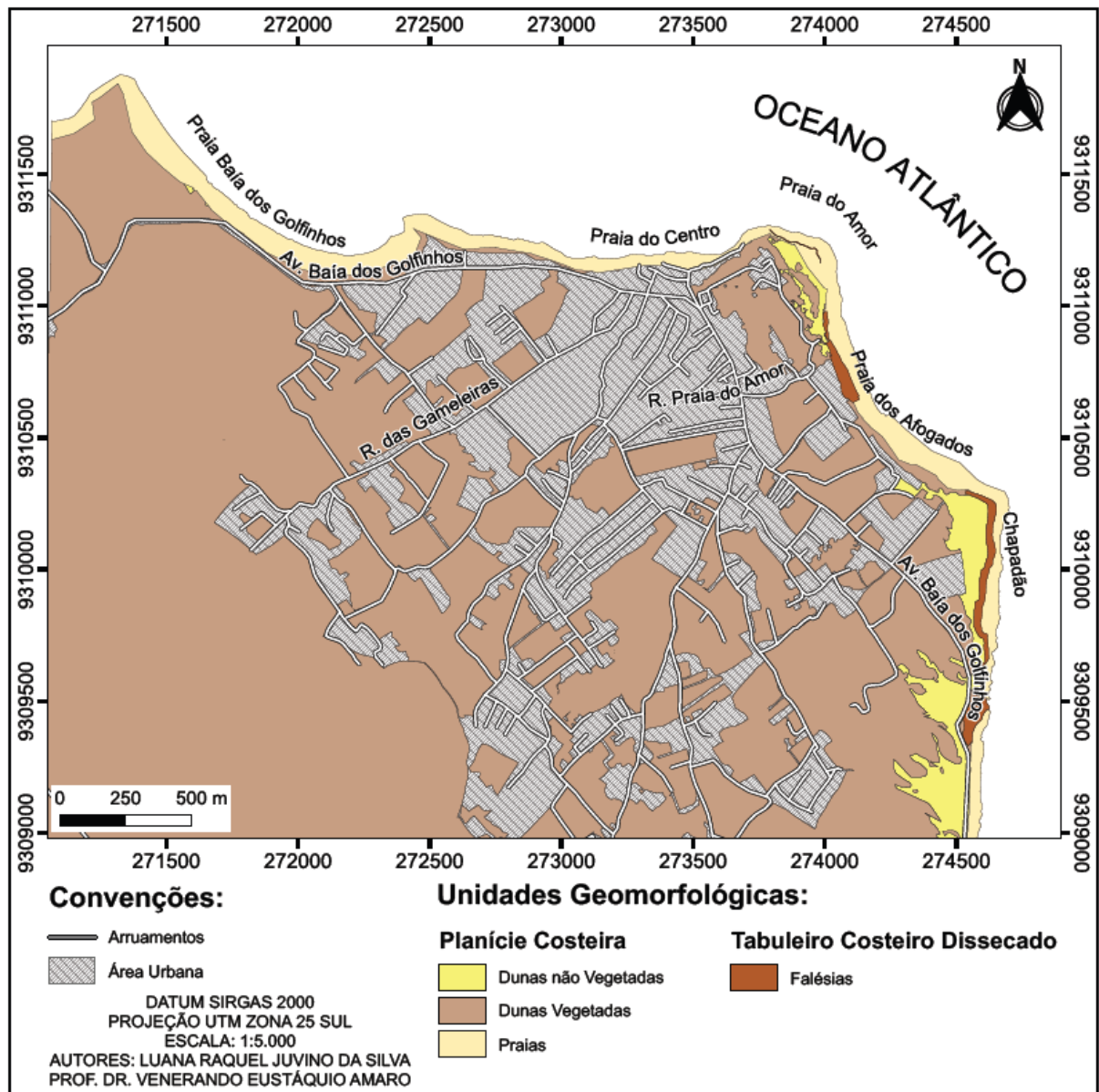
Figura 11 - Mapa das Unidades Geológicas da Área de Estudos.



Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

Em relação aos aspectos geomorfológicos, que destacam as possibilidades dinâmicas e evolutivas da paisagem, de acordo com Diniz *et al.* (2017), o município de Tibau do Sul está subdividido em três unidades morfoesculturais, sendo elas: Planícies Costeiras, Tabuleiros Costeiros Dissecados e Planícies Fluviais do Litoral Oriental. Para complementar as características geomorfológicas de Tibau, Melo (2000) apresenta informações a respeito da unidade geomorfológica Planícies Flúvio-Lagunares, representada pela Laguna de Guaraíra. O Mapa da Figura 12 apresenta as Classes das Unidades Geomorfológicas da Área de Estudo, igualmente confeccionado com base na interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto e visitas a campo.

Figura 12 - Mapa das Unidades Geomorfológicas da Área de Estudo.



Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

3.4.1 Formação Barreiras

A Formação Barreiras foi a primeira unidade estratigráfica documentada no Brasil e se estende ao longo de todo o litoral, desde o estado do Rio de Janeiro até o Amapá no litoral norte. A maior porção do Quaternário costeiro do país se desenvolve sobre este substrato (SEVERO, 2011). Na faixa de costa dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, a presença da Formação Barreiras é identificada devido às características litológicas e do desenvolvimento de sedimentos, provenientes de deposição fluvial de grande extensão (MABESOONE e SILVA, 1991).

Segundo Alheiros e Lima Filho (1991) as rochas sedimentares da Formação Barreiras se originaram pelo depósito em ambiente fluvial entrelaçado, com leque aluviais anastomosados e depósitos litorâneos, associados a incursões marinhas em algumas áreas. Na faixa litorânea do RN, os sedimentos argiloarenosos dessa unidade apresentam coloração variando do vermelho, amarelo até os tons tendendo ao branco, compondo os Tabuleiros Costeiros e as falésias ativas (ALHEIROS e FERREIRA, 1991). Em Tibau do Sul foram identificadas fácies fluviolagunar constituídas de areias quartzo-feldspáticas de cores claras, granulometria de fina a média, intercalando com camadas de argila cinza esverdeadas e matéria orgânica. A ocorrência de níveis de argila e matéria orgânica configura oscilações da linha de costa com a atuação de clima predominantemente árido (ALHEIROS *et al.*, 1988).

Existem controvérsias a respeito da idade da Formação Barreiras, em razão do pouco conteúdo fossilífero. Entretanto, no Rio Grande do Norte tem sido considerada a idade de sedimentação entre o Oligoceno e o Pleistoceno (MABESOONE *et al.*, 1972; SALIM *et al.*, 1975). Configurando os estratos litológicos da Formação Barreiras, é comum a presença de lateritas ferruginosas (Figura 13) que caracterizam um grupo de solos tropicais e subtropicais residuais que apresentam coloração avermelhada e tornam-se rígidos ao serem expostos ao intemperismo aéreo (MITCHELL e COUTINHO, 1991). De acordo com Duchaufour (1982), esses podem ser distinguidos em três fases segundo a intensidade do grau de intemperismo, sendo eles: solos fersialíticos, solos ferruginosos e solos ferralíticos. Os dois últimos são denominados ferrissolos e aludem ao material que normalmente é classificado como arenito ferruginoso ou laterita.

Figura 13 - Arenitos ferruginosos ou lateritas em estratos da Formação Barreiras.



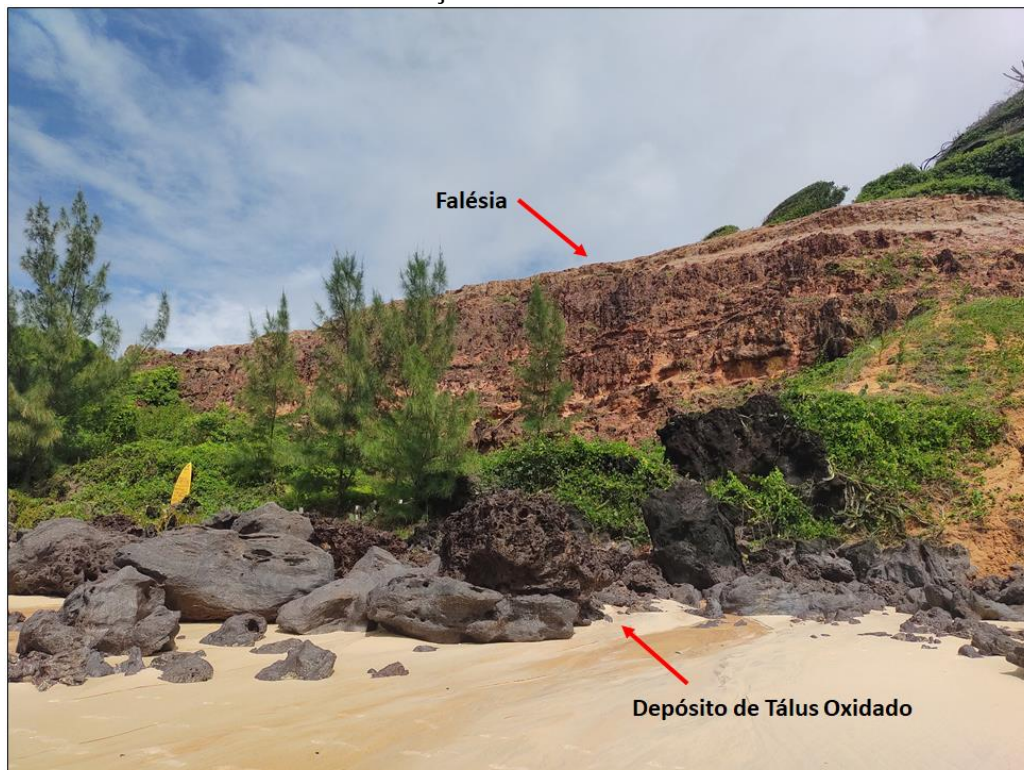
Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

3.4.2 Depósitos Sedimentares Clásticos de Sopé de Encosta e Brecha de Tálus

Na faixa litorânea da área de estudo há a presença de arenitos ferruginosos, provenientes do material desprendido da Formação Barreiras que compunham as escarpas, se depositaram no sopé das falésias e sofreram processo de oxidação. Os depósitos de tálus presentes nas bases das falésias ativas, marcam geralmente os setores de promontórios e outros setores alinhados das falésias com o alcance da energia de ondas e correntes (Figura 14). Saraiva Jr. (2021) explica que esses depósitos são formados devido à ação da erosão continental e marinha atuantes na superfície das escarpas da Formação Barreiras e, pela força da gravidade, de desprendem e se depositam no sopé, passando assim a agir como barreira protetora na redução do impacto promovido pela ação das ondas.

As falésias compostas por rochas com menor resistência demonstram depósitos de tálus com maior desenvolvimento e inclinados em suas vertentes. Quando a base da falésia recebe o impacto direto da ação marinha é comum ocorrer o início do processo de pedogênese nos depósitos de tálus e sobre eles crescer vegetação. Desta forma, a extensão de sopé de encosta tem variação de acordo com a posição da falésia no que tange ao impacto da ação do mar e às litologias dispostas em seu pacote sedimentar.

Figura 14 - Depósito de tálus formado por material desagregado da falésia devido à ação de erosão costeira.



Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

3.4.3 Depósitos Litorâneos Vegetados e Não Vegetados

Os depósitos cenozoicos que ocorrem em faixa paralela à linha de costa são conhecidos como depósitos litorâneos vegetados e não vegetados. Os depósitos eólicos litorâneos vegetados configuram as dunas fixas e são compostos por areias quartzosas, bem selecionados e com coloração que varia do vermelho amarelado ao róseo. Esses depósitos possuem uma cobertura de vegetação e geometria de dunas parabólicas, com sinalização da ação dos ventos no processo de deposição dos sedimentos por meio da indicação de seu sentido. Os depósitos eólicos litorâneos não vegetados, também denominados de depósitos de dunas móveis ou ativas, são constituídos de areias quartzosas, bem selecionadas, de grãos arredondados, granulometria variando de fina a média e com coloração esbranquiçada. Esses depósitos forma dunas com formato e dimensões variados, com predomínio de dunas de geometria do tipo barcana.

3.4.4 Depósitos Litorâneos Praiais

Os depósitos litorâneos praias são compostos em sua maior parte por quartzo com granulometria variando de fina a média. Geralmente, no contato com as falésias ativas é comum a ocorrência de minerais pesados e opacos de coloração escura, se diferenciando dos sedimentos quartzosos esbranquiçados (MOREIRA, 1994).

Intercalados com promontórios da Formação Barreiras e com fozes de rios e estuários, os depósitos praias estão presentes por toda a extensão de faixa litorânea do RN, paralelos à linha de praia, compondo ambientes de lazer, recreação e esportes para a população. Em relação às estruturas, evidenciam-se ondulações dos depósitos arenosos devido à ação das ondas, ventos, correntes e marés. Esse é um ambiente de constante transformação devido aos processos eólicos e marinhos, bem como podem ser observados processos fluviais e tectônicos (NOGUEIRA, 2008).

3.4.5 Tabuleiros Costeiros Dissecados

Os Tabuleiros Costeiros apresentam relevo plano a suavemente ondulado, baixa altitude relativa, variando entre 40 e 120 metros, com possibilidade de alcançar 180 metros, apoiados nos sedimentos da Formação Barreiras. Estão localizados próximos ao litoral, limitando-se pelas área de colinas a oeste e pelas planícies costeiras a leste. Os tabuleiros

possuem uma porcentagem alta de argila e eventualmente entram em contato com o mar, contudo, quando isso acontece formam as falésias (SEVERO, 2011).

De acordo com Pfaltzgraff (2010) os Tabuleiros Costeiros do RN podem ser classificados em dois grupos: uma parte voltada para o litoral leste, em região de Mata Atlântica transicional para o agreste e de clima úmido a semiúmido, e uma parte voltada para o litoral norte, em região de caatinga e de clima semiárido. A parte do litoral oriental constitui o contexto geomorfológico da área, no qual os tabuleiros são embasados em rochas sedimentares pouco litificadas pertencentes ao Grupo Barreiras.

No município de Tibau do Sul, esse tipo de relvo tem altitudes que variam de 20 a 40 metros, com a formação de superfícies planas a suavemente inclinadas no topo (SILVA *et al.*, 2016; SILVA, *et al.*, 2020). Os tabuleiros na porção próxima ao litoral, geralmente estão sobrepostos aos campos de dunas e, ocasionalmente, atingem a linha de costa, formando assim, falésias com alturas de até 15 metros (PFALTZGRAFF, 2010). Em quase todo o litoral do Brasil há a presença de falésias e possuem como característica recorrente a quebra brusca no relevo, devido aos processos erosivos gerados pelo avanço das águas do mar em direção ao continente (CASSIMIRO, 2009). Desta forma, em regiões com a ocorrência de falésias há a presença de processos erosivos. A ação lenta da erosão no tabuleiros até que ocorra um colapso parcial faz com que a falésia seja formada.

A formação das falésias se dá pelo contato das águas oceânicas com uma escarpa, no qual sua base vai sendo escava, surgindo incisões basais, e por consequência ocorre o solapamento do topo, compondo a falésia ativa. Sendo assim, as falésias podem ser definidas como um ressalto sem cobertura vegetal, com declividades acentuadas, de alturas variadas e localizado na linha de contato entre o continente e o oceano (CHRISTOFOLETTI, 1980).

3.4.6 Planícies Costeiras

Segundo Severo (2011) a planície costeira é constituída por praias arenosas e são limitadas pelo mar e pelos Tabuleiros Costeiros, configurando terrenos planos que vêm sofrendo alterações pela presença de dunas. Além das dunas de areias quartzosas sob os tabuleiros, há também, a ocorrência de outro grupo de arenito de geometria linear que são cimentados por carbonatos e estão presentes ao longo de determinados trechos, seguindo um alinhamento praticamente paralelo à linha de costa.

Caracterizada por ser um relevo rebaixado e plano, cobrindo uma estreita, mas extensa, área ao longo do litoral potiguar, esta unidade é composta por sedimentos de diversas origens, apresentando um conjunto diversificado de padrões de feições de origem eólica,

marinha e fluvial, no qual se destacam os campos de dunas e as praias arenosas (PFALTZGRAFF, 2010). Esse conjunto resulta em uma exuberante paisagem do litoral do RN, com uma expressiva ocupação dos campos de dunas sobrepostos às falésias do Grupo Barreiras, sobre tudo no trecho entre Tibau do Sul e Touros, no qual é comum a instalação dessas acumulações eólicas (Figura 15).

Figura 15 - Dunas Vegetadas sobrepostas à falésia na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

As dunas costeiras são geradas pela deposição eólica de partículas sedimentares, apresentando uma feição isolada ou extensos paredões de dunas (MOURA *et al.*, 2006). A formação de dunas costeiras se dá devido a existência de determinados fatores, tais como: sedimentos provenientes das praias arenosas; ventos contínuos em altas velocidades; vegetação, que contribui para a deposição e retenção dos sedimentos transportados pelo vento. Assim, é preciso a concorrência de ventos com velocidades capazes de deslocar partículas sedimentares em significativas quantidades, em regiões com a presença de material arenoso para servir de suprimento aos campos dunares (CARVALHO, 1994). Trata-se de feições em constante alteração na zona litorânea, justamente pela ação dos ventos e das ondas, que promovem esse transporte e troca de sedimentos entre os componentes do sistema costeiro.

As dunas são classificadas como móveis e fixas: as móveis não possuem uma cobertura vegetal densa, podendo apresentar apenas vegetação de pequeno porte, como

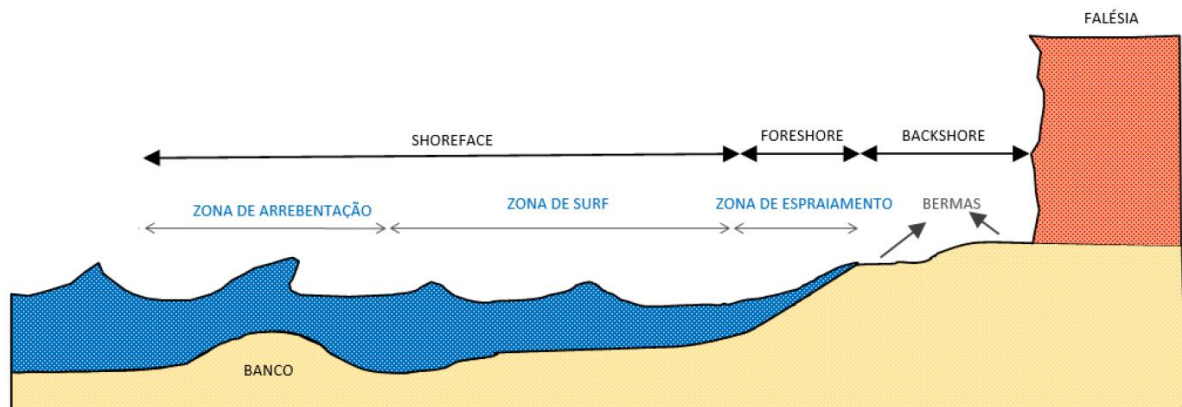
restinga, por isso são transportadas de acordo com a intensidade dos ventos; já as dunas fixas apresentam vegetação arbóreo-arbustiva, que impedem seu transporte.

Os campos dunares são grandes responsáveis pela alimentação dos aquíferos costeiros, já que armazenam água subterrânea, que abastecem os corpos hídricos da região através dos processos de percolação e ressurgência (MOURA *et al.*, 2006).

Outro componente da Planície Costeira é a zona de praia que, devido a atuação do mar sobre a costa, é caracterizado por sua intensa dinâmica. Segundo Suguio (1992), a praia é limitada na parte oceânica pelo ponto em que as ondas começam a interagir com o substrato marinho e na parte continental pela linha de vegetação permanente ou pelo início de alterações fisiográficas, como dunas ou falésias.

Reading e Collinson (1996) explicam que as feições distinguidas, primeiramente, pela posição da base de ondas de tempestades e de bom tempo e dos níveis de maré baixa e alta, e em sequência, pela natureza da transformação da onda. Muehe (1998) divide o perfil de praia em: pós-praia (*backshore*), estirâncio ou praia (*foreshore*) e antepraia (*shoreface*), como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Divisão do Ambiente de Praia.



Fonte: Dantas, 2021.

O setor de pós-praia (*backshore*) é a região que não entra em contato com as ondas e marés e normalmente apresenta vegetação, estirâncio ou praia (*foreshore*) é a zona que está submetida ao contato direto com as ondas e marés, e antepraia (*shoreface*) é o espaço onde acontece a interação entre as ondas e o fundo do oceano.

O litoral oriental potiguar é caracterizado pela presença de uma sequência de praias parabólicas, comumente denominadas de baías em forma de anzol ou *zeta*, devido à semelhança com a forma dessa letra grega (ζ). A evolução desse tipo de morfologia representa os padrões de refração e difração de ondas diferenciadas, ocorridas,

essencialmente, da direção leste e sudeste, e incidem nas rochas da Formação Barreiras (DINIZ, 1998; AMARAL, 2000). Em Tibau do Sul a presença dessa configuração de praia em forma de zeta é marcante em virtude dos efeitos da neotectônica, com maior incidência, que gerou o arcabouço estrutural do tipo *graben* e *horst* (DINIZ, 1998).

3.4.7 Planícies Fluviais do Litoral Oriental

Essa subunidade é caracterizada por ser uma área plana ou com suaves ondulações, que encontra-se sujeita a inundações constantes nas margens dos rios. Em geral, estão localizadas em regiões de baixas altitudes, podem gerar terraços, além de ser possível a ocorrência de meandros abandonados, cordões arenosos e granulometria variada de fina a grossa. Na área de estudo, essa geomorfologia é configurada pelo Rio Catú.

