



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

**TEREZA CATRINA FERREIRA FERNANDES CÂMARA**

**PROCESSO EROSIVO E DEFESAS COSTEIRAS DAS PRAIAS DE PONTA  
NEGRA E VIA COSTEIRA, NATAL/RN: UMA ANÁLISE ESTRUTURAL E  
AMBIENTAL**

**NATAL/RN**

**2023**

TEREZA CATRINA FERREIRA FERNANDES CÂMARA

**PROCESSO EROSIVO E DEFESAS COSTEIRAS DAS PRAIAS DE PONTA  
NEGRA E VIA COSTEIRA, NATAL/RN: UMA ANÁLISE ESTRUTURAL E  
AMBIENTAL**

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

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr. Venerando Eustáquio Amaro.

Co-orientadora: Prof. Dra. Ada Cristina Scudelari.

NATAL/RN

2023

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

Câmara, Tereza Catrina Ferreira Fernandes.

Processo erosivo e defesas costeiras das praias de Ponta Negra e Via Costeira, Natal/RN: Uma análise estrutural e ambiental / Tereza Catrina Ferreira Fernandes Câmara. - 2023. 107f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Natal, RN, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro.  
Coorientador: Profa. Dra. Ada Cristina Scudelari.

1. Erosão costeira - Dissertação. 2. Proteção costeira - Dissertação. 3. Linha de praia - Dissertação. 4. Geoprocessamento - Dissertação. 5. Nordeste do Brasil - Dissertação. I. Amaro, Venerando Eustáquio. II. Scudelari, Ada Cristina. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 551.435.32(813.2)

TEREZA CATRINA FERREIRA FERNANDES CÂMARA

**PROCESSO EROSIVO E DEFESAS COSTEIRAS DAS PRAIAS DE PONTA  
NEGRA E VIA COSTEIRA, NATAL/RN: UMA ANÁLISE ESTRUTURAL E  
AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte integrante do processo de obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Ada Cristina Scudelari– Co-orientadora (UFRN)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Del Pilar Durante Ingunza – Examinador Interno (UFRN)

---

Prof. Dr. André Luís Silva dos Santos – Examinador Externo (IFMA)

**Natal, 31 de maio de 2023.**

*Dedico este trabalho aos meus pais, que  
sempre estiveram ao meu lado em todas as  
dificuldades, me apoiando com amor, carinho  
e confiança.*

## AGRADECIMENTOS

Faz-se necessário agradecer nominalmente àqueles que diretamente ou indiretamente, participaram, de alguma forma, na elaboração desta tese. Desta forma, expresso aqui os meus mais sinceros agradecimentos:

Agradeço em primeiro lugar a Deus, aquele que tudo sabe e que inteiramente nos conhece. Obrigada Senhor, por ter me dado instrução, disposição e forças para enfrentar um trabalho de mestrado e conseguido conciliar as tarefas do trabalho, acadêmicas e familiares ao mesmo tempo.

Agradeço aos meus pais, que sempre me proporcionaram uma educação de qualidade e me incentivaram a progredir nos meus estudos, acreditando sempre no meu potencial e me proporcionando pensamentos positivos nas fases mais difíceis. Agradeço ao meu marido, por ter auxiliado em diversas etapas, inclusive no suporte emocional para a conclusão desse trabalho.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental da UFRN e aos outros que tive contato e que de alguma forma me auxiliaram na minha jornada até esse momento. Sou grata pela dedicação seu tempo, da sua atenção e da sua paciência para passar os seus conhecimentos e experiências para mim e para todos os alunos. É fundamental que essa profissão seja reconhecida e admirada, pois é através da educação que a transformação da sociedade pode acontecer.

Agradeço a cada um dos meus companheiros de sala, os quais, com suas individualidades, tornaram essa jornada de dois anos mais fácil e mais divertida, em especial a minha amiga Ana Carolina, minha irmã em cristo, que sempre compartilhou comigo as dificuldades e desafios.

Quero agradecer também ao meu orientador Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro por ter acreditado no meu potencial e por ter dedicado tanto tempo para me instruir na escrita e metodologia utilizada neste trabalho, além da disposição para me acompanhar nas diversas visitas de campo. Acredito que todo esse nosso esforço fez com que atingíssemos os nossos objetivos e assim obtivemos os resultados almejados. Agradeço também a minha co-orientadora Profa. Ada Cristina Scudelari, por ter dedicado seu tempo para transmitir o seu conhecimento.