De acordo com o Diagnóstico do município de Tibau do Sul/RN, desenvolvido pela CPRM (2005), o município possui 44,28% do seu território inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Catu, 36,60% nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Jacu e 19,12% nos domínios da Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso. A lagoa das Guaraíras é o principal corpo de acumulação de água, enquanto os Rios Catu e Piau são os principais tributários. O padrão de drenagem na região é o dendrítico e os cursos d'água possuem regime intermitente. Açudes com capacidade de acumulação igual ou superior a 100.000 m³ não se destacam na região.

3.4.8 Planícies Flúvio-Lagunares

Assim como as planícies fluviais do litoral oriental, as planícies flúvio-lagunares configuram áreas planas com possibilidade de suaves ondulações, frequentemente localizada em regiões de baixas altitudes e com o predomínio de deposições sedimentares provenientes da interação continental e marinha, regularmente acontecendo em faixas costeiras integradas com planícies marinhas, eólicas e flúvio-marinhas. Essa planície é formada por massas de água posicionadas em zonas litorâneas que são isoladas do mar por meio de uma barreira natural. No litoral do RN existe uma diversidade de lagoas costeiras, com evidência para o complexo da lagunar das Guaraíras, localizado em Tibau do Sul e pertencente à região de estuário do rios Trairí e Jacu (MELO, 2000).

3.5 Características Fisiográficas

A zona costeira é o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais e abrangendo as faixas marítima e terrestre, que promovem uma intensa dinâmica morfológica. Estes processos naturais, marítimos e continentais, bem como as ações antrópicas são determinantes para as análises de estabilidade de falésias aos potenciais movimentos gravitacionais de massas ocasionados devido aos processos erosivos (MATOS *et al.*, 2020). A contribuição dos processos naturais está relacionada aos sistemas climáticos nas diferentes escalas (global, regional e local), à existência de cobertura vegetal, às energias hidrodinâmicas (ventos, ondas, marés e correntes). Assim, a seguir estão apresentados esses conceitos e suas contextualização na área de estudo, para que fomentem as interpretações evidenciadas nesta pesquisa.

3.5.1 Clima

Alvares *et al.* (2013) revisaram a classificação de clima de Köppen para o Brasil e o litoral oriental potiguar está na zona de clima tropical do tipo As, com verão seco e inverno chuvoso, com precipitação anual acumulada superior a 700mm, concentradas entre os meses de maio e junho, temperatura média anual de 26°C e umidade relativa anual de 74%. Entretanto, a região está sob a atuação dos ventos alísios de leste e sudeste, cuja confluência em baixos níveis está associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Além disso, recebe o efeito do sistema anticiclônico permanente de alta pressão atmosférica conhecido como a Alta Pressão do Atlântico Sul (APAS) e dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), que são perturbações nos ventos equatoriais de leste que se destacam pela atuação sobre os eventos extremos de precipitação.

3.5.2 Cobertura Vegetacional

A área de estudo está inserida no bioma Mata Atlântica, que se divide, nessa parte do território, em Floresta Estacional Semidecidual e em Restingas Arbustivas e Herbáceas, isto é, Floresta Esclerófila. As atividades de carcinicultura, a prática canavieira e a ocupação urbana no distrito de Pipa são os principais responsáveis pelos expressivos desmatamentos que degradam os núcleos de Mata Atlântica restantes na região (PEREIRA, 2013).

A cobertura vegetal de Tibau do Sul é caracterizada por vegetação de restinga recobrando as dunas e por vegetação de restinga mais densa nos sopés das falésias e, eventualmente, na borda e face (Figura 17). Essa vegetação mais densa ocorre devido ao

acúmulo de água de chuva que infiltra nessa região (PIÉRRRI, 2008). Nas dunas que sobrepõem dos tabuleiros ocorre a vegetação arbustiva de pequeno porte e também porções remanescentes da Mata Atlântica, com espécies de cerrado e caatinga.

Figura 17 - Cobertura Vegetal de Restinga em Tibau do Sul.



Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

A ausência de vegetação recobrindo os Tabuleiros Costeiros, como acontece nas praias do Amor e Afogados (Figura 18), favorece a ação dos processos erosivos, principalmente os gerados por erosão pluvial (SCUDELARI *et al.*, 2005). A quantidade e o tipo de cobertura vegetal estabelece o nível de proteção contra o impacto e retirada de partículas de solo por meio do escoamento superficial, isso porque a existência de vegetação potencializa a estabilidade do talude através do reforço gerado pelas raízes e pela redistribuição de água, minimizando a infiltração no solo (IPT, 1991).

Figura 18 - Ausência de Cobertura Vegetal nos Tabuleiros Costeiros da Praia do Amor.



Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

3.5.3 Forçantes Hidrodinâmicas

3.5.3.1 Ondas

Nesta área se destaca, também, o domínio das ondas de sudeste, acompanhando as principais orientações dos ventos alísios, que são responsáveis pela deriva litorânea no sentido predominante de sul-norte no decorrer de quase todo o ano. Pesquisas com modelagem numérica para ondas no litoral oriental potiguar e o regime climático, revelam um padrão de ventos e ondas aproximadamente unidirecionais, derivados do quadrante ESE (MATOS *et al.*, 2020). As ondas com maior energia e que alcançam a plataforma continental, com alturas significativas médias variando entre 1,38 e 1,50 metros, com previsões de altura significativas de até 2,90 metros, recebem interferências da morfologia do substrato marinho, essencialmente, pelas formas do fundo e pela presença de barreiras naturais (recifes de corais) ou artificiais, com as obras de proteção costeira contra a ação de ondas e marés (FIRMINO E BULHÕES, 2020; PINHEIRO *et al.*, 2017).

3.5.3.2 Marés

O regime de marés predominante no litoral potiguar é de mesomarés semidiurnas com alturas máximas entre 2,5 e 3,3 metros nas marés de quadratura e sizígia respectivamente (SILVA *et al.*, 2020; VITAL *et al.*, 2008).

3.5.3.3 Correntes Marítimas

A corrente marítima atuante no litoral oriental do RN é a Subcorrente Norte do Brasil (SNB), que é um ramo da Corrente Sul Equatorial e atinge velocidades por volta de 0,9 m/s nas proximidades do equador. As correntes de deriva litorânea na plataforma continental rasa promovem os importantes transportes de sedimentos de Sul para Norte paralelo à linha de praia e atingem velocidades médias entre 0,5 e 0,8 m/s (AMARO *et al.*, 2014; MATOS *et al.*, 2020).

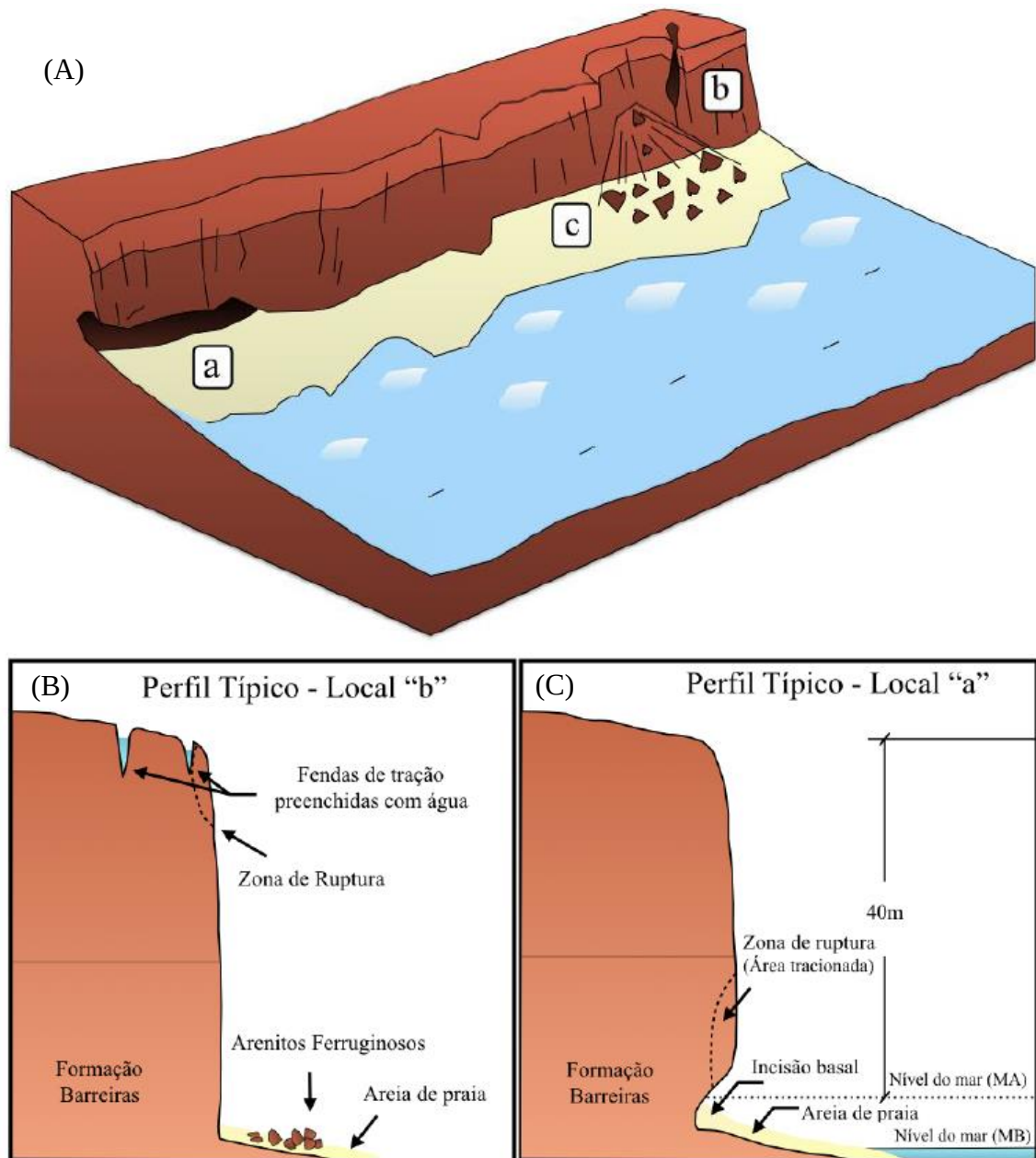
3.5.3.4 Ventos

A região está sob a atuação dos ventos alísios de leste e sudeste, cuja confluência em baixos níveis está associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Além disso, recebe o efeito do sistema anticiclônico permanente de alta pressão atmosférica conhecido como a Alta Pressão do Atlântico Sul (APAS) e dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), que são perturbações nos ventos equatoriais de leste que se destacam pela atuação sobre os eventos extremos de precipitação.

3.6 Movimentos Gravitacionais de Massa

Silva *et al.* (2020) explicam que processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa estão associados, principalmente, com as fortes chuvas e as ações diretas das ondas na base das falésias (Figura 19). As quedas são os movimentos de massa mais comuns na região, e podem ser observados devido ao acúmulo de sedimentos (tálus) na base das falésias (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2020).

Figura 19 - Perfis Típicos; (A) Esquema do processo de erosão basal na falésia; (B) Formação de fendas de tração devido à ação da chuva; (C) Movimento gravitacional de massa e acúmulo de tálus na base da falésia.



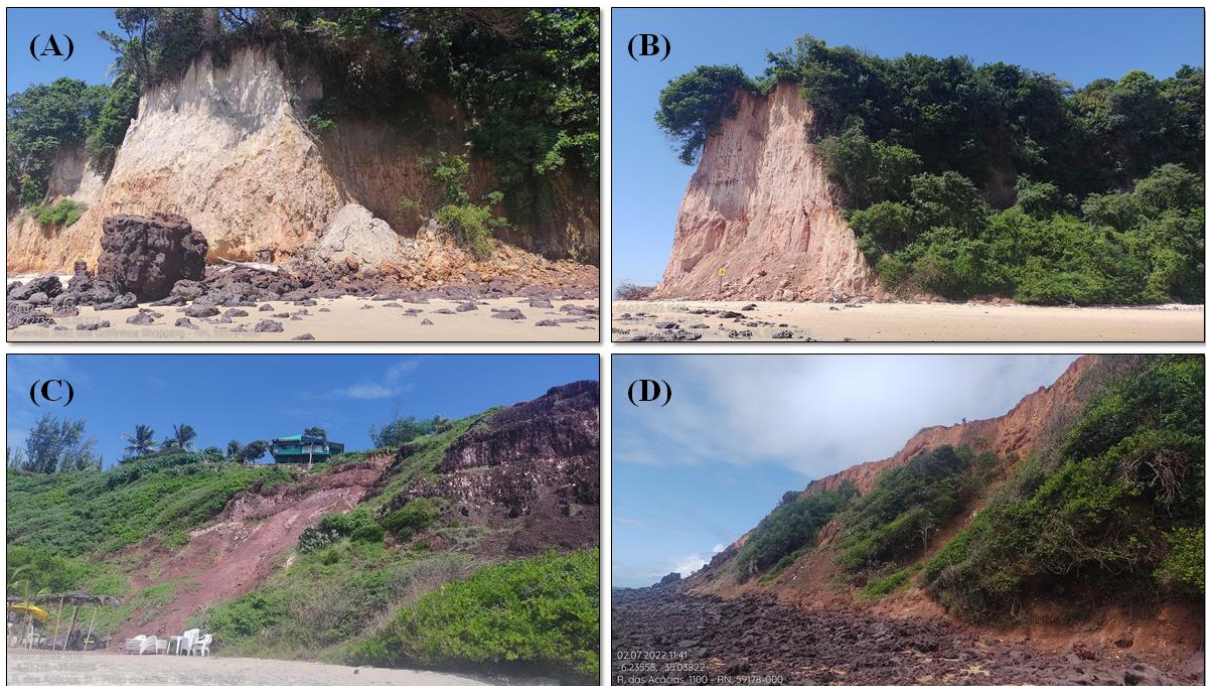
Fonte: Silva *et al.* (2020).

Em algumas regiões os blocos de arenitos com cimentação ferruginosa que se desprenderam da parte superior estão na base das falésias e formam barreira de proteção à ação direta das ondas. Já em outros setores pode-se observar a existência de escavações na base da falésia, provocando o solapamento da parte superior (SILVA *et al.*, 2020).

O movimentos gravitacionais de massa estão presentes em praticamente toda a extensão da área de estudo (Figura 20), tanto em áreas nas quais foram instaladas infraestruturas no topo das falésias, como em área sem essas instalações. Assim, está evidente

a ação de processos erosivos continentais, onde os movimentos ocorrem devido à sobrecarga gerada pela edificação construída sobre os substratos instáveis das falésias, e marinhos, sob a ação direta das ondas do mar que provocam o solapamento da base das falésias e por gravidade há o desprendimento da massa do corpo da falésia. Ressalta-se que em diversos trechos a queda dos blocos promove o acúmulo de tálus no sopé da falésia, que acabar por se tornar uma barreira natural em relação a ação das ondas naquele local.

Figura 20 - Movimentos Gravitacionais de Massa na Área de Estudo; (A) Praia do Centro; (B) Praia Baía dos Golfinhos; (C) Praia do Amor; (D) Chapadão de Pipa.



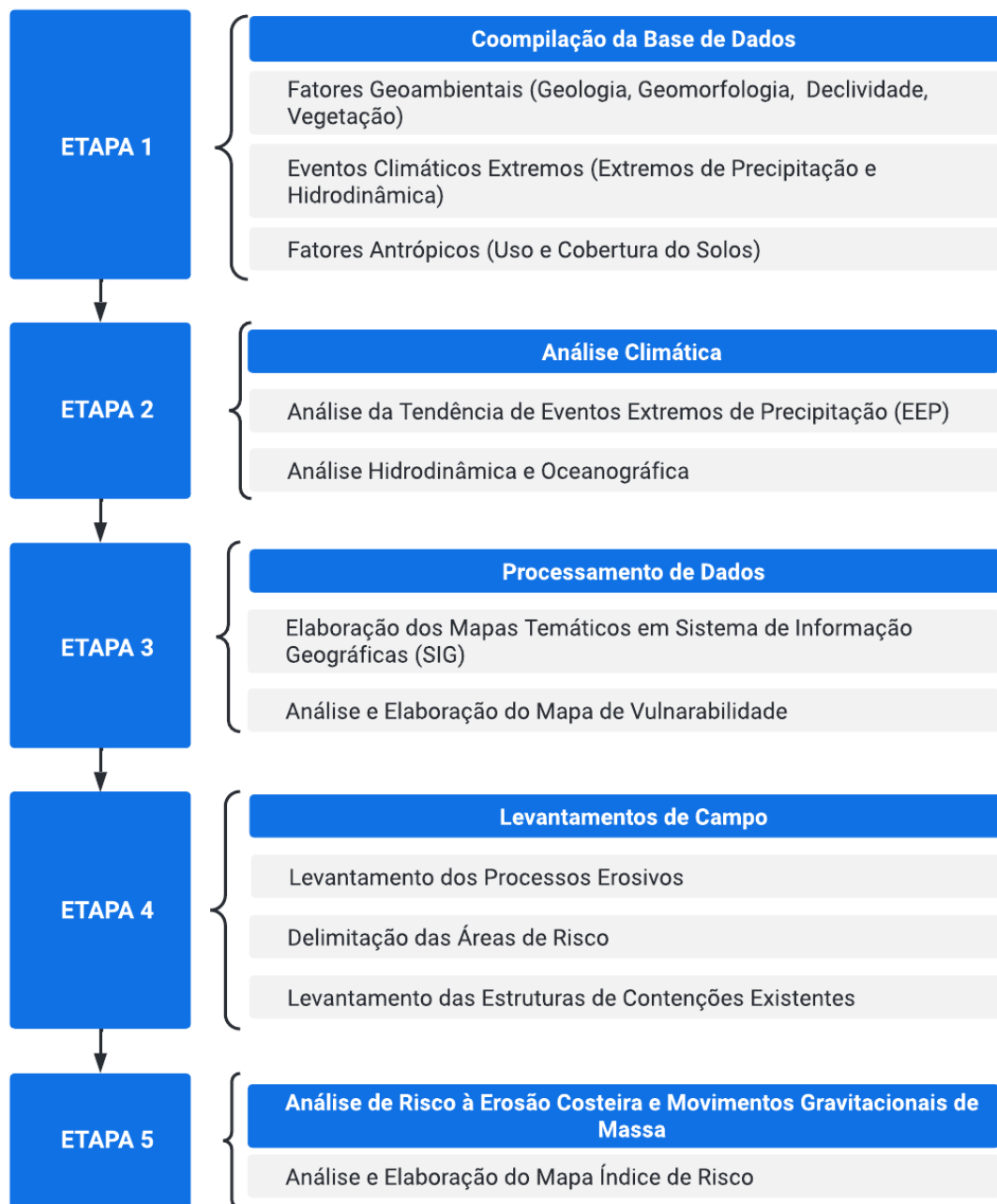
Fonte: Elaborado pelo autora (2022).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Na análise e elaboração do mapa índice de risco aos processos de erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa nas falésias da Praia de Pipa/RN, a metodologia proposta foi baseada nas seguintes etapas (Figura 21):

- i) Aquisição da base de dados em repositórios públicos, referentes aos dados de geologia, geomorfologia, vegetação, uso e cobertura do solo, altimetria, precipitação e hidrodinâmica;
- ii) Análise da tendência de eventos extremos de precipitação e análise hidrodinâmica e oceanográficas;
- iii) Processamento dos dados espaciais por meio da elaboração dos mapas temáticos em Sistema de Informação Geográfica (SIG), através do *software* QGIS; análise e elaboração de Mapa de Vulnerabilidade Ambiental;
- iv) Levantamento de campo para validação dos mapas temáticos, levantamento dos processos erosivos e das estruturas de contenção existentes, observação dos pontos de alagamento e averiguação de áreas delimitadas como de Risco 3 (alto) e Risco 4 (muito alto);
- v) Análise e elaboração de Mapa Índice de Risco à Erosão Costeira e Movimentos Gravitacionais de Massa e do Mapa de Evolução Costeira da Praia de Pipa/RN.

Figura 21 - Fluxograma das Etapas Metodológicas.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.1 Compilação da Base de Dados

O início da pesquisa se deu por meio da compilação bibliográfica e cartográfica prévia de dados; seleção de imagens de Sensoriamento Remoto do ano de 2021 do sensor WPM do satélite CBRES-04A (<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>), altimétricos do ASTER-PALSAR e da base de dados do MapBiomass

(<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>) e *Google Earth*; e, construção da base de dados espaciais e alfanuméricos em ambiente SIG.

Devido à disponibilidade de mapas temáticos atualizados da região da área de estudo em repositórios de instituições públicas e de pesquisas, foram utilizados as seguintes bases cartográficas: o mapa de geologia, em escala 1:100.000, foram obtidos na base do Serviço Geológico Brasileiro—Companhia de Pesquisa e de Recursos Minerais ((SGB-CPRM); o de geomorfologia, em escala 1:250.000, no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); o de vegetação, também em escala 1:250.000, no Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas). Os mapas temáticos foram processados em SIG, por meio do *software* de código aberto QGIS 3.16.5 *with* GRASS 7.8.5, em escala 1:5.000. Essa escala foi utilizada por ser considerada a mais apropriada em mapas para suporte às estratégias de tomadas de decisões municipais, diante da dimensão geográfica da área de estudo.