## RESUMO

Os agentes litorâneos como as ondas, correntes marítimas, ventos e marés têm capacidade de transportar os sedimentos de um local para outro, de modo a gerar um balanço sedimentar positivo ou negativo nas zonas costeiras. A Praia de Ponta Negra e parte da Praia da Via Costeira em Natal/RN sofrem erosão e tiveram o aporte de sedimentos comprometido devido a urbanização desordenada a partir dos anos de 1990. Diversos problemas se instalaram na praia ocasionados pela energia das ondas, as quais já não tinham espaço para se dissipar, uma vez que a urbanização avançou sobre as praias e solidificou um ambiente que ainda fazia parte de um processo dinâmico. Por ser um dos maiores pontos turísticos da cidade de Natal, a região atraiu o olhar governamental para elaboração de um plano de recuperação praial com a implementação de novas obras de defesa costeira: engorda praial, estrutura de contenção e adequação do sistema de drenagem pluvial que deságua na face praial. Este trabalho teve como objetivo analisar o cenário de erosão costeira e avaliar as obras de defesa costeira implantadas e em planejamento na praia de Ponta Negra e Via Costeira. Fazendo o uso das imagens de satélite, LANDSAT e Sentinel-2, e de ferramentas de geoprocessamento com o *CASSIE* e QGIS foi possível realizar a extração automática de linhas de costas e verificar o balanço sedimentar em área a longo (últimos 30 anos) e médio prazo (últimos 06 anos). O estudo também analisa as patologias das obras de proteção costeira instaladas desde 2012 e as fragilidades que elas ocasionarão para o processo de engorda da praia, assim como estuda os trâmites administrativos de planejamento da recuperação praial. Com o geoprocessamento, percebe-se que a Praia de Ponta Negra enfrenta uma contínua erosão, assim como a porção sul da Praia da Via Costeira. Com relação aos projetos de recuperação praial, percebe-se a falta de integração e harmonia entre eles, o que favorece o surgimento de falhas na definição de pontos relevantes para o bom funcionamento da obra de recuperação.

Palavras-chave: Erosão costeira. Proteção Costeira. Linha de Praia. Geoprocessamento. Nordeste do Brasil.

## ABSTRACT

Coastal agents such as waves, nearshore currents, winds and tides are capable of transporting sediments from one place to another, to generate a positive or negative sediment balance in coastal areas. Ponta Negra beach and part of Via Costeira in Natal/RN suffer erosion and their sediment supply is compromised due to disorderly urbanization from the 1990s onwards. Several problems were installed on the beach caused by the energy of the waves, which no longer had space to dissipate, since urbanization advanced on the beaches and solidified an environment that was still part of a dynamic process. As it is one of the biggest tourist places in the city of Natal, the region attracted the government's attention to the elaboration of a beach recovery plan with the implementation of new coastal defense works: sediments replacement, containment structure and adequacy of the rainwater drainage system that flows into the beach face. This work analyzes the coastal erosion status and evaluates the coastal defense works implemented and in planning at Ponta Negra beach and Via Costeira. Making use of satellite images, LANDSAT and Sentinel-2, and geoprocessing tools such as *CASSIE* and QGIS, it was possible to perform the automatic extraction of shorelines and verify the sedimentary balance in area in the long (last 30 years) and medium term (last 06 years) area. The study also analyzes the pathologies of the coastal protection works installed since 2012 and the weaknesses that they will cause to the process of fattening the beach. With geoprocessing, it is noted that Ponta Negra Beach faces continuous erosion, as well as the southern portion of Via Costeira Beach. About beach recovery projects, there is a lack of integration and harmony between them, which favors the emergence of flaws in the definition of relevant points for the proper functioning of the recovery work.

*keywords: Coastal erosion. Coastal Protection. Shoreline. Geoprocessing. Northeast Brazil.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Zona física e geomorfológica das praias arenosas.....	16
Figura 2: Modificação do perfil praial em função de intempéries naturais.....	17
Figura 3: Deriva praial mediante ação de processos costeiros.....	18
Figura 4: Alternativas de mitigação aos danos causados pela erosão costeira.....	19
Figura 5: Etapas para elaboração de projeto de recuperação praial.....	20
Figura 6: Estrutura de espigão em (a) Praia de Balneário de Camboriú/SC (b) Praia da Avenida Beira-Mar em Fortaleza/CE.....	21
Figura 7: Estrutura de quebra-mar em (a) Angra dos Reis/RJ (b) Paulista/PE.....	22
Figura 8: Enrocamento de rochas (a) Praia de Cabo Branco em João Pessoa/PB (b) Praia de Ponta Negra/RN.....	22
Figura 9: Antes e depois da obra de engordamento da praia de Canasvieiras/SC.....	23
Figura 10: Estruturas de contenção (a) estabilização de encostas (b) contenção para rodovias (c) túnel rodoviário (d) encostas prediais.....	24
Figura 11: Esquema de drenagem em muro de gravidade (a) equipamentos de drenagem (b) esquema da percolação da água.....	25
Figura 12: Municípios Costeiros do Rio Grande do Norte.....	26
Figura 13: Mapa de localização das praias de Ponta Negra e Via Costeira na cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte (RN), Nordeste do Brasil.....	27
Figura 14: Vista aérea (a) Praia de Ponta Negra (b) Praia da Via Costeira.....	28
Figura 15: Feições morfológicas típicas da zona costeira oriental do RN (a) Falésias marinhas ativas; (b) campos dunares.....	29
Figura 16: Formações Geológicas: (a) arenitos e argilitos da Formação Barreiras (b) presença de beachrocks.....	29
Figura 17: Histórico de levantamento de dados das Cartas Náuticas (a) 802 e (b) 810.....	31
Figura 18: Mapa Batimétrico região de Ponta Negra (dez/2011) (a) caminhamento (b) mapa batimétrico.....	32
Figura 19: Levantamento de perfis topobatimétricos da Praia de Ponta Negra.....	33
Figura 20: Mapa batimétrico no trecho do prolongamento do enrocamento da Praia de Ponta Negra.....	34
Figura 21: Média da velocidade do vento – Natal/RN - 1984 a 2012.....	35
Figura 22: Precipitação Acumulada Mensal para a estação Natal (INMET) - 1961-1990.....	36
Figura 23: Estação Maregráfica Trapiche Capitania dos Portos (2004).....	37
Figura 24: Distribuição da velocidade da corrente em Ponta Negra.....	38
Figura 25: Distribuição de frequências da velocidade das correntes para as campanhas de primavera, verão e outono.....	39
Figura 26: levantamento do D50 em 21 perfis de Ponta Negra/RN.....	40
Figura 27: Média anual de TLS - Ponta Negra 2001 a 2015.....	42
Figura 28: Perfis Praiais em Ponta Negra (a) pontos de coleta (b) localização dos perfis praiais.....	43
Figura 29: Ciclo comparativo entre perfis praiais em Ponta Negra (2012-2013).....	44
Figura 30: Volume de sedimentos para 38 perfis praiais (agosto/2015 – junho/2016).....	45
Figura 31: Perfil longitudinal da linha base do enrocamento complementar – Ponta Negra/RN	45
Figura 32: Medições in loco da altura de onda na Praia de Ponta Negra (Próximo do Hotel Plaza).....	47
Figura 33: Relação entre altura de onda e intensidade do vento.....	47
Figura 34: Média mensal da altura significativa de onda para modelo WW3 (2001-2015). .....	49

Figura 35: Magnitude de ondas na praia de Ponta Negra.....	50
Figura 36: Praia de Ponta Negra: (a) Vista da praia com o Morro do Careca ao fundo mostrando a integração da praia com o sistema de dunas preservadas; (b) Verticalização urbana no bairro de Ponta Negra com por volta dos anos 2000; (c) Desastre natural na praia; (d) Obra de enrocamento com blocos de rocha. ....	51
Figura 37: Fluxograma do procedimento metodológico .....	52
Figura 38: Sequência das etapas do programa CASSIE.....	53
Figura 39: Ocupação irregular de comerciantes informais que causam desmatamento das poucas áreas que ainda possuem preservação da fauna, flora e geomorfologia (a) lançamento de água na face praial (b) barracas, cadeiras e depósito de bebidas no talude do calçadão da praia de Ponta Negra. ....	56
Figura 40: Mapeamento da linha de costa das praias de Ponta Negra e Via Costeira, identificando as obras costeiras e o balanço sedimentar. ....	57
Figura 41: Balanço sedimentar da linha de costa das praias de Ponta Negra e Via Costeira baseadas na (a) série de imagens do satélite LANDSAT ( anos de 1992 a 2022); (b) série de imagens do satélite Sentinel-2 (anos de 2016 a 2022) .....	59
Figura 42: Vista aérea do Morro do Careca e de sua extensão para a praia da Barreira do Inferno ao Sul.....	61
Figura 43: Retirada de sedimentos praiais por (a) galeria pluvial (b) fluxo superficial através das escadarias de acesso a pedestres.....	62
Figura 44: Vista do Morro do Careca destacando a redução do volume de sedimentos devido ao processo erosivo (a) em 2012 e (b) em 2022.....	62
Figura 45: Exposição da falésia do Morro do Careca em virtude da carência de sedimentos (a) falésia aparente (b) formação de cavidades na falésia .....	63
Figura 46: Edificação adaptando acesso a praia perdido devido ao rebaixamento do perfil praial/impacto da erosão (a) antes (b) depois.....	64
Figura 47: Muro de contenção com base de fundação comprometida (a) vista geral (b) detalhe da base do muro de contenção.....	64
Figura 48: Mapa do balanço sedimentar do Setor I - Morro do Careca .....	65
Figura 49: Galerias de drenagem embutidas no enrocamento (a) destaque para a desorganização dos blocos de rocha (b) resíduos sólidos presente nas galerias .....	66
Figura 50: Erosão praial causada por galerias de água de drenagem (a) início do Setor II (b) final do Setor II .....	66
Figura 51: Recalques da estrutura de contenção de enrocamento (a) presença de fluxo de água superficial (b) falta de apoio dos blocos de pré-moldado .....	67
Figura 52: Instalações irregulares (a) construção de depósito por comerciantes (b) erosão da base do calçadão por inserção de tubos de drenagem .....	68
Figura 53: Mapa de Balanço Sedimentos do Setor II – Enrocamento de rochas granitóides.....	69
Figura 54: Diferença de nível entre o NMM e o calçadão de Ponta Negra.....	70
Figura 55: Erosão da base da falésia devido a ação constante da maré (a) desprendimento de bloco de rocha (b) Risco de tombamento de coqueiros.....	71
Figura 56: Estrutura de contenção rígida vertical (a) perfil (b) escadaria com deslocamento vertical.....	72
Figura 57: Estrutura dos blocos pré-moldados com (a) agregados reciclados: material cerâmico (b) desgastes e rachaduras (c) agregado reciclado: revestimentos cerâmicos (d) agregado reciclado: isopor .....	73
Figura 58: Mapa de Balanço Sedimentos do Setor III – Estrutura de blocos pré-moldados.....	74
Figura 59: Distribuição de empuxos em muro de gravidade.....	75