As fontes das bases de dados originais dos mapas temáticos em repositório públicos oficiais estão relacionadas na Tabela 2. Desta forma, na segunda etapa, tendo os mapas realizados previamente como base, novos mapas temáticos foram elaborados incluindo a atualização de informações baseadas em imagens de satélites mais recentes e geoprocessadas para a reinterpretação das classes temáticas e apoio aos levantamentos de campo com o objetivo de validação dos dados e adequação à escala 1:5.000.

Tabela 2 - Fontes das bases de dados digitais de repositórios públicos.

Mapas Base	
Unidades da Federação	Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Malha geométrica dos limites estaduais e municipais.
Municipais	
Mapas Temáticos	
Mapa de Geologia	Fonte: Dados vetoriais do Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (SGB-CPRM).
Mapa de Geomorfologia	Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Malha geométrica dos limites estaduais e municipais.
Mapa de Vegetação	Fonte: Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas).
Mapa de Uso e Cobertura do Solo	Fonte: Imagem de Sensoriamento Remoto submetida a Classificação Supervisionada
Mapa de Extremos de Precipitação	Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). Dados de precipitação diária e mensal.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.2 Análise de Dados Climáticos e Oceanográficos

4.2.1 Variabilidade dos Eventos Extremos de Precipitação

A metodologia aplicada por Amorim *et al.* (2019), para a análise da variabilidade dos extremos de precipitação, foi utilizada para a verificação da frequência de eventos extremos de precipitação diária, na microrregião de Natal e na microrregião do Litoral Sul, onde está localizado o Município de Tibau do Sul.

Foram coletados, nos repositórios do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), dados de precipitação nas escalas diária e mensal. As estações e bases, com suas respectivas localização e altitude estão relacionadas na Tabela 3. A Organização Mundial de Meteorologia (OMM), representada no Brasil pelo INMET, define médias de dados climatológicos calculadas para um período mínimo de 30 anos, desta forma a climatologia de precipitação foi obtida para os anos de 1980 e 2020.

Tabela 3 - Relação das bases-estações de coleta dos dados de precipitação.

Base-Estação	Microrregião	Município	Latitude	Longitude
INMET - UFRN	Natal	Natal	-5,83722221	-35,20777777
EMPARN - DESTILARIA VALE VERDE	Litoral Sul	Baía Formosa	-6,4	-35,05
EMPARN - PREFEITURA	Litoral Sul	Espírito Santo	-6,3333	-35,3167

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Foi identificado o limiar (u) para um EEP diário de cada uma das estações meteorológicas relacionadas na Tabela 3. A técnica dos *quantis* de Wilks (2006) é comumente aplicada para estudos de EEP (AMORIM *et al.*, 2019), que de maneira geral são identificados por meio dos percentis 90, 95 ou 99. Neste estudo, os eventos de chuva (precipitação diária a partir de 0,1mm) foram organizados em ordem crescente, e de acordo com o percentil da distribuição da precipitação de cada estação meteorológica foram considerados EEP aqueles com precipitação acima do percentil 98 (EEP98), que exibiu um ajuste adequado a uma Distribuição Generalizada de Pareto (GPD) para o período de análise proposto.

Para a análise de tendência linear foram aplicados o teste não-paramétricos os testes *Mann-Kendall* (MANN, 1945; KENDALL, 1975), que é considerado um método apropriado o estudo de mudanças climáticas. Também foi aplicado o teste de frequência e intensidades dos EEP anual e quadra chuvosa. O teste *Pettit* (PETTIT, 1979), geralmente usado para

detectar um montante único de mudanças em séries climáticas, foi utilizado para identificar possíveis quebras ao longo da série de eventos extremos de precipitação.

4.2.2 Análise Hidrodinâmica e Oceanográfica

Para a análise referente aos processos hidrodinâmicos que atingem a costa de Tibau do Sul foi aplicado o Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC - Brasil), de acordo com a metodologia apresentada por Camus *et al.* (2013) de reanálise de ondas *Downscaling Ocean Waves* (DOW). O DOW integra métodos de assimilação, interpolação e tratamento estatístico de dados da reanálise *Wavewatch III* do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dos Estados Unidos, com resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. No Brasil, diversos estudos costeiros, sobretudo na região nordeste, têm utilizado a base de dados do SMC-Brasil como fonte de informações oceanográficas de longo prazo (PINHEIRO *et al.*, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016).

Na caracterização do regime de ondas do Município de Tibau do Sul foram analisados 04 pontos DOW em profundidades variáveis, conforme a metodologia de Almeida *et al.* (2015). Os pontos foram gerados pelo cálculo no módulo de Análise Matemática e Estatística de Variáveis Ambientais (AMEVA) do SMC-Brasil (Tabela 4, Figura 22). Um dos pontos foi escolhido para representar as condições iniciais e de contorno da propagação de ondas até a linha de costa, através da comparação das tabelas de probabilidade de H_s e T_p .

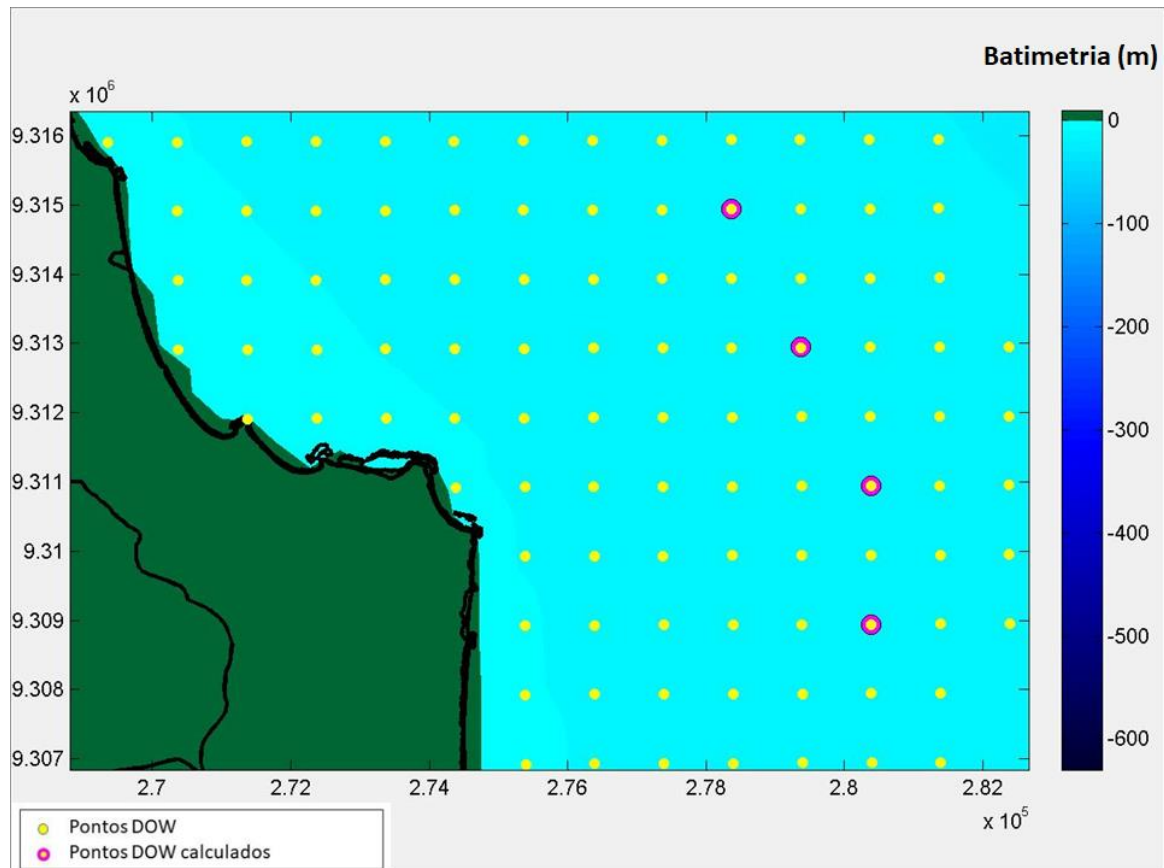
Tabela 4 - Descrição geográfica dos pontos DOW.

Ponto DOW	Coordenadas mN*	Coordenadas mE*	Profundidade (m)**
P01	9.314.937	278.363	15,859
P02	9.312.941	279.371	16,088
P03	9.310.945	280.379	15,582
P04	9.308.945	280.386	16,364

*Projeção UTM, Datum SIRGAS 2000, zona 25S. **Em nível de redução referente à Carta Náutica nº810 da Marinha do Brasil

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 22 - Mapa de Localização dos pontos DOW analisados para caracterizar o regime de ondas ao largo da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.3 Elaboração de Mapas Temáticos em Sistemas de Informações Geográficas

A elaboração dos mapas temáticos (geologia, geomorfologia, uso e ocupação, vegetação e declividade) se deu por meio do levantamento cartográfico prévio nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, em repositórios de instituições públicas e de pesquisas (Tabela 1). Os mapas foram readequados para a escala 1:5.000 de acordo com cada base cartográfica, considerando os dados coletados em campo e imagens de satélite, com o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas do ano 2000 (*datum* SIRGAS 2000) e o Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona 25 Sul, em ambiente SIG.

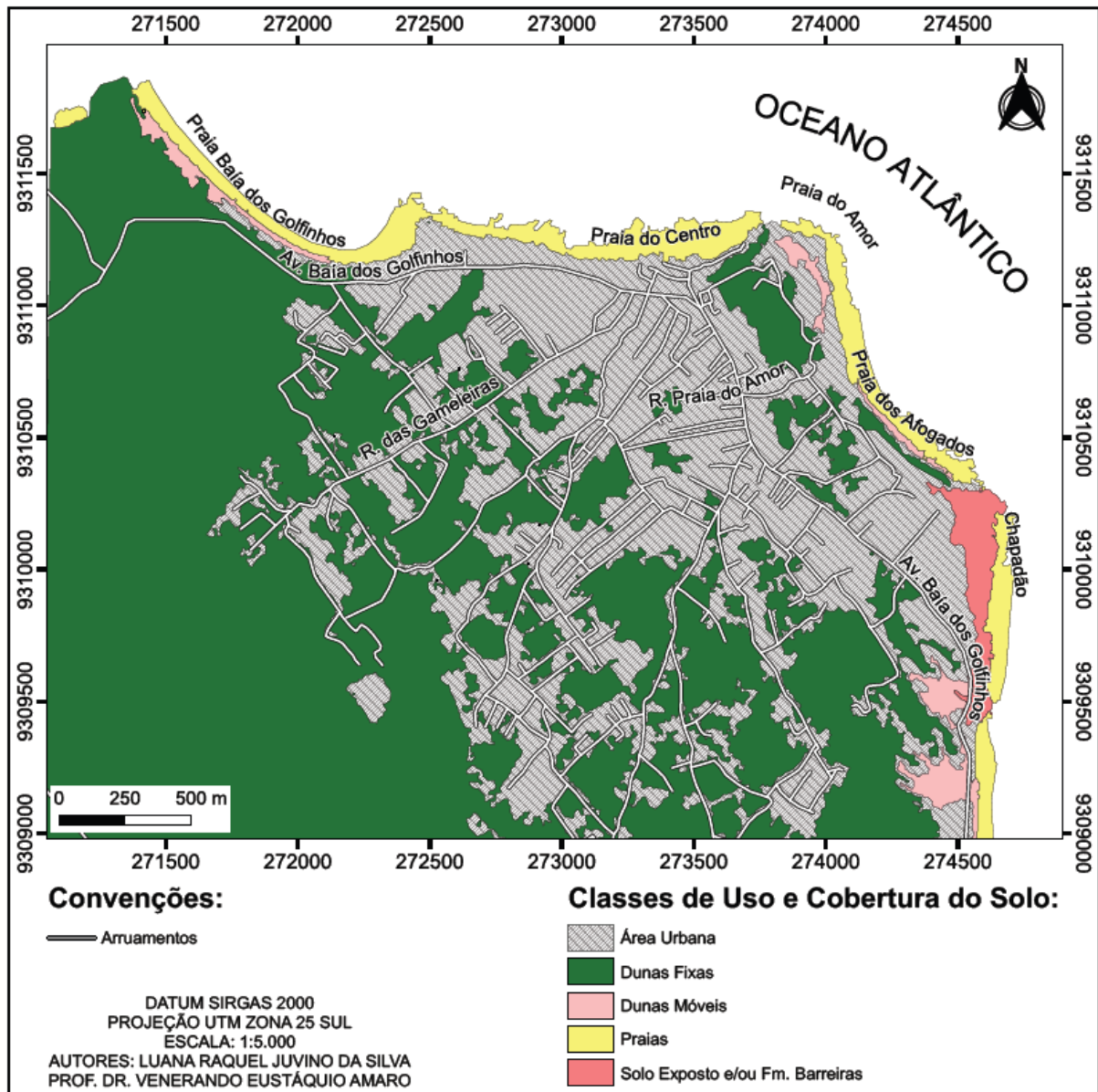
As definições das classes temáticas, baseadas nas unidades homogêneas dos mapas preexistentes, foram determinadas por meio da análise e interpretação das imagens de Sensoriamento Remoto. A determinação das classes de uso e ocupação do solo foi realizada a partir de uma classificação supervisionada da imagem do satélite CBERS-4A (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), do sensor WPM (Câmara Multiespectral e Pancromática

de Ampla Varredura) que possui resolução panorâmica de 02 metros e resolução multiespectral de 08 metros. Também foram utilizadas informações do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias) e as imagens de alta resolução disponíveis no *Google Earth*.

A escolha da imagem do satélite CBERS-4A para a elaboração do Mapa de Uso e Cobertura do Solo (Figura 23) se deu devido à sua resolução espacial (8 metros nas principais bandas e 2 metros na banda pancromática) à escala de trabalho e, em especial, à possibilidade de realização de *pan-sharpenig* para a melhoria na resolução dos pixels. Carregou-se, inicialmente, as quatro principais bandas (azul, verde, vermelho e infravermelho proximal) no QGIS. Em seguida, foi realizado um *merge* destas bandas principais utilizando a ferramenta *raster* → *miscelânea* → *construir raster virtual* e, logo em seguida, deixou-se em visualização a composição de cor natural. Então, foi realizado procedimento de fusonamento entre o *merge* com a banda pancromática, por meio da ferramenta *pan-sharpening*. Como resultado, obteve-se um *raster* cuja resolução (tamanho das arestas do *pixel*) é de 02 metros, na qual foi possível distinguir vegetação, solo exposto, dunas e falésias.

O método de classificação de Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood Classification*), que consiste em um algoritmo de classificação supervisionada, foi utilizado para a realização de amostragens manuais dos *pixels* das diversas classes visualizáveis na imagem para treinamento do algoritmo. As classes foram amostradas proporcionalmente à sua área de ocorrência dentro da área de estudo, salvas e então foi aplicado o algoritmo em cima dessas amostras de treinamento. O resultado foi uma primeira imagem, na qual ainda existiam alguns problemas de *pixels* perdidos e outros com classificação sem sentido, o que era esperado pois o algoritmo ainda poderia confundir algumas assinaturas. Para sanar este problema, foi realizado um tratamento inicial desta imagem para limpeza e generalização dos *pixels*. Foram utilizadas as seguintes ferramentas, neste procedimento: *majority filter*, *GDAL sieve*, *r.clump*, *r.null* e *preencher células NoData*. Ao final deste procedimento, notou-se ainda que alguns *pixels* sem sentido persistiam, então foi realizada a conversão deste *raster* em um arquivo *shapefile*, por meio da ferramenta *raster* → *converter* → *raster para vetor (poligonizar)*. Foi realizada, posteriormente, edição deste *shapefile* de modo a remover os *pixels* que restavam com classificação errônea.

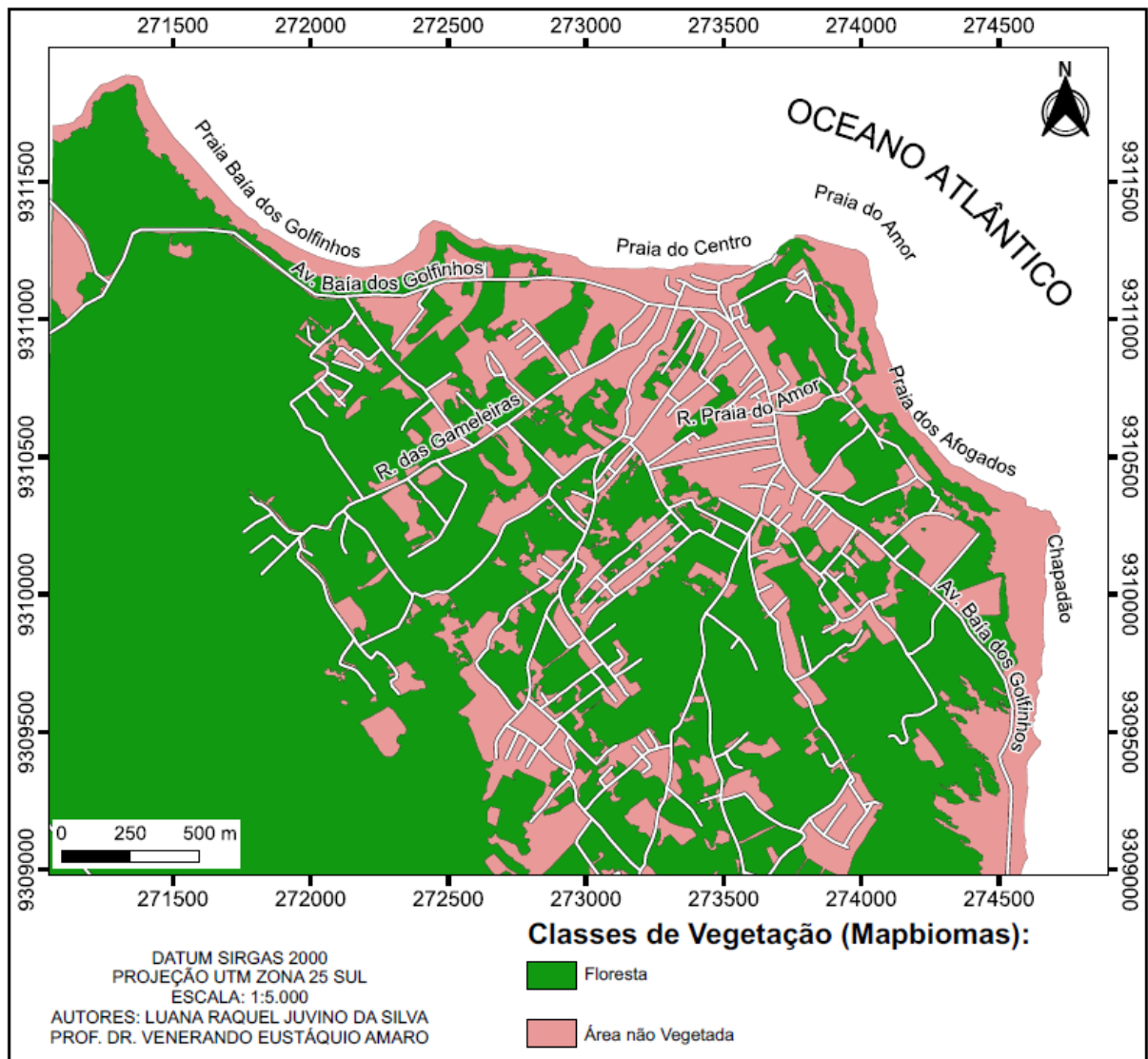
Figura 23 - Mapa das Classes de Uso e Cobertura dos Solos da Área de Estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para a confecção do Mapa de Vegetação (Figura 24) foi utilizado como base imagem *raster* da coleção 6 do Projeto MapBiomas (<https://mapbiomas.org>), datada de 2020, na qual foi realizado o recorte para a área de estudo. Tendo em vista que o dado *raster* original foi constituído em escala de 1:250.000, o *raster* ficou com aspecto pixelado. Para sanar esse problema, foi realizada primeiramente a transformação para o formato vetorial (*shapefile*) e, em sequência, foi necessário suavizar as quebras nas linhas de fronteira das unidades de vegetação, por meio da ferramenta *smooth polygon*.