Figura 60: Processo de ruptura de estrutura de contenção (a) destaque para escoamento superficial acima da contenção (b) deslizamento completo da estrutura .....	75
Figura 61: Drenagem em estrutura de contenção (a) ausência de drenos (b) presença de um único dreno.....	76
Figura 62: Erosão a jusante de estrutura de contenção. ....	77
Figura 63: Drenagem em estruturas de contenção (a) saída de água acima do aterro da estrutura de contenção (b) afloramento de água na base da contenção.....	77
Figura 64: Hotel Ocean Palace e com duas obras de contenção adjacentes executadas em tempos diferentes.....	78
Figura 65: Bueiros de grande porte presentes na região de hotéis da Via Costeira (a) Hotel Aram; (b) Ocean Palace; (c) entre Aram e Ocean Palace; (d) entre Ocean Palace e <i>Serhs</i> .....	79
Figura 66: Mapa de Balanço Sedimentos do Setor IV – Estruturas de Contenções Privadas.....	80
Figura 67: Mapa de Erosão Costeira da Praia de Ponta Negra (1972 a 2012).....	83
Figura 68: Classificação de danos da erosão na Praia de Ponta Negra .....	84
Figura 69: Mapa de evolução costeira do Setor 3. a) Erosão e acreção entre as décadas de 1988-1998/1998-2008 e 2008-2018 b) taxa de mudança longitudinal às praias de 1988 a 2018 c) taxas de mudança costeira para as três décadas.....	85
Figura 70: Detalhe Construtivo da estrutura de enrocamento de rochas.....	87
Figura 71: Planta de localização da obra de contenção de blocos pré-moldados de concreto. ...	90
Figura 72: Perfil do muro da obra de contenção da praia de Ponta Negra e Via Costeira/RN ...	91
Figura 73: Processo de recuperação praial (a) jazida de exploração (b) configuração final da praia de Ponta Negra .....	92
Figura 74: Trechos de construção do enrocamento complementar da praia de Ponta Negra e Via Costeira/RN.....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de corrente para Praia de Ponta Negra/RN .....	39
Tabela 2: Conjunto de dados de altura de ondas para Praia de Ponta Negra/RN.....	48
Tabela 3: Data e horário da baixa-mar das imagens escolhidas para o geoprocessamento.....	54
Tabela 4: Comparação de soluções para a recuperação praial de Ponta Negra e Via Costeira/RN mencionadas no EVTEA.....	86
Tabela 5: Bacias de contribuição e dissipadores de energia (Ponta Negra/RN) .....	89

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Checklist de verificação utilizado em campo.....	55
Quadro 2: Comparação das alternativas para o sistema de drenagem de Ponta Negra/RN .....	88

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AECG	Área Especial de Controle de Gabarito
AEITP	Área Especial de Interesse Turístico e Paisagístico
ANA	Áreas Non Aedificandi
<i>CASSIE</i>	Coastal Analyst System from Space Imagery Engine
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
Cm	Centímetro
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
E	Leste
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ENE	Lés-Nordeste
EPR	End Point Rate
ESE	Lés-Sudeste
ETM	Enhanced Thematic Mapper
EVTEA	Estudo de Viabilidade Técnico Ambiental
GNSS	Global Navigation Satellite System
hPa	Hectopascal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	Instituto de Defesa do Meio Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IRS	Indian Remote Sensing Satellite
Km	Quilômetro
Km <sup>2</sup>	Quilômetros quadrados
LC	Linha de Costa
LISS	Linear Imaging Self-Scanner
LRR	Linear Regression Rate
M	Metro
METAR	Meteorological Aerodrome Report

MSS	Multispectral Scanner
N	Norte
NBR	Norma Brasileira
NDWI	Normalized difference water index
NE	Nordeste
NMM	Nível Médio do Mar
NS	Norte-Sul
NSM	Net Shoreline Movement
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNBOIA	Programa Nacional de Boias
QGIS	Quantum Geographic Information System
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RMN	Região Metropolitana de Natal
RN	Rio Grande do Norte
s	segundo
S	Sul
SBNT	Aeroporto Internacional Augusto Severo
SCE	Shoreline Change Envelope
SE	Sudeste
SMC	Sistema de Modelagem Costeira
TF	Tonelada-força
TLS	Transporte Longitudinal de Sedimentos
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UTM	Universal Transversa de Mercator
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TM	Thematic Mapper
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
WW3	Wave Watch III
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZPA	Zona de Preservação Ambiental

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	15
2.1	Sistema Praial	15
2.2	Processos Costeiros	16
2.3	Vulnerabilidade Costeira	18
2.4	Obras de Defesa Praial	19
2.5	Estruturas de Contenção	23
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	26
3.1	Aspectos Geológicos e Geomorfológicos	28
3.2	Forçantes Meteorológicas e Oceanográficas	30
3.2.1	Batimetria	30
3.2.2	Clima, Ventos e Precipitação	34
3.2.3	Marés	36
3.2.7	Perfil Praial	42
3.2.8	Ondas	46
3.3	Condições Socioeconômicas	50
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	52
2.1	Geoprocessamento com <i>CASSIE</i>	52
2.2	Análise das Obras de Defesa Praial	54
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	56
5.1	Análise Evolutiva da Linha de Costa	56
5.1.1	Setor I – Morro do Careca	60
5.1.2	Setor II – Enrocamento com Rochas Granitoides	65
5.1.3	Setor III – Estrutura de Blocos Pré-Moldados	69
5.1.4	Setor IV – Estruturas de Contenções Privadas	74
5.1.5	Setor V – Via Costeira	80
5.2	Planejamento das Obras Costeiras	81
5.2.1	Laudo Pericial	82
5.2.2	Estudo de Viabilidade Técnica e Ambiental (EVTEA)	85
5.2.3	Projeto Básico e Projeto Básico Ambiental do Enrocamento Complementar	87
5.2.4	Projeto Básico de Drenagem de Águas Pluviais	88
5.2.5	Projeto Executivo do Enrocamento Complementar	90
5.2.6	Estudo e Relatório de Impacto Ambiental	91

<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema costeiro é caracterizado por processos dinâmicos que envolvem diversos protagonistas, sendo alguns deles: o vento, as ondas, as correntes marítimas, a temperatura, as precipitações e as ações antrópicas. As praias fazem parte desse sistema e são formadas por depósitos de sedimentos, normalmente arenosos, que são acumulados por ação de ondas, ventos e correntes marítimas. Esse sistema sofre constante transformação e dentro dessas alterações ocorrem processos de erosão e acreção costeira que são modificações naturais que ocorrem na linha de costa.

Praias arenosas prevalecem na maior parte das zonas costeiras do mundo (MCLACHLAN E BROWN, 2006), tanto pela sua atração como espaço de lazer e esporte quanto pela proteção que exercem através da sua resiliência, representam um sistema costeiro de alta relevância socioeconômica e ambiental para os demais ecossistemas costeiros (MUEHE, 2020). Bird (1985) afirma que mais de 70% das praias do mundo sofreram erosão no último século, sem ser possível identificar uma causa específica e unificada, devido às diferenças nas geodinâmicas locais. Este fato torna-se ainda mais preocupante quando se considera que as regiões costeiras são locais de grande atratividade turística e potencial econômico, com alta circulação de bens e pessoas, em ambiente de alta vulnerabilidade física e igualmente socioambiental (BUSMAN, AMARO E SOUZA-FILHO, 2016; BORUFF *et al.*, 2005).

O Brasil, com suas proporções continentais, apresenta uma zona costeira configuradas em baías e reentrâncias, que compreendem mais de 15 mil quilômetros de linha de costa (GI-GERCO, 2018). Cerca de 27% da linha de costa do Brasil é formada por praias arenosas e cerca de 40% apresentam problemas de erosão (MUEHE, 2020), sendo os seus efeitos mais significativos nas áreas urbanizadas (DALINGHAUS *et al.*, 2018). No Nordeste brasileiro, uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas na América do Sul (USHIDA *et al.* 2019), esta situação acomete os litorais dos estados de Pernambuco (CÂMARA, HOLANDA E COSTA, 2023), Sergipe (MOTA E SOUZA, 2018), Bahia (NASCIMENTO *et al.*, 2013), Rio Grande do Norte (FERNANDES *et al.*, 2020, MATOS *et al.* 2022), Paraíba (REIS, FEITOSA E REIS, 2019), Ceará (MEDEIROS *et al.*, 2014), Piauí (ARAÚJO *et al.*, 2019), Maranhão (SILVA;LIMA, 2017), Alagoas (ALMEIDA *et al.*, 2021a).

Bulhões (2020) define erosão costeira como a resultante na paisagem da deficiência no balanço sedimentar. Por sua vez, esse balanço é a diferença, em volume, entre o suprimento e a supressão de material sedimentar em um segmento e em um determinado intervalo de tempo. Conforme Muehe (2006), as modificações na posição da linha de costa decorrem em grande parte da falta de sedimentos, provocado pelo esgotamento da fonte. Esse esgotamento pode se dar pela transferência de sedimentos da praia para o continente como pela intervenção do homem ao construir barreiras que provocam a retenção de sedimentos ao longo da costa.