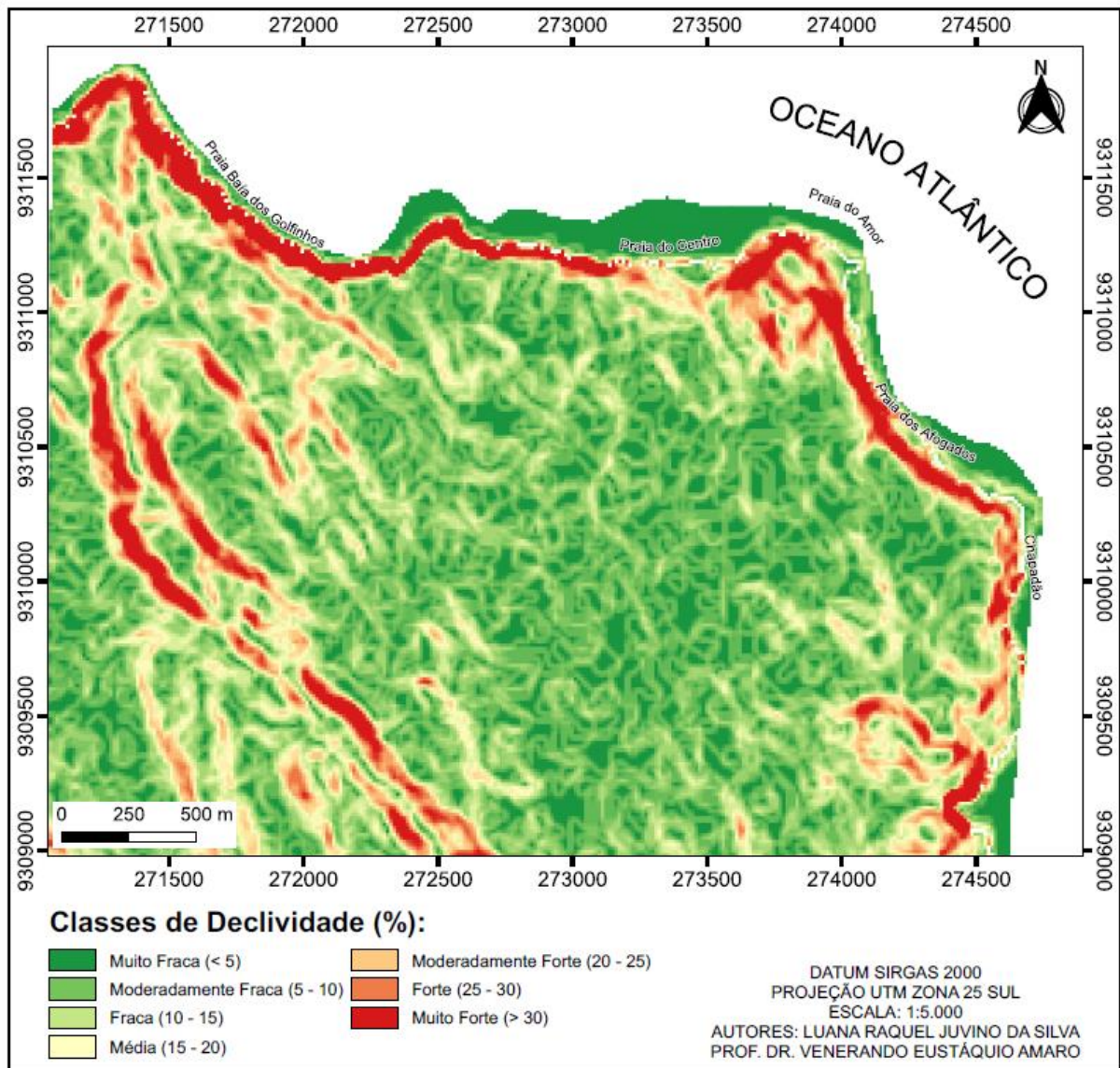
Figura 24 - Mapa das Classes de Vegetação da Área de Estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do sensor ALOS-PALSAR, com resolução espacial de 12,5m, pode-se confeccionar o Mapa de Declividade (Figura 25), no qual se verifica o percentual das diferenças de declividade entre as encostas, por meio da ferramenta *r.slope.aspect*. Para a definição das classes deste mapa a Lei Nacional nº 6.766/79 (conhecida como Lei Lehmann), que regula a atividade do parcelamento do solo urbano e define que áreas com declividades acima de 30% não podem ser parcelados.

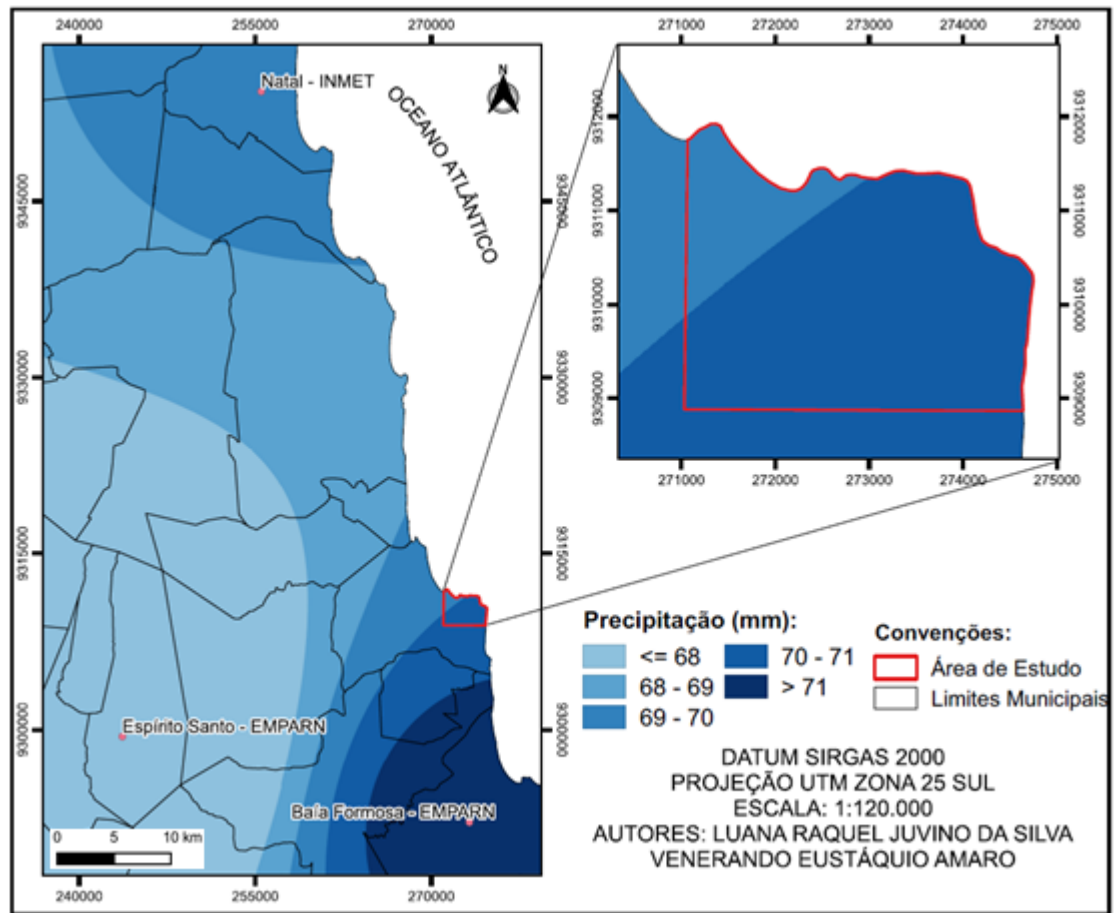
Figura 25 - Mapa das Classes de Declividade.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os valores de percentil 98 de cada uma das estações de monitoramento (Natal, Baía Formosa e Espírito Santo) foram considerados para a construção do Mapa de Variabilidade dos Extremos de Precipitação (Figura 26). Foi realizada, no *software* QGIS, a interpolação IDW (*Inverse Distance Weighted*), que calcula o valor de um ponto por meio da média com os pontos mais próximos e pondera esta média pelo inverso da distância.

Figura 26 - Mapa de Variabilidade dos Eventos Extremos de Precipitação das Microrregiões de Natal e do Litoral Sul.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.4 Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade

As variáveis temáticas do meio físico foram avaliadas de acordo com a escala de ponderação do Processo Analítico Hierárquico (PAH) proposto por Saaty (2008) (Tabela 5), seguindo a abordagem adotado por Busman *et al.* (2016) para o cálculo da vulnerabilidade ambiental e considerando o movimento gravitacional de massa como principal perigo relacionado aos eventos extremos de precipitação na área de estudo.

Tabela 5 - Escala de ponderação de Saaty aplicada no Processo Analítico Hierárquico para obtenção da importância relativa das variáveis.

EXT	MF	F	M	IGUAL	M	F	MF	EXT
1/9	1/7	1/5	1/3	1	1/3	1/5	1/7	1/9
← MENOS IMPORTANTE					MAIS IMPORTANTE →			

Legenda: EXT – Extremamente Importante; MF – Muito Fortemente; F – Fortemente; M – Moderadamente; IGUAL – Igualmente.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na matriz quadrada, cada célula foi preenchida com um valor de julgamento de acordo com a escala contínua de importância relativa entre os pares (Tabela 6). Os pesos ou ponderações resultantes foram aplicados nas variáveis por método de vulnerabilidade e as taxas de consistência dos PAH aplicados nos métodos foram verificados.

Tabela 6 - Comparação pareada e taxa de consistência aplicada na ponderação de pesos de Vulnerabilidade.

VARIÁVEL TEMÁTICA	DEC	GEO	GEOM	VEG	USO	EEP	Peso
DEC	1	5	3	3	3	7	0,29
GEO	1/5	1	1/3	1/3	1/5	5	0,09
GEOM	1/3	3	1	3	1/3	7	0,20
VEG	1/3	3	1/3	1	1/3	3	0,11
USO	1/3	5	3	3	1	9	0,28
EEP	1/7	1/5	1/7	1/3	1/9	1	0,03

Taxa de Consistência: 0,09 (aceitável)

Legenda: DEC – Declividade; GEO – Geologia; GEOM – Geomorfologia; VEG – Vegetação; USO – Uso e Ocupação; EEP – Eventos Extremos de Precipitação.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As classes temáticas consideradas para a construção do mapa de vulnerabilidade foram: geologia, geomorfologia, uso e ocupação do solo, vegetação, declividade e precipitação (clima). Os pesos obtidos foram avaliados segundo um índice de consistência, que verifica a probabilidade dos valores de uma matriz serem gerados por acaso. Seguindo a metodologia utilizada por Amaro *et al.* (2021), que aplicou os índices propostos por Grigio *et al.* (2004) baseiam-se no grau de vulnerabilidade à erosão estipulados a cada classe temática, variando em intervalos de 0,5 entre escores de 1 (estável), 2 (intermediário), e 3 (instável), de acordo com o conceito de estabilidade das características físicas, nas quais prevalecem os processos pedogenéticos e os de domínio morfogenético. Desta forma, as classes das variáveis temáticas do meio físico, do uso e cobertura do solo e dos EEP foram convertidas em cinco classes que variam entre muito baixa e muito alta (BUSMAN, 2016; BUSMAN *et al.* 2016), conforme as escores da Tabela 7.

Tabela 7 - Intervalos das classes de Vulnerabilidade e escores por lógica booleana.

MUITA BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
1,0 - 1,4	1,4 - 1,8	1,8 - 2,2	2,2 - 2,6	2,6 - 3,0

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na sequência, foi aplicada uma lógica booleana (BUSMAN *et al.*, 2016) na determinação dos pesos das classes de vulnerabilidade (Tabela 8).

Tabela 8 - Escores das classes temáticas para os índices de vulnerabilidade por lógica booleana.

DECLIVIDADE %		GEOLOGIA	
Classes	Pontuações	Classes	Pontuações
0 – 5	1	Depósitos de Sopé de Encostas e Tálus	2,5
5 – 10	1	Depósitos Eólicos Litorâneos Não Vegetados	3
10 – 15	1,5		
15 – 20	2	Depósitos Litorâneos Praiais	2
20 – 25	2,5	Depósitos Eólicos Litorâneos Vegetados	2,5
25 – 30	2,5		
> 30	3	Formação Barreiras	1,5
GEOMORFOLOGIA		VEGETAÇÃO (MAPBIOMAS)	
Classes	Pontuações	Classes	Pontuações
Dunas não vegetadas (móveis)	3	Floresta	1,5
Dunas vegetadas (fixas)	2,5	Formação Natural Não Florestal	2
Praias	2	Agropecuária	2,5
Falésias	1	Área Não Vegetada	3
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		CLIMA (EEP98)	
Classes	Pontuações	Classes	Pontuações
Dunas Fixas	2,5	<= 68	2
Área Urbana	3	68 – 69	2,5
Dunas Móveis	3	69 – 70	2,5
Praias	1	70 – 71	3
Solo Exposto e/ou Fm. Barreiras	2,5	> 71	3

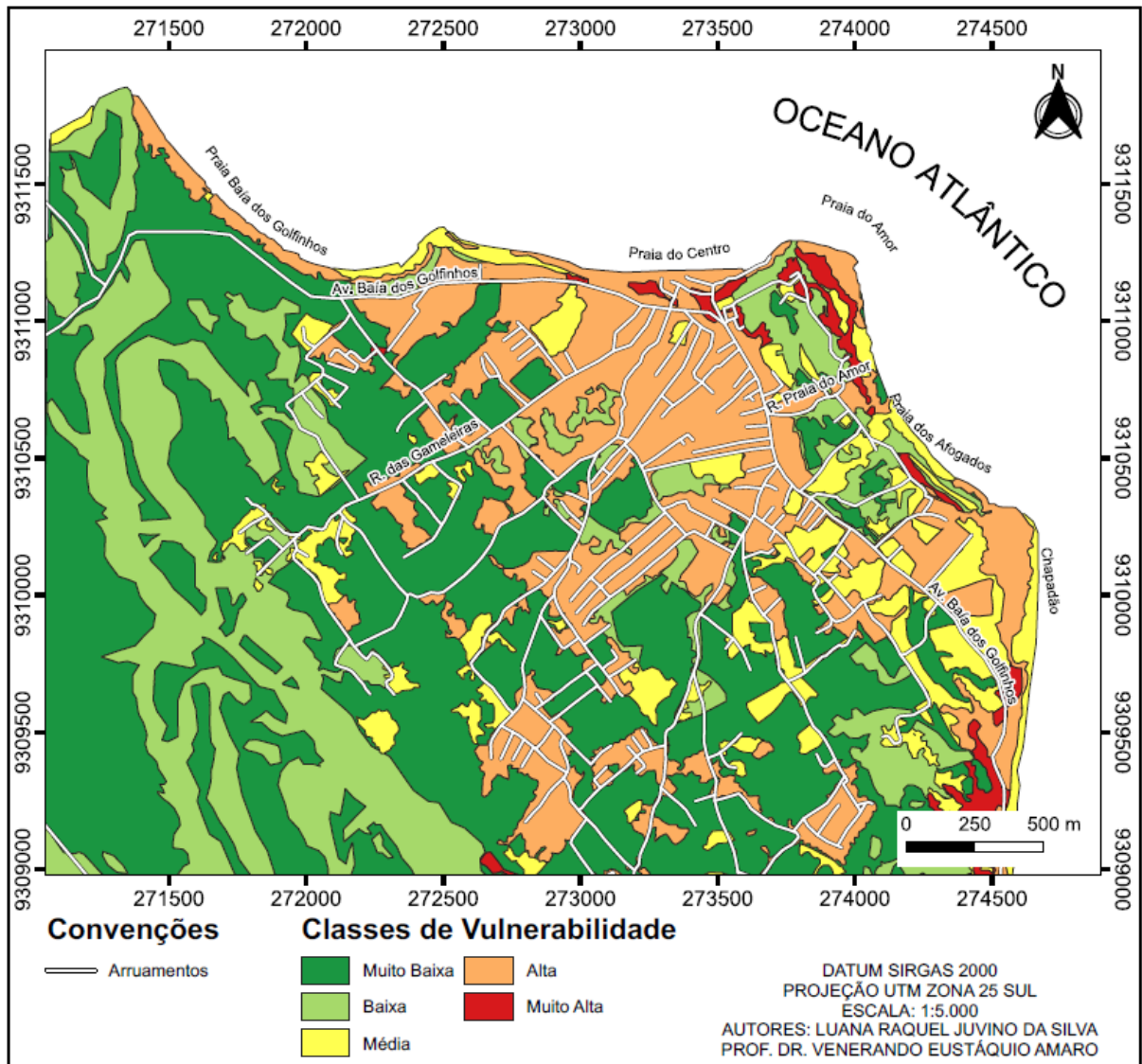
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No QGIS tais pontuações foram adicionadas aos *shapefiles* em uma coluna de vulnerabilidade em suas tabelas de atributos e, na sequência, estes *shapefiles* foram convertidos para *raster* utilizando o parâmetro vulnerabilidade como base para sua classificação. Como a declividade e também a precipitação já se tratavam de dados do tipo *raster*, o processo foi ligeiramente diferente, utilizando a ferramenta *r.reclass* e inseridas as regras de reclassificação para estas imagens. Por fim, com todos os fatores devidamente criados, foi realizado o cálculo do *raster* para a elaboração do mapa de vulnerabilidade (Figura 27), por meio da calculadora *raster* e utilizando a seguinte expressão:

$$VULN = (GEOL * peso) + (GEOM * peso) + (VEG * peso) + (USO * peso) + (DECL * peso) + (PREC * peso)$$

Onde: GEOL – Geologia; GEOM – Geomorfologia; VEG – Vegetação; USO – Uso e Ocupação; DECL – Declividade; PREC – Precipitação.

Figura 27 - Mapa das Classes de Vulnerabilidade da Área de Estudo.

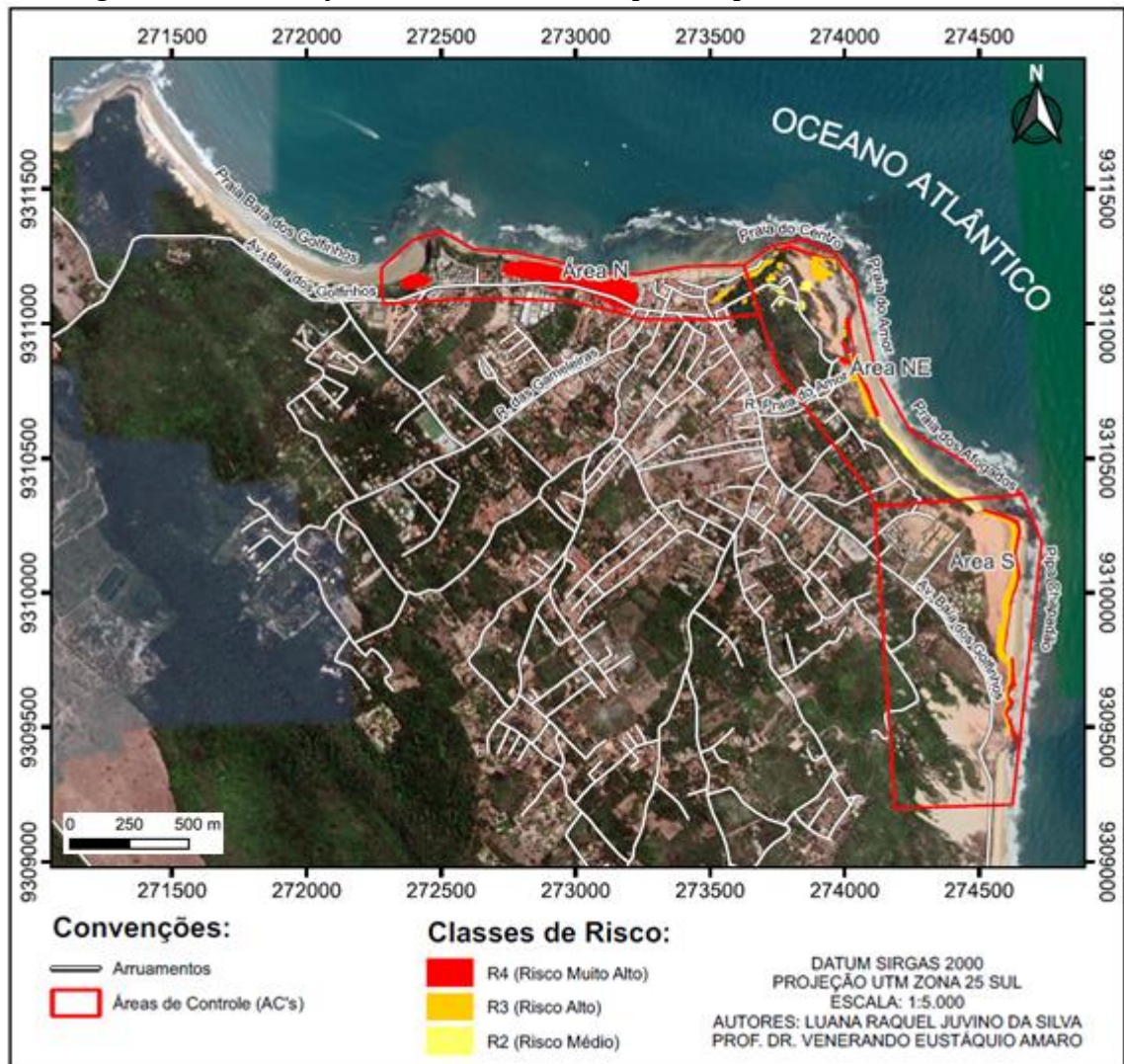


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.5 Levantamentos de Campo

Para a realização dos levantamentos de campo, ainda na fase de estruturação do SIG, a área de estudo foi dividida em três setores (N, NE e S), aqui também denominados de áreas de controle (AC), visando uma melhor organização para a realização do mapeamento. A Figura 28 apresenta as áreas de controle e uma classificação prévia de risco, elaborada a partir do Mapa das Classes de Vulnerabilidade da Área de Estudo (Figura 27).

Figura 28 - Setorização de áreas de controle para mapeamento de áreas de risco.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os levantamentos de campo foram realizados entre Junho e Julho/2022, período da quadra chuvosa no litoral oriental, e em condições de baixa-mar e preamar, em que foram registrados diversos deslizamentos nas falésias do setor urbano da praia de Pipa, contexto da área de interesse. No primeiro levantamento de campo realizado (02/06/2022) a lua estava crescente, o baixa-mar se deu às 11:55 da manhã e o acumulado de precipitação do dia em Tibau do Sul foi de 30mm. Foram registrados diversos deslizamentos de massa que ocorrem na noite anterior. O segundo campo teve a duração de três dias, também com lua em fase crescente. O baixa-mar e a precipitação acumulada foram, respectivamente, às 11h45 e 0,2mm no primeiro dia (01/07/2022), às 12h19 e 13,6mm no segundo dia (02/07/2022) e às 12h58 e 39mm no terceiro dia (03/07/2022). Diversos deslizamentos foram registrados nos dias subsequentes à realização do segundo levantamento e no dia 04 de julho a precipitação

acumulada foi de 203,6mm (EMPARN, 2022).