O principal sumidouro de sedimentos na costa brasileira é representado pelos campos de dunas resultantes da imensa transferência de sedimentos da praia para o interior, retirando definitivamente sedimentos que fazem parte do equilíbrio no balanço sedimentar do sistema praia e ante praia, implicando, ao longo do tempo, na ruptura desse equilíbrio e resultando em erosão costeira (NEVES E MUEHE, 2008).

Além disso, alterações climáticas atuam severamente na mudança das condições meteorológicas. Dados do IPCC (2021) asseveram que o mundo ultrapassará nos próximos cinco anos o limite de 1,5°C de aquecimento estabelecido no Acordo de Paris, decorrente dos gases extras de efeito estufa de aquecimento global produzidos e emitidos para a atmosfera, que influencia diretamente nos aspectos climatológicos,

oceanográficos e, portanto, no aumento dos perigos e riscos de desastres costeiros (MORRIS *et al.*, 2018). Este fato tem ação direta no aumento do nível médio relativo do mar no longo prazo que indica para a costa brasileira uma taxa de elevação de 4 mm/ano ou cerca de 50 cm/século (MESQUITA, 2003). A elevação do nível médio relativo do mar, na escala regional e local, no longo ao curto prazo, submete as linhas de costa aos processos erosivos até que um novo perfil de equilíbrio seja atingido (TESSLER E GOYA, 2005). Uma vez que a praia não possua uma zona de espraiamento significativa para a dissipação da energia de onda, ela será descarregada na infraestrutura local existente como as orlas e calçadas, gerando um dano significativo nas construções. Esses danos podem ser severos e comprometer a curto e médio prazo as estruturas devido a absorção de altas energias e ao carreamento de sedimentos que foram a base de sustentação dessas construções.

As praias arenosas fazem parte do complexo bioma Sistema Costeiro-Marinho (IBGE, 2019) no Estado do Rio Grande do Norte (RN), frequentemente integradas aos campos de dunas e/ou defrontantes às falésias, e onde os processos erosivos, definido pelo balanço sedimentar deficitário no longo ao curto prazo, são acentuados localmente pela ação de forças motrizes marinhas e continentais promovendo a remoção e o transporte de sedimentos, agentes tais como: ventos, chuvas, ondas, marés e correntes marítimas (PRASAD e KUMAR, 2014).

Além das modificações nas posições das linhas de praia, influenciadas pelas alterações das condicionantes naturais (oceânicas e climáticas), as diversas ações antrópicas efetuadas na zona costeira têm intensificado e potencializado o processo erosivo, entre as quais: a expansão urbana desordenada, que gera o desmatamento no topo das falésias marinhas ativas, nas dunas de pós-praia e campos de dunas vegetados, e a impermeabilização do solo; a extração indiscriminada de areias na zona costeira; as infraestruturas rígidas de contenção; os sistemas de drenagens pluviais e de esgotamentos sanitários inadequadamente lançados nas orlas marítimas (TESSLER E GOYA, 2005; AMARO *et al.*, 2014; MATOS *et al.*, 2022;). Tais medidas dispostas inadequadamente na orla marítima podem alterar os sistemas geomorfológicos e ecológicos (NORDSTROM, 2014). As obras de caráter rígido, as quais se comportam de maneira inflexível e tendem a fixar a linha de costa com estruturas de concreto e rochas, geram efeitos adversos como a potencialização da erosão no trecho implantado e nas áreas a montante e a jusante da corrente de deriva litorânea (KUDRYAVTSEV *et al.*, 2019; DOODY *et al.*, 2004). As obras mais flexíveis, de características baseadas na natureza, podem se integrar de maneira sustentável ao ambiente costeiro, como no caso da reposição dos sedimentos praias (SCHIPPER *et al.*, 2016).

A pressão imobiliária pelo aumento na densidade populacional na zona costeira interfere diretamente no incremento das vulnerabilidades costeiras e dos impactos da erosão, e da inundações decorrentes, frequentemente gerando prejuízos socioeconômicos significativos, além de serem dispendiosos os projetos de mitigação desses impactos (MENEZES *et al.*, 2018). De modo geral, a Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO (2009), define a vulnerabilidade costeira como a conjuntura das comunidades costeiras, abrangendo estrutura social, ativos físicos, economia e suporte ambiental, que as torna mais ou menos suscetíveis aos efeitos dos eventos extremos e das alterações do clima. A necessária adaptação às novas condições climáticas inclui o ajustamento de ecossistemas naturais e agrupamentos humanos em resposta às mudanças climáticas (NOBRE, 2008). Identificar métodos eficazes de intervenção para refrear os riscos é um dos grandes desafios enfrentados pelas comunidades costeiras atualmente (MORRIS *et al.*, 2018; WILLIAMS *et al.*, 2018). Muitas vezes, as obras de infraestrutura rígidas e/ou flexíveis surgem como soluções

para os efeitos erosivos, por vezes de modo inadequadas, e aos seus impactos negativos sobre as comunidades costeiras (BULHÕES, 2020).

Diversos tipos de obras podem ser executados para amenizar esse processo natural, porém nunca os eliminar, e cada tipo de estrutura implantada irá atuar com uma perspectiva, apresentando aspectos positivos e negativos. As obras podem ter um caráter natural, as quais apresentam soluções que tendem a se integrar melhor com o meio ambiente, como por exemplo uma obra de engordamento de praia que faça a reposição dos sedimentos. Por outro lado, as obras também podem ter um caráter rígido, as quais se comportam de maneira inflexível e tendem a fixar a linha de costa a qualquer custo. Essas últimas possuem dificuldade de integração com o meio e muitas vezes geram efeitos adversos, no caso de obras de enrocamento, as quais acabam acentuando a erosão a montante a jusante da estrutura e os efeitos reflexivos da energia das ondas podem reduzir o perfil praial.

Este trabalho tem como objetivo analisar o cenário de erosão costeira no longo e médio prazo, além de avaliar aspectos estruturais e ambientais das obras de contenção implantadas e em planejamento como medidas de controle da erosão nas praias de Ponta Negra e Via Costeira, na cidade de Natal/RN. Para isso, foram empregadas imagens de satélites das séries LANDSAT e Sentinel-2 e ferramentas de geoprocessamento disponíveis nos módulos do *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine - CASSIE* (ALMEIDA *et al.*, 2021b) e do QGIS.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

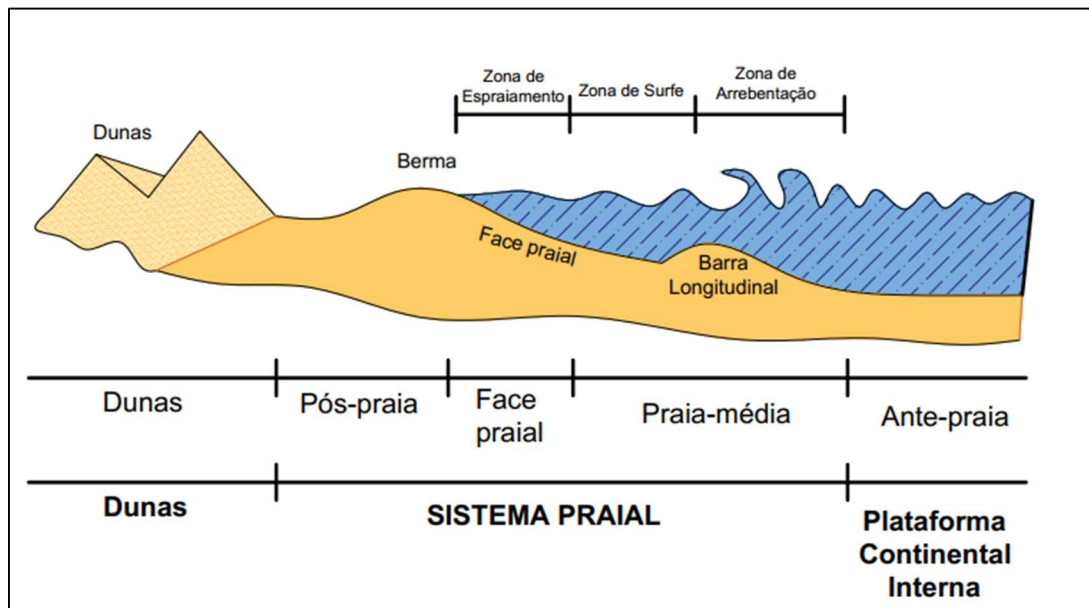
### 2.1 Sistema Praial

A zona de arrebentação constitui o espaço de maior interesse no que se refere a estabilidade e evolução de uma praia. Nesta zona, a quebra de ondas coloca em suspensão uma grande quantidade de sedimentos que, desta forma, é suscetível de ser transportado pelas correntes existentes (SMC-Brasil, 2018).

A partir da zona de arrebentação, a profundidade ao longo de um perfil vai aumentando em incrementos decrescentes, à medida que diminui a capacidade de mobilização dos sedimentos de fundo pelas ondas. Ao superpor uma série de perfis batimétricos, verifica-se que, a partir de uma dada profundidade, a variabilidade vertical do fundo se torna muito pequena, devido a uma significativa redução do transporte de sedimentos de fundo. Essa profundidade é chamada de profundidade de fechamento (MUEHE, 2020).

A zona de surfe é uma zona intermediária entre a zona de espraiamento e a zona de arrebentação, onde o transporte longitudinal de sedimentos por correntes de deriva e correntes de retorno ocorrem em sua maior parte. A zona de espraiamento é uma região na qual as ondas dissipam a energia sobre a face praial. Face praial ou zona de estirâncio é a região em que ocorrem os processos de espraiamento, fluxo e refluxo das ondas, o seu limite superior é a berma. A berma é um banco de sedimentos que acaba por proteger a linha de costa da ação das ondas e também serve como acervo de sedimentos para a praia em caso de necessidade de aporte. Pós-praia é a região que vai desde o limite superior do espraiamento das ondas até o limite inferior das dunas frontais (Figura 1).