Para a identificação e caracterização dos processos de erosão marinha e pluvial da área de estudo na primeira visita em campo, de forma dinâmica e organizada, foi utilizado um *checklist* adaptado (Figura 29) da metodologia empregada por Câmara (2018). Os dados coletados por meio dessa ferramenta serviram de subsídio para a análise das informações das áreas de atuação e características dos fatores desencadeadores da erosão costeira e dos movimentos de massa.

Os levantamentos de campo tiveram o objetivo de validar os mapas temáticos, observar dos processos erosivos na linha de costa, levantar os pontos de alagamento, verificar das áreas delimitadas como de Risco 3 (alto) e Risco 4 (muito alto) e a investigar das estruturas de contenção existentes nas edificações presentes na área de estudo.

Figura 29 - Checklist utilizando em campo.

Checklist - Análise de Risco à Erosão			
Caracterização e Identificação			
Nome/Lugar: _____		Setor: _____	
Data/Horário: _____		Ponto: _____	
Lua: _____		Maré: _____	
Onda: _____			
Caracterização Geotécnica			
Caracterização das Falésias - Geomorfologia Geologia			
Falésias Ativas ☐	Dunas Vegetadas ☐	Altura da Falésia (aprox.): _____	
Falésias Inativas ☐	Dunas Não Vegetadas ☐	Perfil do Talude (aprox.): _____	
Vegetação (dist.) ☐	Topo ☐	Uso da Falésia ☐	Acesso à Praia ☐
	Face ☐		Mirante ☐
	Base ☐		Área de Preservação ☐
			Outros: _____
Caracterização das Edificações			
Uso da Edificação ☐	Moradia ☐	Pousada ☐	
	Veraneio ☐	Comércio ☐	
		Outros: _____	
Distância da estrutura até a borda da falésia: _____			
Patologias visíveis na estrutura: _____			
Identificação dos Processos Erosivos			
Escoamento Superficial no Topo do Talude			
Existe escoamento descontrolado pela face da falésia?			☐
Existem sistemas de fraturas, que condicionam o escoamento superficial?			☐
Existe erosão pluvial? Se sim, qual? _____			
Contribuições na erosão superficial: _____			
Escoamento Superficial no Corpo do Talude			
Existe escoamento descontrolado pela face da falésia?			☐
Existem sistemas de fraturas, que condicionam o escoamento superficial?			☐
Existe erosão pluvial? Se sim, qual? _____			
Contribuições na erosão superficial: _____			
Percolação de Água Subterrânea			
A água infiltra no topo da falésia ☐	Tanques sépticos ☐	Há superfície úmidas na face da falésia? ☐	
	Irrigação ☐		
	Drenos ☐	Há deslizamentos ativos ou históricos? ☐	
	Piscinas ☐		
	Outros: _____	Outro tipo de mov. de massa? _____	
Ação da Onda			
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: _____			☐
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: _____			☐
As ondas escavam o pé da falésia? _____			☐
Proteção no pé da falésia? Tipo: _____			☐
Proteção no talude? Tipo: _____			☐
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: _____			☐
A obra causa mais erosão? _____			☐
Observações			

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.6 Análise de Risco à Erosão Costeira e Movimentos Gravitacionais de Massa

Segundo o Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial, que trata da Setorização de Áreas de Risco Geológico, no mapeamento de áreas de risco a movimentos gravitacionais de massa é necessário a investigação da presença, características e intensidade das condições e indícios tais como amplitude e inclinação do talude ou encosta, presença de blocos de rocha no regolito, umidade do regolito, surgência de água, distância da edificação em relação à base e crista do talude ou encosta, lançamento de água e esgoto no terreno, estruturas deformadas, cicatrizes de deslizamento, dentre outros (Quadro 2) (LANA *et al.*, 2021).

Na análise *in loco* do risco foram considerados os locais que demonstraram aspectos físicos indicadores de uma possível ocorrência de desmoronamento e/ou queda de blocos, locais em que já ocorreram deslizamentos, pontos de escoamento de água via tubulações residenciais ou comerciais, pontos de alagamento e escoamento em direção à praia (falésias), existência de estruturas de contenção na edificações que recebem diretamente o efeito das ondas, bem como o estado de conservação em que se encontram, e as evidências de processos erosivos costeiros.

A partir da compilação das informações coletadas em campo e análises dos mapas prévios, foi elaborado um mapa de risco à erosão e movimentos gravitacionais de massa, contendo a setorização de áreas definidas como de risco alto (R3) e risco muito alto (R4). Para a análise e discussão dos níveis de riscos aos quais a linha de costa de Pipa/RN está sujeita, foram verificados e indicados no mapeamento os deslizamentos recentes, a ocupação e presença recorrente de pessoas, a instalação de infraestruturas e a execução de estruturas de contenções, os pontos de alagamento e de escoamento superficial, a incidência dos eventos extremos de precipitação, a caracterização da hidrodinâmica e oceanográfica, bem como o recuo da linha de praia por meio da análise espacial e multitemporais de Sensoriamento Remoto com base em imagens de moderada a alta resolução do processo de erosão/acreção das falésias, de acordo com o estudo realizado por Matos *et al.* (2022).

Quadro 2 - Características e indícios a serem observados durante a setorização de áreas de risco a movimentos de massa.

GRUPO	CARACTERÍSTICA OU INDÍCIO	INFLUÊNCIA
Características naturais	Amplitude e inclinação do talude ou encosta	Quanto maiores, maior a propensão de deflagração de movimentos de massa.
	Espessura do regolito	Solos delgados tendem a deflagrar deslizamentos planares enquanto solos espessos tendem a deflagrar deslizamentos circulares ou rotacionais.
	Presença de blocos de rocha no regolito	Indica a propensão de ocorrer queda de blocos em associação com deslizamentos.
	Presença de maciço rochoso	Indica propensão de ocorrer queda de blocos de rocha.
	Direção e mergulho das descontinuidades	Quanto mais coincidentes com a direção e mergulho do talude ou encosta, maior a propensão de ocorrer movimentos de massa. Mergulhos verticalizados ou no sentido oposto ao mergulho da encosta ou talude podem contribuir para a deflagração de tombamentos.
	Umidade do regolito	Quanto mais encharcado, maiores as chances de deflagração de movimentos de massa.
	Surgência de água	Pode indicar saturação ou alta pressão de água no interior do maciço.
Características e potencializadores antrópicos	Padrão construtivo	Quanto mais frágil, maior a vulnerabilidade
	Condições das vias	Quanto mais precárias, maior a vulnerabilidade
	Sistema de drenagem pluvial	Se ausente, aumenta a vulnerabilidade. Quanto mais eficiente, menos vulnerável.
	Presença de taludes de corte	Se feito de maneira inadequada, pode deflagrar ou potencializar os danos causados pelos movimentos de massa.
	Presença de aterro e lixo lançados na encosta	Materiais heterogêneos e com baixa coesão. Alta propensão a desenvolverem movimentos de massa.
	Distância da edificação em relação à base e crista do talude ou encosta	Quanto menor a distância, maior a chance de ser atingida por movimentos de massa.
	Lançamento de água servida e esgoto no terreno	Favorecem a saturação e redução da coesão do solo, contribuindo para a deflagração de movimentos de massa.
	Presença de fossa	
	Vazamentos em tubulações	
Evidências de movimentação	Trincas e degraus de abatimento	Em geral, indicam a movimentação do terreno, exceto quando presentes em edificações, pois podem derivar de problemas construtivos.
	Estruturas deformadas (postes, muros, cercas)	Podem indicar a movimentação do terreno.
	Cicatrizes de deslizamentos	Indicam a ocorrência de movimentos de massa pretéritos e, portanto, a alta propensão do local a ser atingido por esse tipo de processo.

Fonte: LANA *et al.*, 2021.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da execução dos procedimentos metodológicos (Etapas 1 a 5), os resultados possibilitaram a elaboração de mapas temáticos, a análise de tendência de eventos extremos de precipitação e a análise hidrodinâmica e oceanográfica, que foram essenciais no desenvolvimento da metodologia para a determinação dos índices de risco que configuram o Mapa de Síntese de Risco de Desastres da Praia de Pipa, no município de Tibau do Sul/RN. Sendo assim, a seguir estão apresentados os resultados inerentes às análises dos eventos extremos de precipitação e da hidrodinâmica local, bem como o diagnóstico e mapa síntese de risco à erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa da área de estudo.

5.1 Eventos Extremos de Precipitação

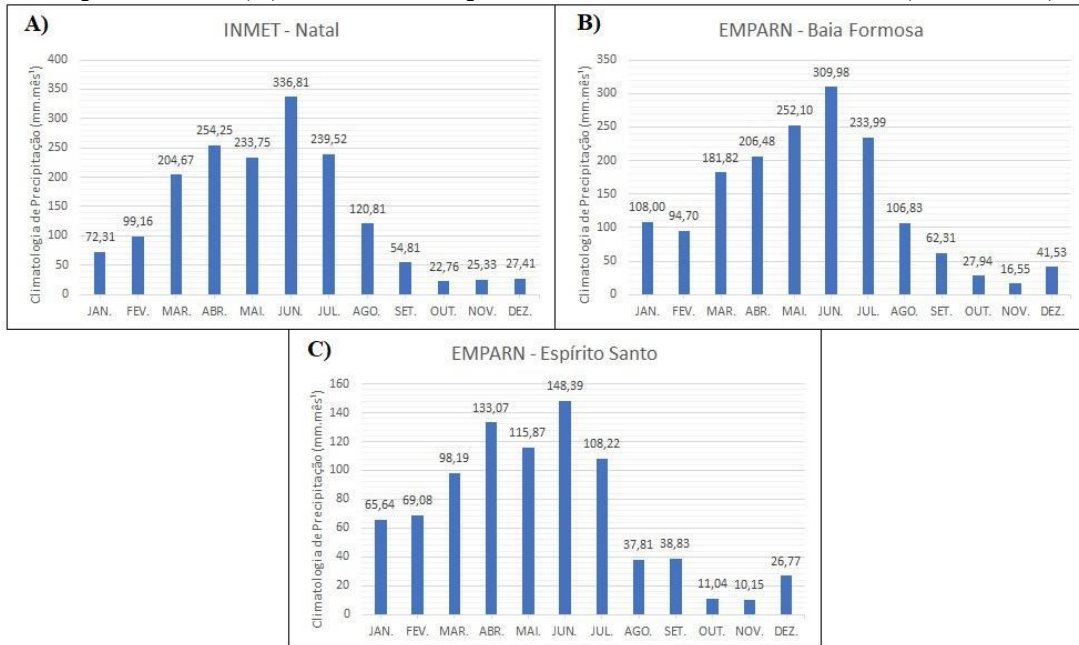
A climatologia de precipitação da estação da microrregião de Natal (INMET) está ilustrada na Figura 30, e das estações da microrregião do Litoral Sul (EMPARN) nas Figuras 8b e 8c. Onde pode-se perceber a que os maiores valores médios ocorrem entre os meses de março e agosto, com médias acima de 200mm.mês^{-1} (Natal-INMET e Baía Formosa-EMPARN) e de 100mm.mês^{-1} (Espírito Santo-EMPARN), durante o período chuvoso principal, que é entre os meses de abril a julho. Nos meses de setembro a fevereiro, período considerado menos chuvosos, as médias de precipitação são inferiores a 60mm.mês^{-1} , com exceção dos meses de janeiro e fevereiro. Deste modo, para as análises foi considerado o período de maio a julho (MAMJJ).

Entre os meses de abril a julho (AMJJ) é considerado o período chuvoso principal do litoral leste do Nordeste do Brasil, segundo Amorin *et al.* (2019); Moura *et al.* (2009); Amorin *et al.* (2014), e os eventos de precipitação intensa durante o mês de junho são bastante frequentes, sendo esse mês considerado o auge da estação chuvosa na região. Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) são sistemas associados, pois este é o período de maior intensidade, sendo responsável por 70% da precipitação (TORRES e FERREIRA, 2011; SILVA *et al.*, 2011).

A técnica dos *quantis* foi aplicada aos dados de precipitação diária de cada estação no período de 1980 a 2020, a partir disto destacou-se o percentil 98 como valor aproximado de limiar (u), sendo eles: 69mm.mês^{-1} (Natal-INMET), 72mm.mês^{-1} (Baía Formosa-EMPARN) e 65mm.mês^{-1} (Espírito Santo-EMPARN). Assim, foram identificados como EEP98 os valores iguais ou superiores a 70mm.mês^{-1} . A Figura 31 apresenta as médias residuais dos dados de precipitação diária, no período de 1980 e 2020, das estações de Natal,

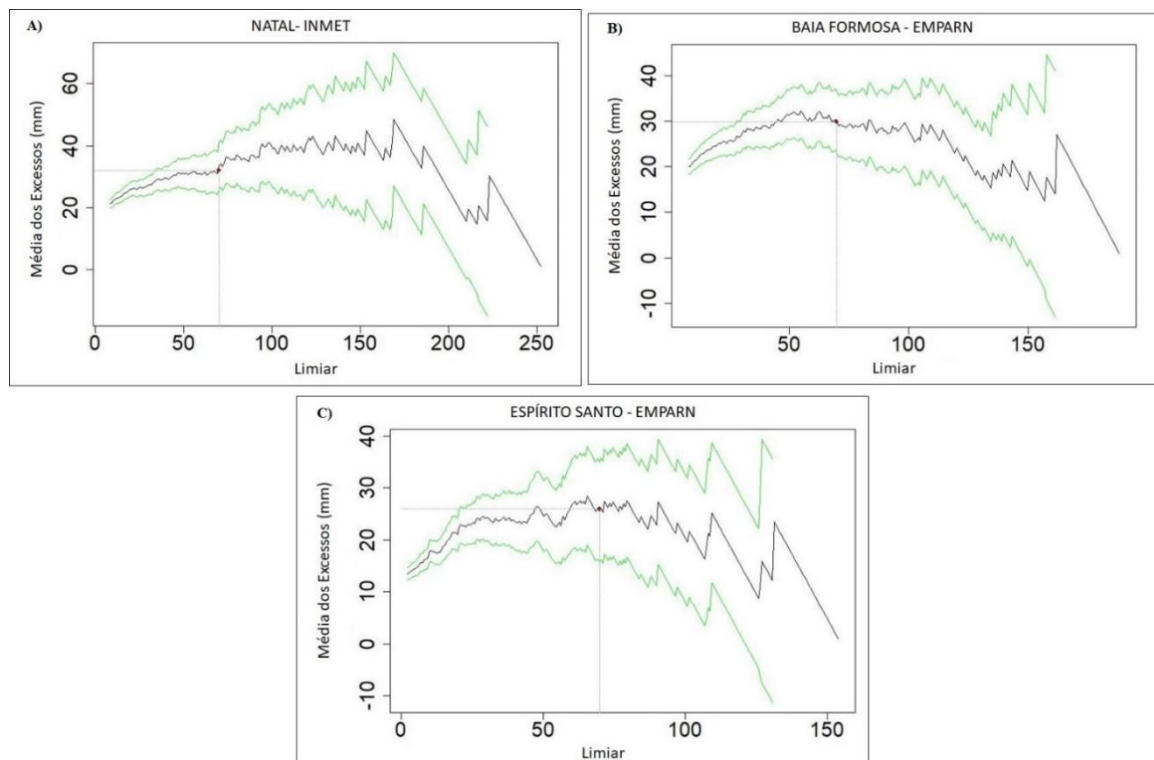
Baía Formosa e Espírito Santo, respectivamente.

Figura 30 - Climatologia da precipitação das cidades de Natal (A), Baía Formosa (B) e Espírito Santo (C). Os valores representam uma média mensal em (mm.mês⁻¹).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

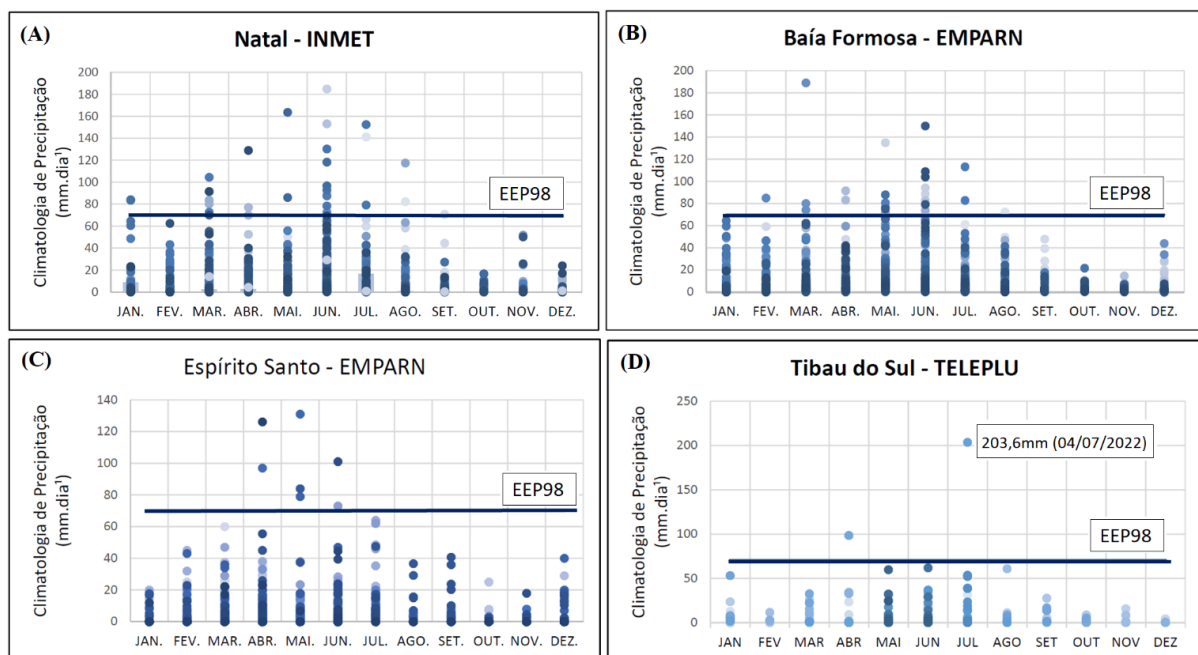
Figura 31 - Média residual dos dados de precipitação diária (mm.dia⁻¹) para o período de 1980 a 2020, nas cidades de Natal (A), Baía Formosa (B) e Espírito Santo (C).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As distribuições mensais do acumulado de precipitação diária, durante o período de análise, em Natal (A), Baía Formosa (B) e Espírito Santo (C), considerando um limiar de 70mm, estão apresentadas na Figura 32. Os dados apresentados da estação de Tibau do Sul – TELEPLU (D) correspondem ao período de 01 de maio à 07 de julho de 2022, na qual destaca-se a chuva de 200,3mm no dia 4. Os EEP98 estão destacados acima da linha e, ocorreram apenas nos meses de janeiro a agosto em Natal, de fevereiro a agosto em Baía Formosa e de abril a junho no Espírito Santo. É interessante notar que o valor do limiar calculado para a estação da EMPARN, na cidade de Espírito Santo, foi de 65mm, e ao adotar o valor um limiar maior o número de EEP foram automaticamente minorados.

Figura 32 - Distribuição anual do acumulado de precipitação diária (mm.dia⁻¹) para o período de 1980 a 2020 nas cidades de Natal (A), Baía Formosa (B) e Espírito Santo (C), para o período de 01/05/2021 e 07/07/2022 na cidade de Tibau do Sul (D), e representação do valor do limiar para EEP98 (70 mm).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

5.2 Hidrodinâmica Local

Na caracterização da hidrodinâmica local foi selecionado o ponto DOW P02, com profundidade 16,088m, referente ao nível de redução da Carta Náutica nº 810 da Marinha do Brasil. As listas de probabilidades de ocorrência de altura significativa de ondas (H_s) e período de pico de ondas (T_p) (Figuras 33, 34 e 35) são obtidas em termos de intervalos direcional, ressaltando as condições médias de ondulação (índice 50%) e as ondas de

tempestade (índice_{12}), com condições de ondas excedidas em apenas 12 horas ao ano.

As ondas com maior probabilidade de ocorrência vêm de leste-sudeste (ESE – 58%) com $H_{s50\%}$ de 1,47m e $T_{p50\%}$ de 7,61s, indicando área de geração de ondas próxima ao P02. Em tempestades, essas ondas atingem 2,26m de H_{s12} e 11,63s de T_{p12} . Em seguida, as ondas de leste (E – 36%), alcançam 1,43m de $H_{s50\%}$ e 7,93s de $T_{p50\%}$; chegando a 2,31m em 16,14s. Ondas de leste-nordeste (5%) têm 1,44m de $H_{s50\%}$ e 10,4s de $T_{p50\%}$; alcançando 2,65m em 18,32s. Todas essas direções de onda juntas somam 99,12% da probabilidade de ocorrência no P02. As direções que estão omitidas na Figura 35 apresentam probabilidade nula.

Figura 33 - Probabilidade de ocorrência de H_s , referente ao ponto DOW P02.

Variável medida: H_s					
direções(Nº)	prob.direção	$H_{s50\%}$	$H_{s90\%}$	$H_{s99\%}$	H_{s12}
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0039	1.5087	1.9884	2.6952	2.7857
ENE	0.0483	1.4430	1.8817	2.3356	2.6501
E	0.3618	1.4298	1.7688	2.0853	2.3075
ESE	0.5811	1.4653	1.7820	2.0722	2.2606
SE	0.0049	1.4303	1.6900	1.8946	2.0832
SSE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

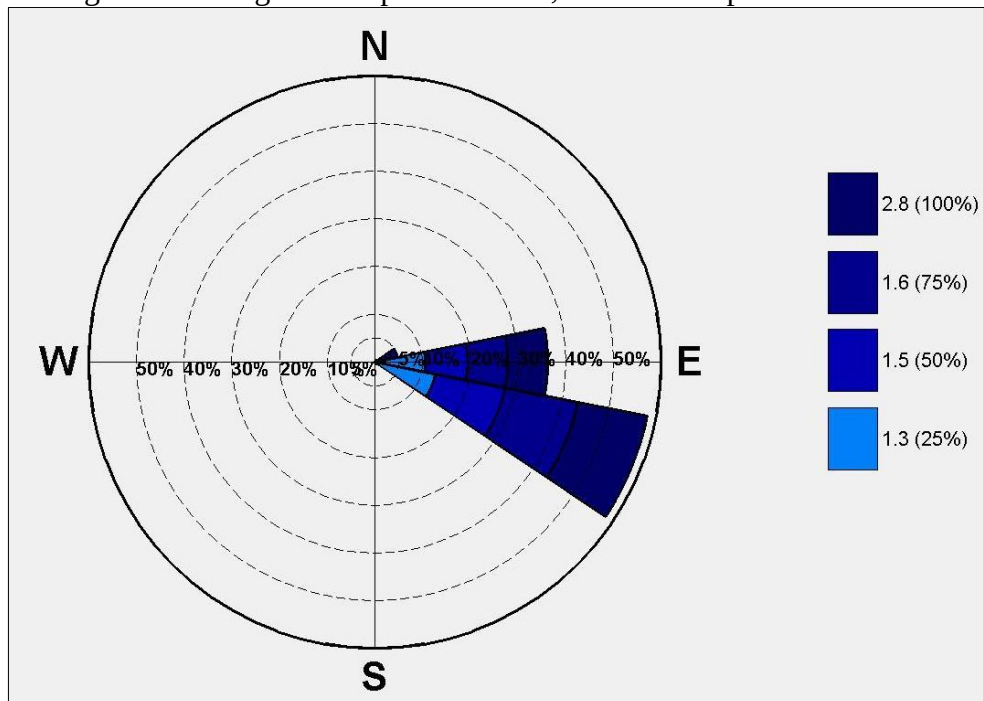
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 34 - Probabilidade de ocorrência de T_p , referente ao ponto DOW P02.

Variável medida: T_p					
direções(N°)	prob.direção	$T_{p_{50\%}}$	$T_{p_{90\%}}$	$T_{p_{99\%}}$	$T_{p_{12}}$
N	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NE	0.0039	12.4340	16.1278	18.0390	18.4094
ENE	0.0483	10.4026	14.6497	17.2522	18.3215
E	0.3618	7.9304	9.8640	13.6996	16.1400
ESE	0.5811	7.6099	8.8228	10.0393	11.6298
SE	0.0049	6.5277	7.6542	8.6730	9.4017
SSE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

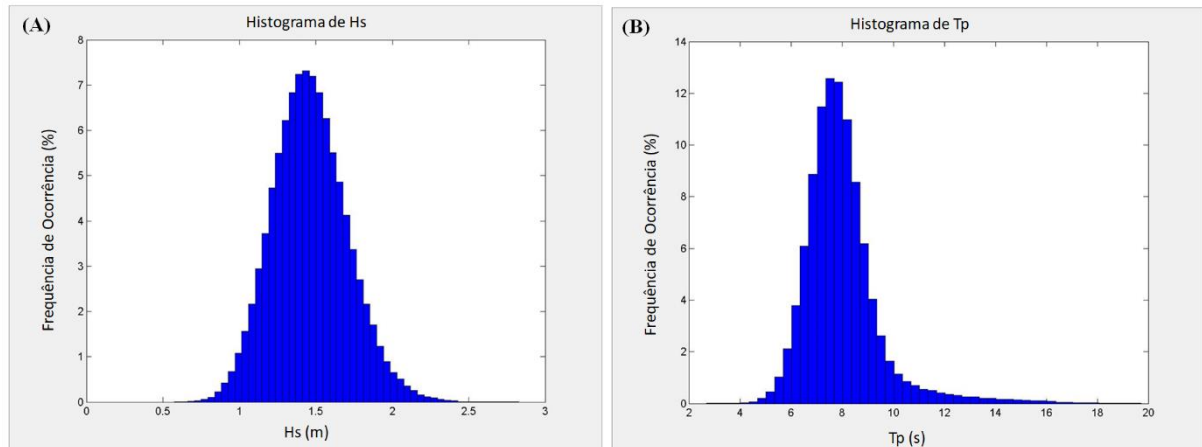
Figura 35 - Diagrama de pétalas de H_s , referente ao ponto DOW P02.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A H_s variou entre 1,25 a 2,25m (Figura 36A) e o T_p entre 6 e 9s (Figura 36B).

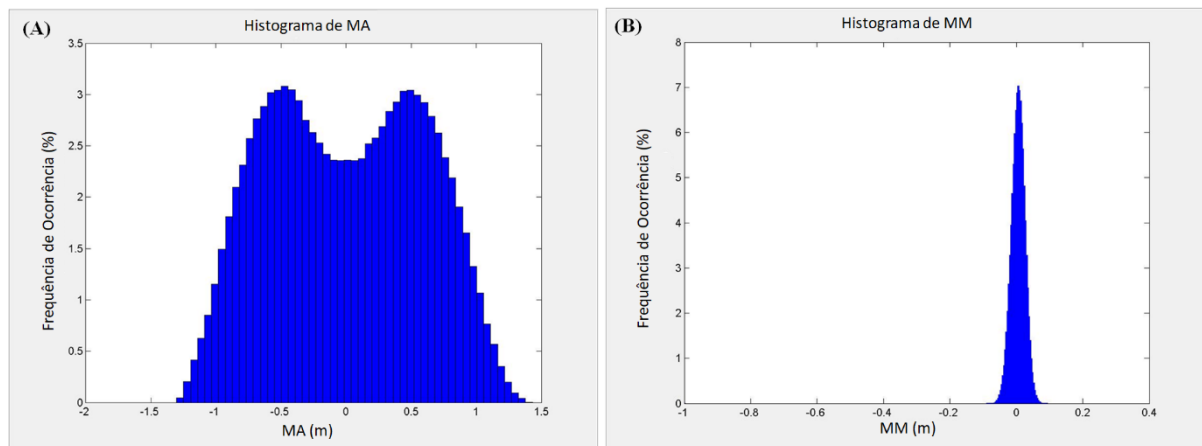
Figura 36 - Figura 35 - Condições hidrodinâmica locais oriundos da série histórica do ponto DOW P02: (A) altura significativa de ondas (H_s); (B) período de ondas (T_p).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O regime de marés astronômicas do tipo mesomarés semidiurnas tem amplitude de 2,79m (Figura 37A) e a contribuição da maré meteorológica varia em cerca de 0,09 m acima ou abaixo do nível médio do mar (Figura 37B).

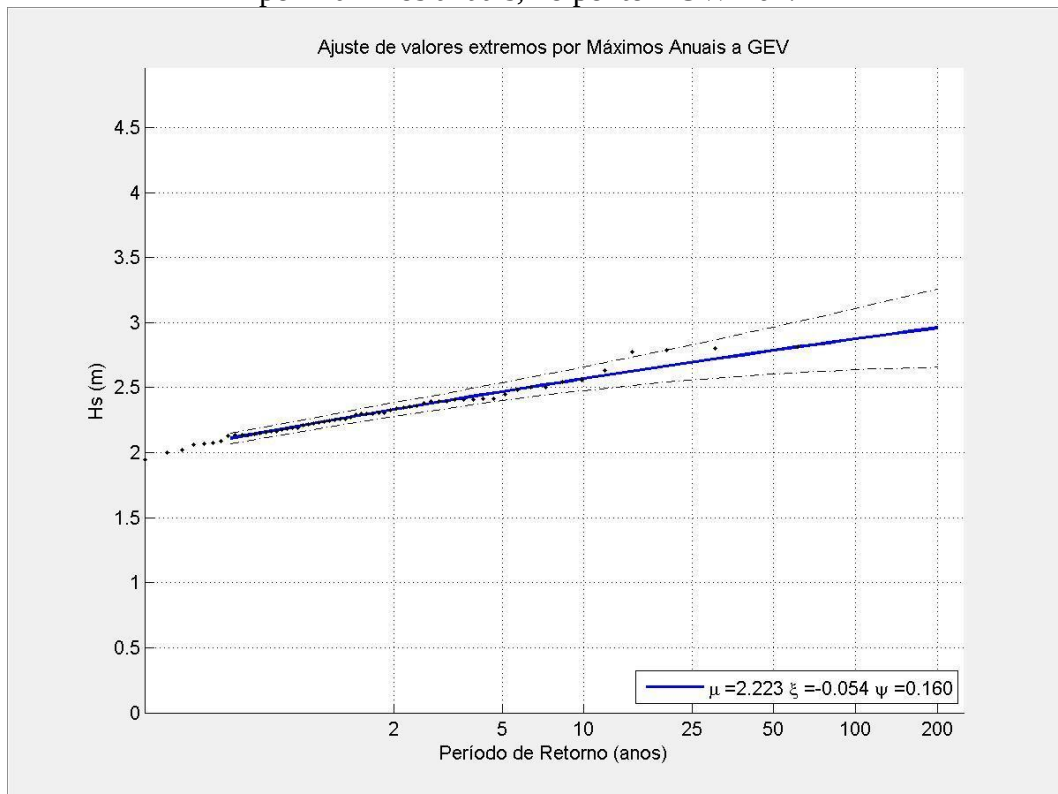
Figura 37 - Condições hidrodinâmica locais oriundos da série histórica do ponto DOW P02: (A) maré astronômica; (B) maré meteorológica.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O ajustamento à Distribuição Generalizada de Extremos (GEV) demonstra que ondas de 2,5m de H_s ocorrem pelo menos a cada 5 anos, alcançando 3m a cada 200 anos (Figura 38). Toda vez que acontecem ondas superiores a 3m, a Marinha do Brasil emite um alerta de mar agitado e com risco para navegação.

Figura 38 - Ajuste da série temporal à Distribuição Generalizada de Extremos, por máximos anuais, no ponto DOW P02.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

5.3 Diagnóstico e Mapa Síntese de Risco à Erosão Costeira e Movimentos Gravitacionais de Massa

O risco de desastres é consequência da interação entre o perigo de ocorrência desse desastre acontecer e das características que expõem e tornam pessoas e locais vulneráveis. Nos modelos e indicadores de riscos de desastres propostos pelo Quadro Sendai, a modelagem computacional abalizada no diagnóstico integrado de dados espaciais possibilita maior eficiência na avaliação dos riscos de desastres por meio da combinação de dados sobre perigo, exposição, vulnerabilidade e perdas de bens e vidas humanas (DRMIMS, 2021; HUANG *et al.* 2021).

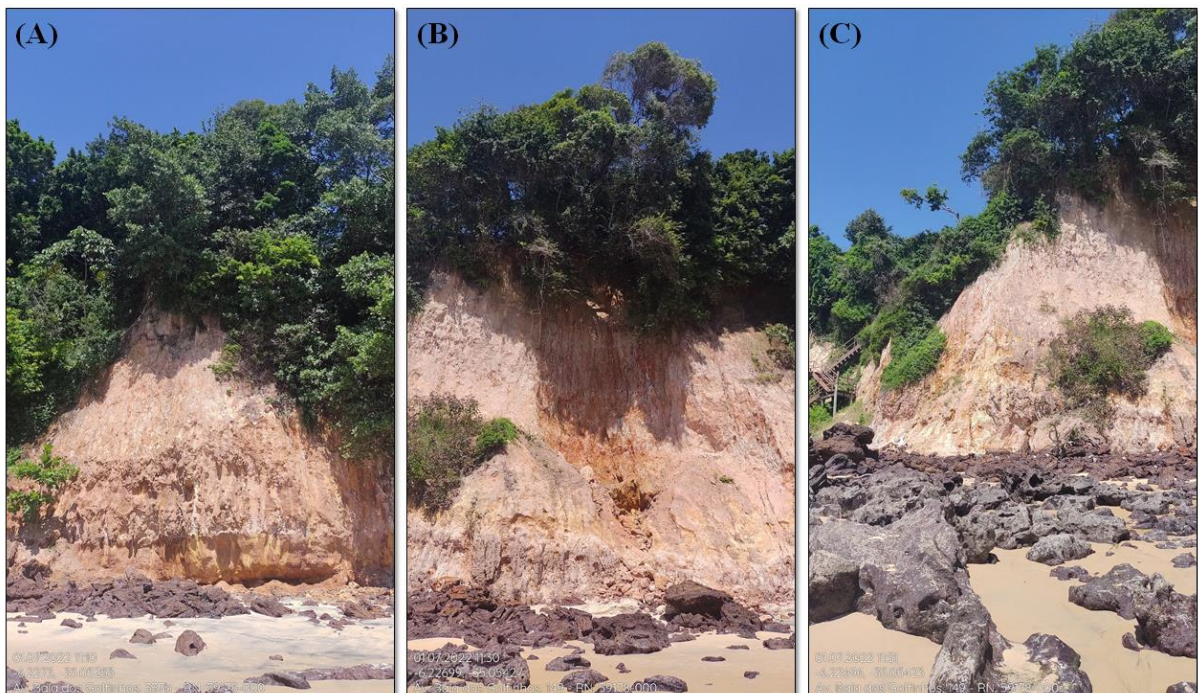
Na estruturação do SIG para o diagnóstico das condicionantes ao risco a desastres na praia de Pipa, a orla marítima foi dividida em três setores (N, NE e S), considerando a geometria da linha de costa e o grau de modificação antropogênica. Além dos fatores do meio físico (geologia, geomorfologia, vegetação, declividade) foram considerados outras características físicas relevantes que indicam perigo à erosão e aos movimentos gravitacionais de massa (LANA *et al.*, 2021), tais como uso e ocupação, intervenções de engenharia por

meio de estruturas de contenção e pontos de escoamento superficial.

Os processos erosivos atuantes sobre os taludes costeiros, resultando nos movimentos gravitacionais de massa são deflagrados, principalmente, pelas fortes chuvas e ação direta de ondas na base das falésias. As quedas e tombamentos de blocos têm sido os tipos mais comuns na área de estudo, como indica o acúmulo de depósitos ferruginosos e tálus na base das falésias (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2020). Por toda a extensão das falésias ativas da área de estudo é conspícua a presença de incisão basal, promovendo o solapamento da parte superior do talude (Figura 39).

No setor N (Figura 41), que se estende desde a praia da Baía dos Golfinhos até a praia do Centro, ocorre intensa aglomeração de banhistas e barracas na faixa de praia. Neste setor se destacam as infraestruturas instaladas, sobretudo as estruturas de contenções, e os deslizamentos de massa recorrentes (pontos II e III; Figura 39; Figura 40). Os pontos IV, VI e VII apresentam, respectivamente, estrutura de contenção contra a ação direta de ondas baseados em enrocamento aderente, com blocos soltos ou agregados em armações de madeira, e muro de concreto, onde se destacam patologias como fissuras, rachaduras e desagregação em função da intensificação das energias de ondas e erosão do substrato arenoso onde se apoiam. No entanto, a geometria, o local e o tipo inadequado dessas instalações notadamente potencializam os processos erosivos a jusante, como mostra o ponto VIII.

Figura 39 – Falésias Ativas no Setor N da Área de Estudo; (A) Incisão basal; (B) Superfícies de deslizamento; (C) Acúmulo de tálus no sopé da falésia.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 40 - Estruturas de Contenção Construídas presentes no Setor N; (A) Muro de arrimo fissurado, com enrocamento em gaiola de madeira; (B) Enrocamento em gaiola de madeira, com presença de intensificação do processo erosivo; (C) Estrutura fissurada devido ao esforço gravitacional após o deslocamento dos sedimentos de sua base.

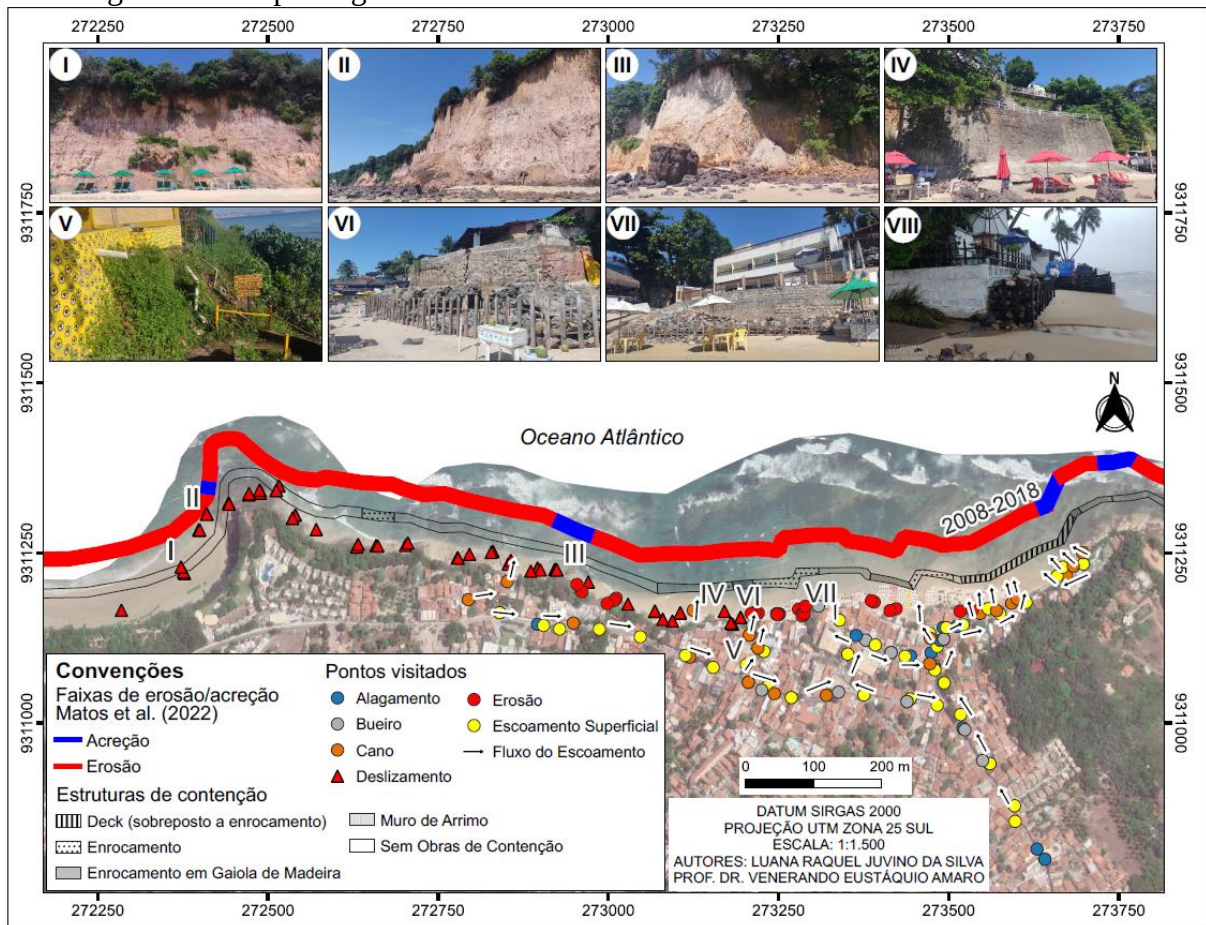


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As quedas, tombamentos e deslizamentos de massa são recorrentes nesse setor, como indicam os pontos I e III (Figura 41), ocorridos após as chuvas intensas entre junho e julho/2022 (Figura 32). Um fato que intensifica os processos erosivos, e são comumente empregados por toda a orla marítima, é o escoamento de água pluvial e/ou esgoto das habitações hotéis lançados diretamente na face de praia por meio de tubulações (ponto V).

Apesar dos desmoronamentos constantes, em trechos já sinalizados pela Defesa Civil, tanto a população local como os turistas permanecem utilizando as áreas classificadas como de risco muito alto. Mesmo na praia dos Golfinhos (ponto I), que possui um difícil acesso e apresenta vários pontos de deslizamentos, nos períodos de baixa-mar permanece repleta de banhistas e comerciantes locais.

Figura 41 - Mapa diagnóstico das condicionantes ao risco de desastres no Setor N.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O Setor NE se estende do *deck* da praia do Centro até as praias dos Afogados e do Amor (Figura 45). O *deck* em madeira apoiado em pilares de madeira e muro de tijolos comumente recebe enrocamento inapropriado com blocos de rochosos para proteção contra ataques das ondas. Contudo, os blocos são de dimensões inexpressivas contra a energia das ondas e se deslocam por toda a face de praia, aumentando o risco de acidentes (ponto II). Por toda a estrutura do *deck* são evidentes patologias nos elementos estruturais, tais como: pilares e vigas flambados e deteriorados; trincas e rachaduras no muro; tábuas quebradas no piso; entre outras.

Figura 42 - Estrutura do Deck de Pipa; (A) Viga fissurada; (B) Pilares deteriorados; (C) Ligações das vigas e canos para escoamento pluvial em direção ao enrocamento e praia; (D) Reforços irregulares dos elementos estruturais; (E) Aberturas para apoio estrutural executado de forma inadequada; (F) Patologia na parte superior; (G) Escoamento superficial e evidências de desnível do piso.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em diversos trechos da Av. Baía dos Golfinhos e em direção às praias são frequentes os pontos de alagamentos em dias chuvosos, com todo o escoamento de superfície, ou por bueiros e dutos, direcionado para a face de praia e falésias (pontos I, III, IV e V). Por todo

esse setor foram também registrados pontos de escoamento de água e/ou esgoto provenientes das habitações lançados diretamente na praia (ponto III; Figura 43).

Figura 43 – Pontos de escoamento de água registrados; (A) Fluxo de água em direção à praia; (B) Lançamento de esgoto proveniente do excedente do sistema instalado; (C) Um dos pontos de chegada do escoamento na praia e potencialização do processo de erosão.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

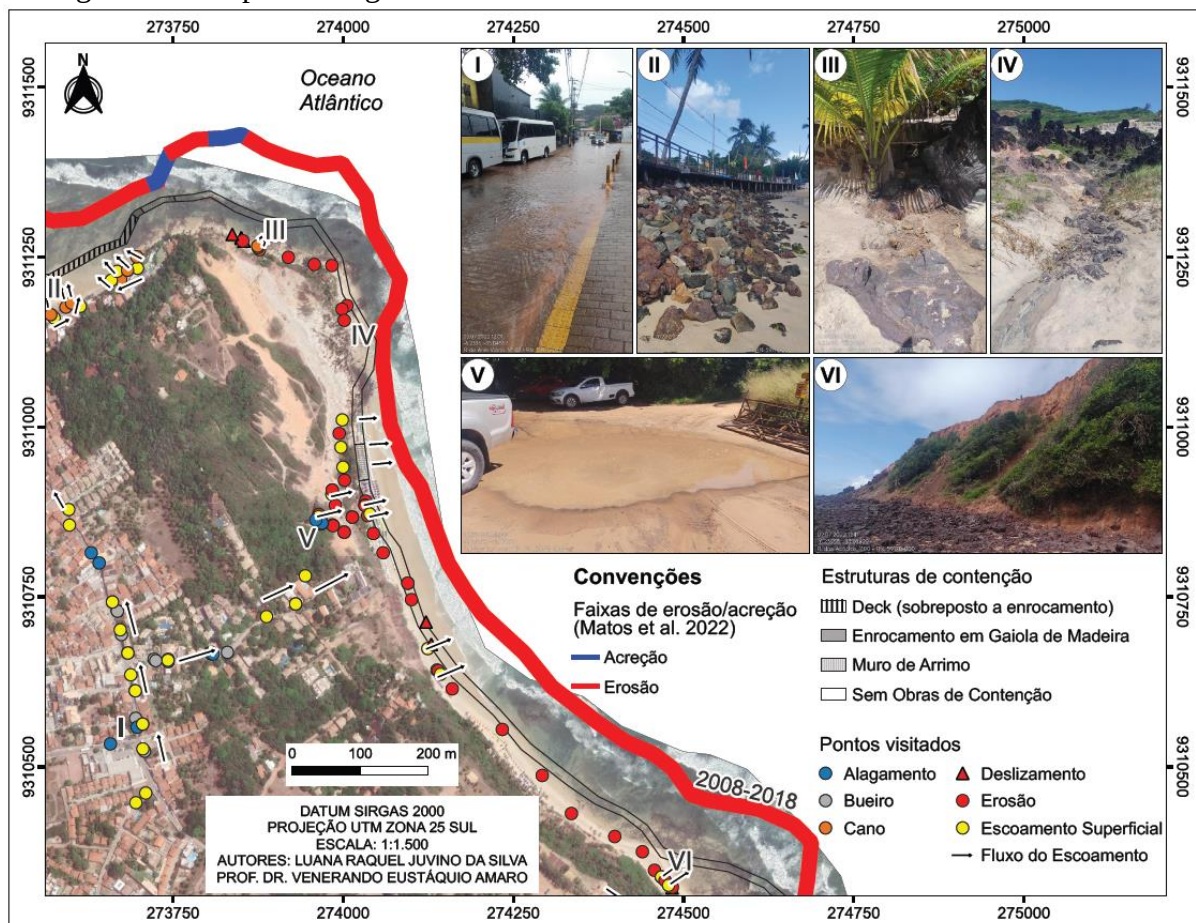
No trecho do promontório ocorrem depósitos de tálus e blocos ferruginosos na base do talude, decorrentes de desmoronamentos pretéritos, que atuam reduzindo o impacto das ondas no sopé das falésias ativas. Desde o topo até a base da falésia ocorrem inúmeros sulcos e ravinamentos pervasivos no terreno, comumente acompanhando zonas de fraturas nas rochas, por vezes com desprendimento de blocos (ponto IV). Nos taludes são frequentes os deslizamentos, com acúmulo de depósitos de tálus carreando vegetação do topo da falésia, e nos trechos de praias é evidente o processo erosivo indicado pelo reduzido volume arenoso na face de praia em baixa-mar e afloramento do lençol freático (ponto VI; Figura 44a e b). Nos pontos onde há habitações no topo da falésia, geralmente próximas às bordas dos taludes, destaca-se o lançamento de águas superficiais diretamente na praia, e acessos de usuários às praias (Figura 44c), comumente aproveitando a compleição de ravinamentos.

Figura 44 – Evidências de processos erosivos no Setor NE; (A) Erosão no topo da falésia; (B) Afloramento do lençol freático; (C) Abertura de acesso à praia.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 45 - Mapa de Diagnóstico das condicionantes ao risco de desastres do Setor NE.

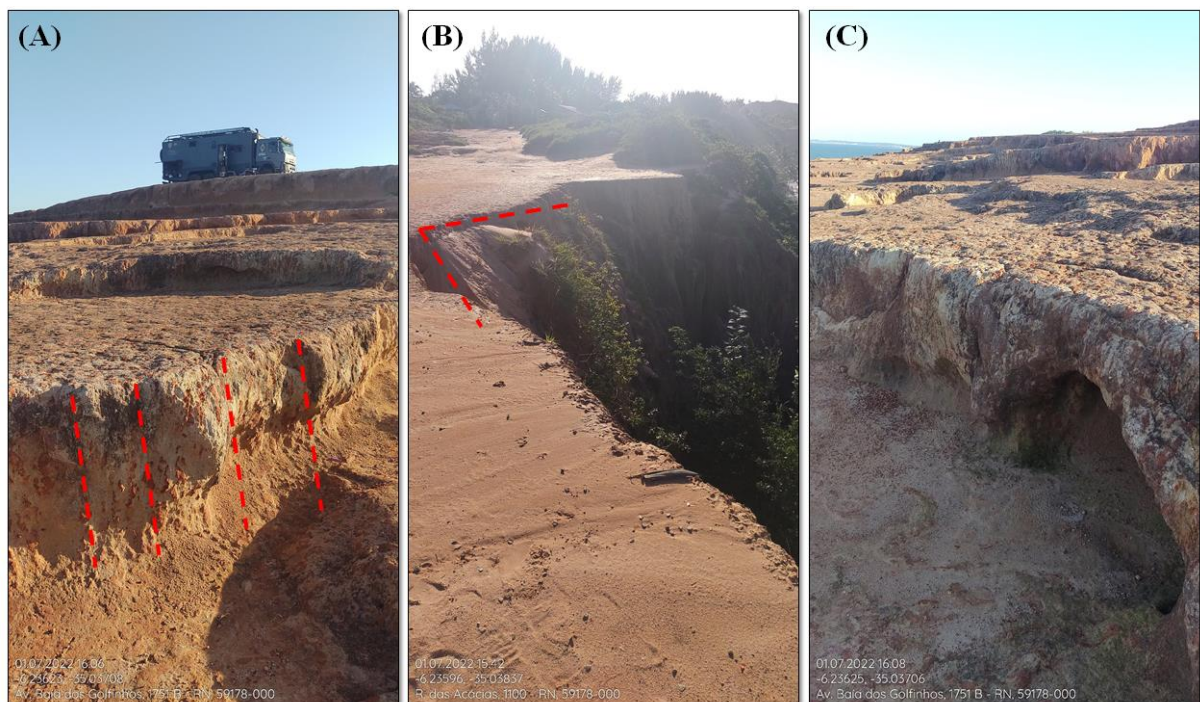


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O Setor S (Figura 47) compreende, sobretudo, o Chapadão de Pipa, em que há redução nas infraestruturas instaladas próximas às bordas das falésias, entretanto se destaca pela intensa circulação de turistas e comerciantes. No topo do Chapadão, trecho desprovido de vegetação, ocorre conspícuas feições erosivas e cicatrizes de deslizamentos prévios (pontos IV e VI).

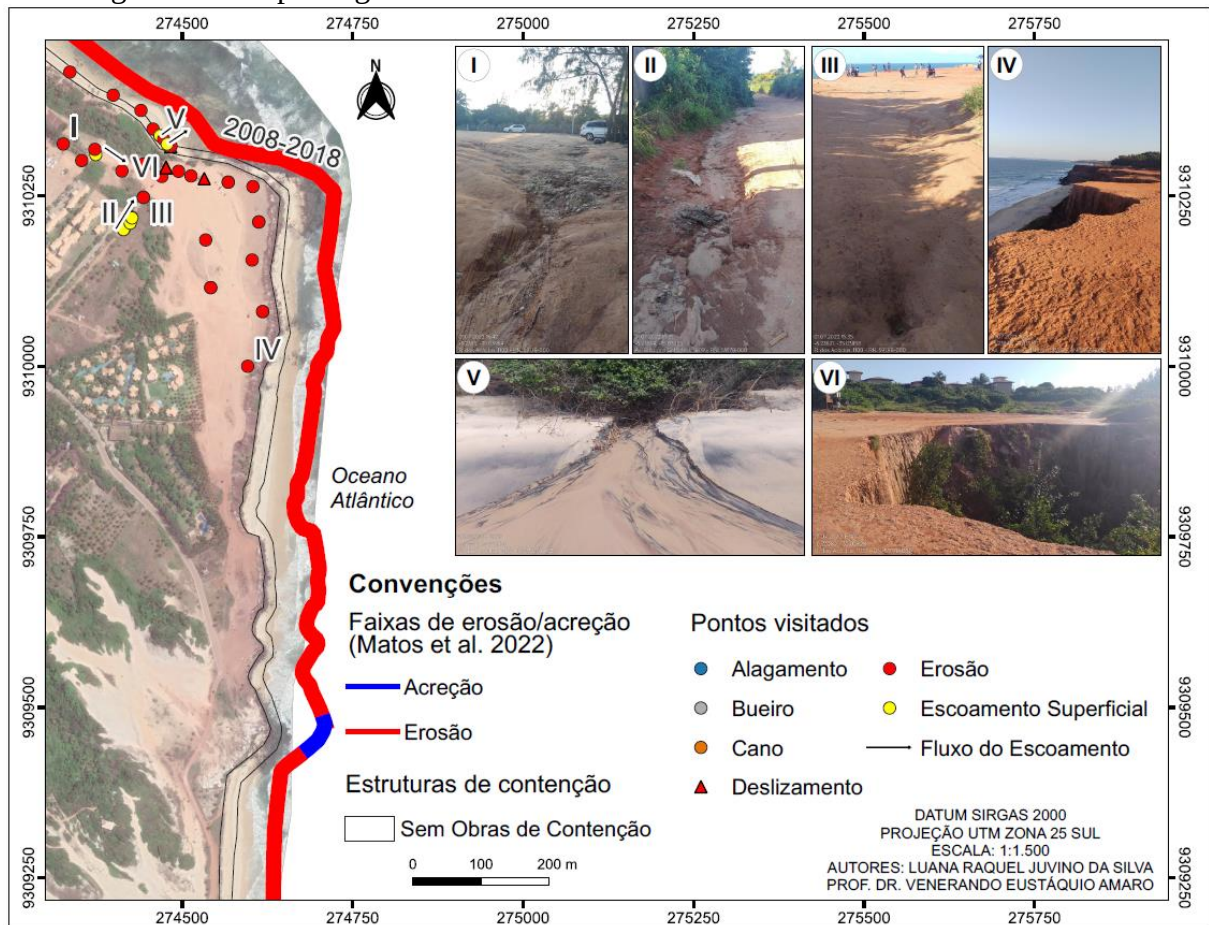
Nesta área foram identificadas características que, segundo Lana *et al.* (2021), precisam ser consideradas no tocante à setorização de áreas de risco a movimentos gravitacionais de massa, tais como: fraturas verticais paralelas (Figura 46a) e horizontais oblíquas (Figura 46b); trincas e degraus de abatimento (Figura 46c); nenhum controle do fluxo hidrológico; falta de sinalização sobre eventuais riscos.

Figura 46 – Padrão erosivo do Chapadão de Pipa; (A) Fraturas verticais paralelas; (B) Fraturas horizontais oblíquas, com evidência de deslizamento; (C) Degraus de abatimento.



Por meio dos arruamentos de acesso à área ocorre o aproveitamento das infraestruturas instaladas para o escoamento pluvial, lançado diretamente na falésia (pontos I, II e II) e, conseqüentemente, acentuando a erosão. Na porção basal do talude, os movimentos gravitacionais constantes somam-se aos trechos de intensa de erosão marítima, com surgência do lençol freático e erosão tanto do talude como da praia defrontante (ponto V).

Figura 47 - Mapa diagnóstico das condicionantes de risco de desastres do Setor S.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

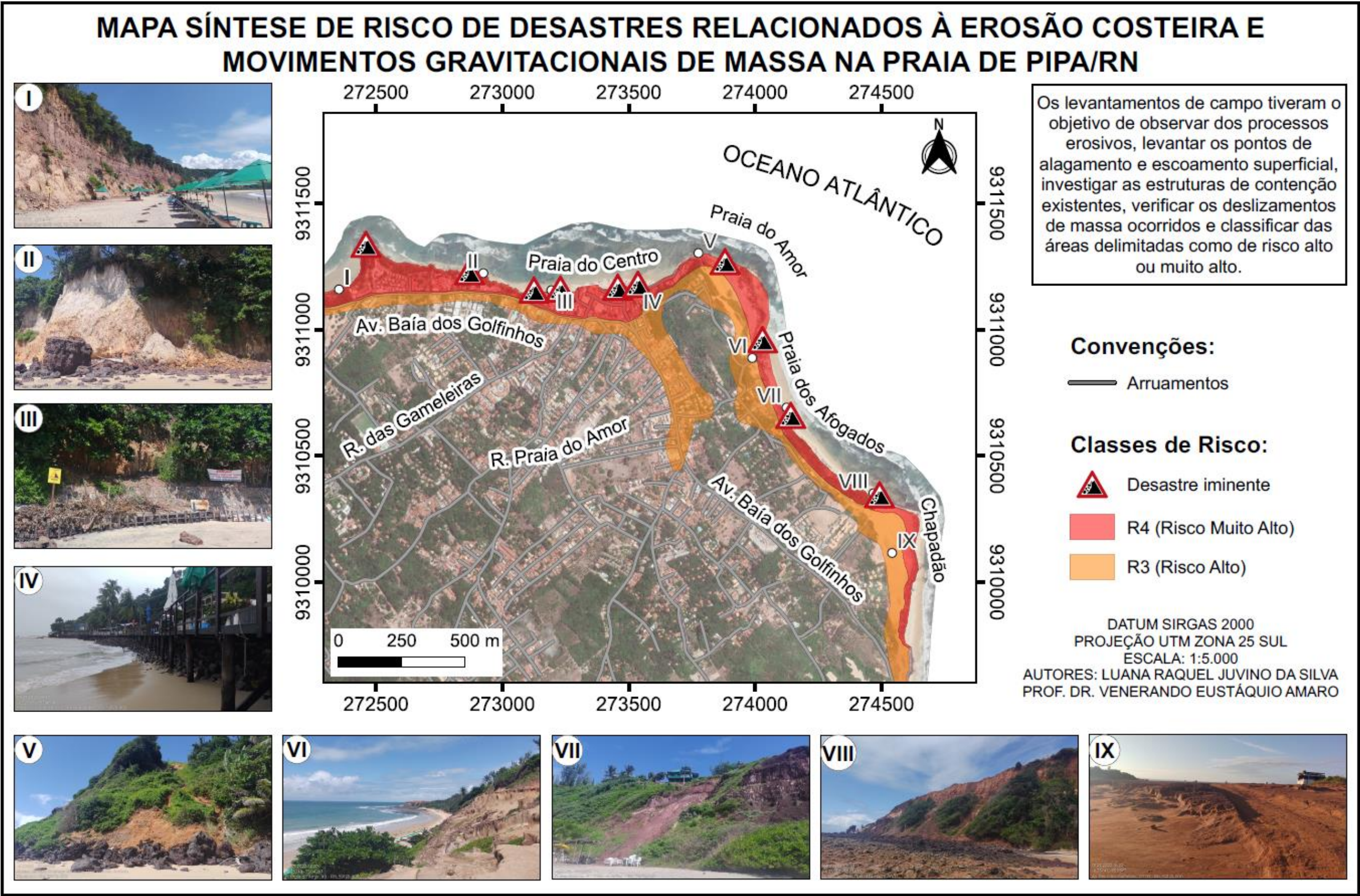
Com base nos mapas diagnósticos de feições erosivas descritas nos terrenos foi elaborado o mapa síntese de risco de desastres relacionados à erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa (Figura 48), com ênfase para as categorias de risco alto (R3), risco muito alto (R4) e trechos de alta probabilidade de desastre iminente. Nos setores com menos ocupação da orla marítima com habitações, a classificação de risco muito alto (R4) se justifica pela circulação contínua de pessoas e uso intermitente das praias.

No setor de risco muito alto (R4) ocorrem locais com frequentes deslizamentos (pontos I, II, III, V, VII e VIII); grau elevado de retração da linha de praia; presença frequente de pessoas (pontos I, IV, IX); habitações no topo e base das falésias (VII), mesmo que intermitentes; infraestruturas de escoamento superficial direcionadas às bordas das falésias e praias; presença de estruturas de contenção que comumente potencializam o processo erosivo.

O setor definido como de risco alto (R3) situa-se distanciado poucas centenas de metros das bordas das falésias e praias, com algumas áreas de dunas e vegetação remanescentes. Entretanto, possui múltiplos pontos de alagamento e o escoamento superficial

e inteiramente direcionado para os setores de risco muito alto (R4), que já causa extensos e largos ravinamentos, quando o fluxo ocorre sobre trecho não pavimentado, o que acelera a perda de solo. Ambos os setores devem ser continuamente monitorados pelos órgãos responsáveis com o intuito de se evitar a deflagração de quaisquer mecanismos específicos de movimentos de massa e, por conseguinte, perdas econômicas e/ou de vidas humanas.

Figura 48 - Mapa Síntese de Risco de Desastres da Área de Estudo.



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os aspectos geológico, geomorfológicos, climáticos e cênicos da região costeira do RN, com paredões naturais e praias arenosas compõe uma exuberante beleza natural, responsável pelo impulso turístico do Estado (NUNES, 2014). Os municípios do litoral potiguar se desenvolveram sobre os extensos Tabuleiros Costeiros, como no caso de Tibau do Sul, comumente de modo desordenado e com políticas públicas inadequadas de uso e ocupação da orla marítima (SILVA, *et. al.*, 2003). Os recentes casos de desabamento de massas do topo das falésias na praia de Pipa, com os consequentes prejuízos sociais, ambientais, econômicos e à integridade física dos usuários, têm revelado a necessidade e a importância de estudos de análise de risco à erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa nos ambientes costeiros ocupados.

Neste sentido, esta dissertação possibilitou a proposição metodológica para elaboração do mapa síntese de risco de desastres relacionados à erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa para a praia de Pipa, através de abordagem baseada na integração de múltiplos perigos associados às inter-relações entre esses perigos (fatores geoambientais e antrópicos desencadeadores). Os dados de geologia, geomorfologia, vegetação, declividade, eventos extremos de precipitação, clima de ondas, uso e cobertura do solo, escoamento pluvial, ocorrência de deslizamento de massa e as estruturas de contenção instaladas na linha de praia foram avaliados e verificados por modelagem numérica e em campo.

A análise da variabilidade de EEP, determinando a quadra chuvosa para o período estudado (maio a julho) e o limiar de EEP98 (70mm) utilizado nas verificações, possibilitou a especialização dos EEP, e consequente, elaboração do mapa de variabilidade de eventos extremos de precipitação para a área de estudo. Entendendo que a ocorrência de EEP potencializam os eventos naturais extremos (desastres), a consideração dessa variável foi de suma importância, sem um dos diferenciais deste trabalho.

As classes temáticas abordadas foram fundamentais para caracterizar e mensurar a vulnerabilidade local, por meio de informações de detalhe espacial (escala 1:5.000). Assim, na análise multicritério pode-se constatar a relação direta entre a vulnerabilidade com as classes de declividade integradas com as características da cobertura vegetal e a ocorrência de chuvas intensas, variáveis fundamentais para se determinar os setores mais suscetíveis às alterações.

Na análise do regime de ondas foi possível identificar que em águas profundas, ocorre o predomínio de ondas de ESE (Leste-Sudeste), com alturas significativas de 1,47m em um período médio de 7,61s, em condições de tempestades as ondas alcançam 2,26m em 11,62s. Essas características são extremamente relevantes para o entendimento da propagação de onda até a linha de praia, além de possibilitar a análise dos seus potenciais energéticos e seus efeitos na dinâmica sedimentar costeira localmente.

As intensas erosões costeiras, a que as falésias ativas de Tibau do Sul estão submetidas, geram o recuo da linha de costa, devido à intensificação do desmatamento da área para a instalação de edificações. O sobrepeso instalado nas superfícies expostas dos taludes, potencializa a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. As quedas e/ou deslizamentos de material (solo, rocha e/ou vegetação) estão fortemente relacionados à incidência das chuvas e da ação direta das ondas. As implantações localmente de estruturas de contenção ao efeito erosivo, executadas de forma inadequada, visando a minimizar os efeitos causados pelo impacto direto de ondas, provocam a intensificação dos processos erosivos. É interessante mencionar, que essas mitigações precisam de uma quantificação e dimensionamento rigorosos em termos de energia de onda. Desta forma, nas falésias ativas de Pipa, os riscos aos desmoronamentos estão fortemente relacionados à erosão pluvial (setores com contenção) e à marinha (setores sem contenção). Portanto, a possibilidade de acontecerem desastres e a magnitude dos danos a eles relacionados, constituem riscos classificados em alto (R3) e muito alto (R4), conforme a proposta de Lana *et al.* (2021).

Alinhado às diretrizes propostas pela Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres, este trabalho contribui com informações que auxiliam na tomada de decisões referentes às intervenções para a redução do grau de risco e na elaboração de um plano de contingência, bem como para licenciamentos ou não e fiscalização de regiões costeiras, aos órgãos de gestão responsáveis pelo planejamento e controle ambiental costeiro do município de Tibau do Sul no litoral oriental potiguar.

REFERÊNCIAS

- AIRES, J.; NGUIZARE, A. C.; CRUZ, D. S. **Uma história contada como história: memórias dos nativos de Pipa-RN**. XV Encontro de Ciência Sociais do Norte e Nordeste e Pré-Alas, Brasil, 04 a 07 de setembro de 2012, UFPI, Teresina/PI, 2012.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. D.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. **Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no nordeste oriental**. In Congresso Brasileiro de Geologia. 1988.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F. **A formação Barreiras: revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte**. Estudos Geológicos. Série B. Estudos e Pesquisas, v. 10, 1991.
- ALHEIROS, M.M. e FERREIRA, M da G.V.X. **A Sub-Bacia Cabo. Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte**. Recife, UFPE- Estudos Geológicos, Série B Vol.10, 1991.
- ALMEIDA, L. R. D.; AMARO, V. E.; MARCELINO, A. M. T.; SCUDELARI, A. C. Avaliação do clima de ondas da praia de Ponta Negra (RN, Brasil) através do uso do SMC-Brasil e sua contribuição à gestão costeira. **Revista de Gestão Costeira Integrada** 15(2): 135-151, 2015.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol 22, nº 6, 711-728, 2013.
- ALVES, J. A. **Turismo, recursos de uso comum e conflitos socioambientais em Pipa-Tibau do Sul/RN: uma perspectiva à luz dos princípios de Ostrom**. 2018. 243 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2018.
- AMARAL. **Contribuição ao estudo da evolução morfodinâmica do litoral oriental sul do Rio Grande do Norte, entre Ponta de Búzios e Baía Formosa**. 252p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.
- AMARO, V. E.; GOMES, L. R. S.; LIMA, F. G. F. de; SCUDELARI, A. C.; NEVES, C. F.; BUSMAN, D. V.; SANTOS, A. L. S. Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil. **Marine Geodesy**. 0:1-25, march 2014.
- AMARO, V. E.; CARVALHO, R. C.; MATOS, M. F. A.; INGUNZA, M. D. P. Durante; SCUDELARI, Ada Cristina. Avaliação da suscetibilidade do solo à erosão nas falésias do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, nº1, 2021.
- AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C.; OLIVEIRA, D. S. de; LACERDA, I. L. C. de; MATOS; M. de F. A. de. Análise de Índices de Vulnerabilidade Física com uso de

geotecnologias na região da Barreira do Inferno/RN. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 7, n° 2, 2021.

AMORIM, A. C. B.; SCUDELARI, A. C.; AMARO, V. E.; MATOS, M. de F. A. de. Variabilidade dos Extremos de Precipitação Diária na Cidade de Natal, Estado do Rio Grande do Sul, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, vol. 42 – 4, p. 284 – 295, 2019.

APPELQQUIST, L. R.; BALSTROM, T. Application of the Coastal Hazard Wheel methodology for coastal multi-hazard assessment and management in the state of Djibouti. **Climate Risk Management** 3, p. 79-95, 2014.

ARAÚJO, M. C. C. **Uma viagem insólita: de um território pesqueiro a um paraíso turístico – Pipa/RN**. 198f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

BRASIL, 2004. Decreto nº 5.300, de 07 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC**, dispõe sobre as regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5300.htm>. Acesso em: 03 fev. 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Ministério das Cidades e IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Brasília, 2007.

BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. ; BEZERRA, F. H. R.; TATUMI, S. H. ; GIANNINI, P. C. F. Geologia e Geomorfologia do Quaternário Costeiro do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista de Instituto de Geociências – USP**, Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 4, n. 2, p. 1-12, outubro 2004.

BEZERRA, F.; AMARO, V.; VITA-VINZI, C.; SAAD, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **J. South Amer. Earth Sci.**, 14: 61–75. 2001.

BUSMAN, D. V.; AMARO, V. E.; SOUZA-FILHO, P. W. Análise estatística multicritério de métodos de vulnerabilidade física em zonas costeiras tropicais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, p. 499-516, 2016.

BUSMAN, D. V. **Zoneamento da dinâmica costeira – aplicação de geotecnologias em apoio à gestão costeira integrada na Praia Atalaia – PA e trecho de praias entre os Municípios de Guamaré e Macau – RN, setor sob influência da indústria petrolífera**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016, 185p.

CAMARA, M. R.; SCUDELARI, A. C.; MATOS, M. de F. A. de; AMARO, V. E.; Análise de recuo de falésias do Rio Grande do Norte através de Métodos Geoestatísticos. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Foz do Iguaçu, nov. 2019.

CAMARA, M.; SCUDELARI, A.; AMARO, V.; MATOS, M.; RABELO, T. Geotecnologias como subsídio para gestão de ambientes costeiros: análise do recuo em falésias/arribas no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e suas implicações socioambientais. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)**, nº 16 (março). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 53-79, 2019.

CAMARA, M. R. **Análise de recuo de falésias no litoral do Estado do Rio Grande do Norte**. 2018. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CTEC, Pós Graduação em Engenharia Civil, Natal, 2018.

CAMUS, P.; MENDEZ, F.J; MEDINA, R.; TOMAS, A.; IZAGUIRRE, C. High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. **Coastal Engineering**, 72:56-68, 2013.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia Prática**. Eletrobrás, CPRM, Rio de Janeiro, 1994.

CÓRDOBA, V. C.; JARDIM DE SA, E. F.; SOUZA, D. C.; ANTUNES, A. F. Bacia de Pernambuco-Paraíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 391-403, nov, 2007.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Diagnóstico do Município de Tibau do Sul**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Desenvolvimento Energético. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil. Recife, set. 2005. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17279/rel_tibau_sul.pdf?sequence=4 >. Acesso em: 02 fev. 2021.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blücher, 2ª edição, 1980.

CRUZ, R. C. A. **Geografia do Turismo: de lugares a pseudo-lugares**. São Paulo: ROCA, 2007.

DINIZ, R.F. **Erosão costeira e o desenvolvimento de costa com baías em forma de zeta no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte**. Resumos. 50a. Reunião Anual da SBPC. Natal-RN, 1998.

DRMIMS – Disaster Risk Management Information Management System. SADC – DRM IMS. **Sendai Framework for DRR**. 2021. Disponível em: <https://drmims.sadc.int/en/sendai-framework/sendai-framework-for-drr>. Acessado em: 23 de julho de 2022.

DRMIMS – Disaster Risk Management Information Management System. SADC – DRM IMS. **Disaster Risk Models and Indicators**. 2021. Disponível em: <https://drmims.sadc.int/en/sendai-framework/disaster-risk-models-and-indicators>. Acessado em: 23 de julho de 2022.

DRMIMS – Disaster Risk Management Information Management System. SADC – DRMIMS. **Risk Components**. 2021. Disponível em: <https://drmims.sadc.int/en/sendai-framework/risk-components>. Acessado em: 30 de julho de 2022.

DUCHAUFOR, P. Pedology pedogenesis and Classification. English Edition. **George Allen and Unwin**, London, 1982.

EMPARN. **Relatórios Pluviométricos**, 2022. Disponível em: <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br/relatorios/relatorios-pluviometricos>>. Acesso em: 20 de julho de 2022.

FIRMINO, L. A. C.; BULHÕES, E. M. R. Aspectos das Ondas Oceânicas Em Áreas De Erosão Costeira. Litoral do Espírito Santo, Brasil. **Finisterra**, LV (113), pp. 23-44, 2020.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: 2ª ed. Edgard Blucher, 194 p., 1984.

HUANG, X.; SONG, Y.; HU, X. Deploying Spatial Data for Coastal Community Resilience: A Review from the Managerial Perspective. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 18. 830, 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tibau do Sul: Panorama**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/tibau-do-sul/panorama>>. Acesso em: 01 fev. 2021

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções da população Brasil e Unidades da Federação: nota metodológica n. 1, Forma de cálculo das projeções mensais da população com data de referência nos dias 1o e 15 de cada mês e por segundo**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 21 p, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=notas-tecnicas>. Acesso em: jul. 2022.

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. Processos da Dinâmica Superficial. In.: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (eds) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, p. 131 – 152, 1998.

IPCC – Intergovernmental Painel on Clima Change. **Climate Change 2014: Impacts Adaptation and Vulnerability**, unedited accepted final draft report, IPCC. 2014.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Manual de ocupação de encostas**, São Paulo: USP, 1991.

JIMÉNEZ, Jose A.; LLASAT, Maria-Carmem; ROMERO, Rut; CABALLERO, Isabel; VALDEMORO, Herminia; RIGO, Tomeu; LLASAT-BOJJA, Montserrat. Mapping cumulative compound coastal risk to mult-scale climate hazards in the Mediterranean. **EGU General Assembly 2021**, mar. 2021.

KENDALL, M.G. **Rank correlation methods**. London, Charles Griffin, 120p. 1975.

LANA, J. C., JESUS, D. D., & ANTONELLI, T. **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: setorização de áreas de risco geológico**. 2021.

LOHMANN, G., & PANOSSO NETTO, A. **Teoria do Turismo: Conceitos, Modelos e Sistemas**. São Paulo, 2008.

LOPES, R. M. R; ALVES, L. Da S. F. O Desenvolvimento do Turismo no Estado do Rio Grande do Norte a partir da Ação Pública. **Revista de Cultura e Turismo – CULTUR**, ano 09, nº 03, out., 2015.

MABESOONE, J. M., CAMPOS e SILVA A.; BEURLIN, K. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira Geociências**, vol. 2, nº 3, 1972.

MABESOONE, J. M.; SILVA, J. C. **Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e do Rio Grande do Norte – Aspectos Geomorfológicos**. Universidade Federal do Rernambuco, Recife, 1991.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, 13: 245–259. 1945.

MATOS, M. F. A.; GURGEL, D. F.; SCUDELARI, A. C.; AMARO, V. E. Estimativa da taxa anual e sazonal do transporte longitudinal sedimentar na zona costeira do litoral oriental do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 1, (Jan-Mar) p. 79-99, 2020.

MATOS, M. F. A.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C.; ROSADO, S. B. Estimativas das alterações de longo prazo na linha de praia do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, nº 1, 2022.

MELO, Flavia Taone Lira de. **Aspectos morfo-dinâmicos do complexo lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas, região costeira sul oriental do RN**. 118 f. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

MITCHELL, J.K e COUTINHO, R.Q. Special Lecture: Occurrence, Geotechnical Properties of Some Soils of America. **IX P.C.S.M.F.E**. Viña Del Mar, Chile. Sociedade Chilena de Geotecnia, 1991.

MINISTÉRIO DO TURISMO. **Pipa atinge o topo do turismo nacional**. Disponível em: <<https://www.gov.br/turismo/pt-br/assuntos/noticias/pipa-atinge-o-topo-do-turismo-nacional#:~:text=O%20munic%C3%ADpio%20de%20Tibau%20do,do%20ranking%20do%20turismo%20nacional>>. Acessado em: 22 de julho de 2022.

MINISTERIO DAS CIDADES; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: 2007. 176 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações**. Apostila de treinamento. 2004. 73p.

MOREIRA, M. Q. **Geodinâmica das sequências sedimentares cenozoicas e neotectônica da região litorânea do Município de Touros-RN**. Relatório de Graduação (UFRN), Natal, 1994.

MOURA, M. V. M.; YOE, A.; REYES-PERES, D.; GAUW, D. S. de. Levantamento geofísico com GPR em um campo de dunas eólicas em Tibau do Sul-RN. **Revista de Geologia**, v. 19, 2006.

MUEHE, D. **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial. 2018. 759p.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs#:~:text=Os%20Objetivos%20de%20Desenvolvimento%20Sustent%C3%A1vel%20%C3%A3o%20um%20apelo%20global%20%C3%A0,de%20paz%20e%20de%20prosperidade.>>>. Acesso em 21 set., 2022.

NOGUEIRA, Francisco César Costa. **Estruturas tectônicas cenozóicas na porção leste da Bacia Potiguar-RN**. Tese (Doutorado), Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

NOVAK, L. P.; LAMOUR, M. R. Coastal Erosion Risk Assessment in Paraná Urbanized Beaches. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 163-185, jan-mar, 2021.

NUNES, M. R. de Oliveira. **Investimentos Internacionais e o Turismo em Tibau do Sul – RN**. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado em Turismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Turismo. Natal, 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Resolución aprobada por la Asamblea General el 3 de junio de 2015**. 92ª sesión plenaria. 3 de jun. 2015.

PBMC, 2016. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Eds.: MARENGO, J. A.; SCARANO, F. R. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 184 p.

PFALTZGRAFF, P. A. S.; Torres, F. S. M. **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Recife. 2010.

PEREIRA, V. H. C. **Inferência geográfica para delimitação de corredores ecológicos: um estudo de caso para a Mata Atlântica do município de Tibau do Sul/RN**. 144 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2013.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, London, 28 (2): 126-135. 1979.

PIÉRRRI, Guilherme Cherem Schwarz. **Análise de Risco à Erosão Costeira na Região de Tibau do Sul/RN Através de Mapeamento Geoambiental e Análise Morfodinâmica**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal, 2008.

PIKEY, O. H.; NEAL, W. J.; BUSH, D. M. **Coastal Erosion**. Coastal Zones and Estuaries. In.: ISLA, Federico Ignacio; IRIBARNE, Oscar. Encyclopedia of Life Systems. Eolss Publishers Co. Ltd., Oxford, United Kingdom, 2009.

PINHEIRO, L. R. de S. G.; GURGEL, D. de F.; BARROS, J. E. C.; TEIXEIRA, A. F. N.; SCUDELARI, A. C.; AMARO, V. E. Caracterização do Clima de Ondas na Plataforma Continental do Rio Grande do Norte, NE/Brasil, Através do SMC-Brasil. **Revista de Geologia**, vol. 30, nº 2, 283 – 302, 2017.

PNUMA - Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente. GEO BRASIL 2002: **Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Brasília: IBAMA/PNUMA, 2002.

POLETTE, M.; BARROS, F. L. Os desafios urbanos na zona costeira brasileira frente às mudanças climáticas. Costas – **Revista Iberoamericana de Manejo Costeiro Integrado**, vol. 1, nº 1, jul. 2012.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System (versão 3.16.5)**. 2022. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.

READING, H. G.; COLLINSON, J. D. **Clastic coast**. In: **READING, H. G. (Ed.) Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy**. 3a ed. Oxford: Blackwell Science, p. 154 – 231, 1996.

RIFFEL, E. S.; GUASSELLI, L. A.; BRESSANI, L. A. Desastres Associados a Movimentos de Massa: Uma Revisão de Literatura. **Boletim Goiano de Geografia**, Universidade Federal de Goiás, Goiás, vol. 36, núm. 2, maio-agosto, pp. 285 – 305, 2016.

SALIM, J.; SOUZA, C. J.; MUNIZ, G. C. B.; LIMA, M. R. Novos subsídios para a elucidação do episódio “Barreiras” no Rio Grande do Norte. **Simpósio de Geologia do Nordeste**, 7. Fortaleza, 1975.

SARAIVA JÚNIOR, J. C. **Classificação tipológica ambiental das falésias costeiras do Estado do Rio Grande do Norte (RN), Nordeste do Brasil**. 292 f. Tese (Doutorado) Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós Graduação e Pesquisa em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

SCUDELARI *et al.* Identificação Preliminar Dos Impactos Ambientais Devidos À Erosão Costeira Nas Falésias De Pipa/RN. **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campo Grande, 2005.

SEVERO, R. N. F. **Caracterização Geotécnica da Falésia da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul – RN Considerando a Influência do Comportamento dos Solos nos**

Estados Indeformado e Cimentado Artificialmente. 280f. Tese (Doutorado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2011.

SEREVO, R. N. F. **Análise da estabilidade das falésias entre Tibau do Sul e Pipa- RN.** 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) Univerisidade Federal do Rio Grande do Norte – Centro de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Sanitária, Natal, 2005.

SILVA, B. M. F.; SANTOS JÚNIOR, O. F.; FREITAS NETO, O.; SCUDELARI, A. C. Erosão em Falésias Costeiras e Movimentos de Massa no Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Geociências**, v. 39, n. 2, p. 447-462, UNESP, São Paulo, 2020.

SILVA, R. I.; BEZERRA, M. M. O.; SILVA, M. G.; SANTOS, J. O. Atividade Turística em Natal e Tibau do Sul: Análise a partir de Medidas de Especialização para o Período 2001 – 2016. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**, v. 9, p. 731-752, 2019.

SILVA, B. M. F.; FREITAS NETO, O. de; SANTOS JÚNIOR, O. F.; BARBOSA, N. M.; FRANÇA, F.A N.; ARAUJO, E. E. B. Stability Evolution with Basal Erosion Increase in Cliffs on the Coast of Rio Grande do Norte, Brazil. **Applied Mechanics and Materials**, v. 858, p. 342-347, 2016.

SILVA, B. F. P.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; PERESETSKY, A.; BRITO, B. M. de. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, 313-339, 2011.

SILVA, E. F.; OLIVEIRA, J. L. E. Gestão Territorial e Ocupação do Solo no Município de Tibau do Sul/RN – Brasil. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, nº 1, p. 62 – 79, jan/jun. 2013.

SILVA, W. de S. e; SANTOS JÚNIOR, O. F. dos; AMARAL, R. F. do; SCUDELARI, A. C. Erosão Costeira nas Falésias de Tibau do Sul – Litoral Leste do Rio Grande do Norte. **II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa; IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário; II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas**, v. 1, p. 1-10, 2003.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha: Com Termos Correspondentes Em Inglês, Francês e Espanhol.** T. A. Queiroz, São Paulo/SP, 1992.

TERZAGUI, K. **Mecanismos dos escorregamentos de terra.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, 41 p. 1967.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de Metodologia de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP.** 240 f. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, São Paulo, 2007.

TOMINAGA, L. K.; SANTOTO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais – Conhecer para prevenir.** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009.

TORRES, R. R.; FERREIRA, N. J. Case studies of easterly wave disturbances over Northeast Brazil using the Eta Model. **Weather Forecast**, n. 26, 225–235, 2011.

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: SCHUTER & KRIZEK (eds.). **Landslides: analysis and control**. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC, 1978.

UN ATLAS OF THE OCEANS, 2002-2016. **Coasts and Coral Reefs**. Disponível em: <http://www.oceansatlas.org/subtopic/en/c/304/>. Acesso em: 01 abr. 2021.

UNISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. IDR, 2009. Disponível em: https://www.undp.org/georgia/publications/united-nations-international-strategy-disaster-reduction-unisdr-terminology-2009?utm_source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=US_UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&c_src=CENTRAL&c_src2=GSR&gclid=Cj0KCQjw0JiXBhCFARIsAOSAKqDKxT85WQBnwNpv4r-BSE8NHZmh8r9zcnrLMevGEja6sWAVzJAYt1saAtyOEALw_wcB. Acesso em: 30 jul. 2022.

VITAL, H.; SANTOS NETO, F.; PLÁCIDO JÚNIOR, J.S. Morfodinâmica de um canal de maré tropical: Estudo de caso na costa norte rio grandense, Nordeste do Brasil. **Revista da Gestão Costeira**, v. 8, n. 2, p. 113-126, 2008.

WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. London, Academic Press. 648 p. 2006.

WOLLAERT, P. **The Sustainable Development Goals: A Global Vision for Local Policy and Action**. UNITAR, 2017. Disponível em: <https://www.cdo.ugent.be/sites/default/files/downloads/WS1%20Bijlage%20%20-%20presentatie%20SDGs%20CIFAL%20Flanders.pdf>. Acesso em 13 set., 2022

YE YINCAN, et al. **Chapter 7 – Coastal Erosion**, In.: YE YINCAN et al., *Marine Geo-Hazards in China*, Elsevier, 2017. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128127261000073>. Acesso em 10 mai., 2021.