Figura 1: Zona física e geomorfológica das praias arenosas.



## 2.2 Processos Costeiros

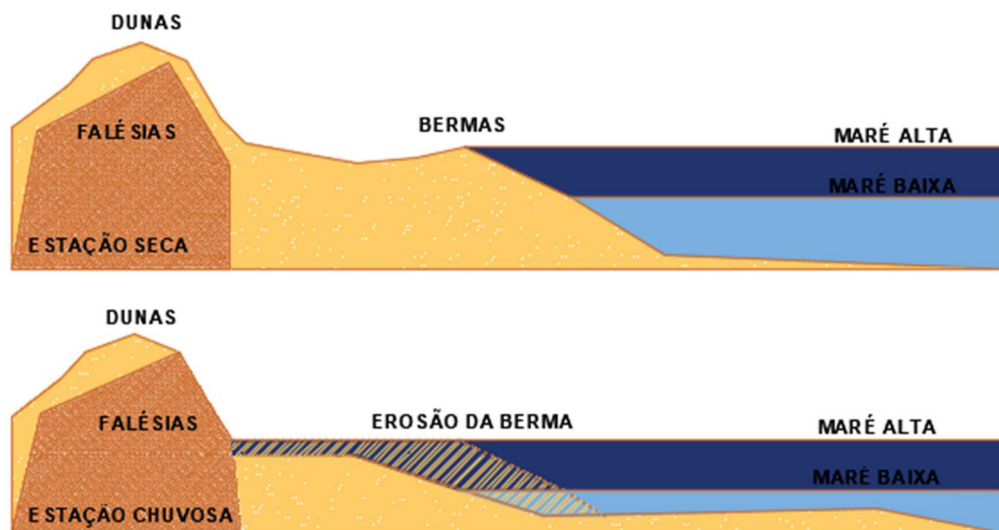
O Brasil possui uma grande diversidade física e ambiental em sua costa, caracterizada pela heterogeneidade quanto à morfologia da costa e de seus componentes hidrodinâmicos, como as ondas, marés, mudanças no nível do mar e gradientes de pressão atmosférica (GONZALEZ *et al.*, 2018). Além disso, os processos litorâneos são complexos devido a tridimensionalidade dos processos, em que se é preciso combinar os efeitos transversais e longitudinais em relação a linha de costa. Ademais, existe a parcela de escala temporal e espacial, que a depender do trecho ou período escolhido, poderá resultar em diferentes análises e conclusões.

Os processos costeiros ocasionam a erosão costeira à medida que causam perturbações no meio provocando a deficiência de sedimentos. Desse modo, a erosão costeira pode ser entendida como a resultante na paisagem da deficiência no balanço sedimentar em determinado segmento da linha de costa, durante determinado intervalo de tempo. Já o balanço sedimentar deve ser entendido como a diferença, em volume, entre o suprimento e a supressão de materiais sedimentares em determinado segmento costeiro, também em um intervalo de tempo definido (BULHÕES, 2020).

As praias estão sujeitas à ação de muitas dinâmicas, tanto marinhas (marés, ondas) como atmosféricas (vento, pressão, temperatura). Cada uma delas tem sua própria escala espacial e temporal de ação e gera uma resposta na praia em tais escalas de variabilidade (SMC-Brasil, 2018).

Para que a praia atue naturalmente contra a ação direta das ondas sobre as infraestruturas costeiras, ela deve possuir uma boa zona de espraiamento de ondas e um acervo de sedimentos ao final desse trecho, a citar as bermas. As bermas auxiliam na dissipação de energia das ondas, além de fornecerem sedimentos para as praias à jusante da deriva litorânea sob as condições de ressacas de marés, em que as ondas recuperam os sedimentos estocados (Figura 2).

Figura 2: Modificação do perfil praiial em função de intempéries naturais.



Há forte relação entre a modelagem do perfil praiial e o clima de ondas nas imediações de um trecho de praia. O clima de ondas envolve algumas variáveis sendo a altura da onda e o seu período, a velocidade das correntes, a direção da corrente. A energia da onda é proporcional ao quadrado da sua altura de onda e há variação sazonal dessa energia, que influencia no transporte longitudinal e transversal de sedimentos (erosão e acreção) de um trecho de praia (HAPKE *et al.*, 2006; MATOS *et al.*, 2020).

As ondulações de maior energia que chegam à costa são provenientes de áreas distantes e, ao adentrar ao litoral, sofrem interferência da morfologia submarina, sobretudo pelas formas do fundo e pela presença de obstáculos naturais ou artificiais como ilhas, lajes rochosas, recifes de corais, baixios, obras costeiras dentre outros (FIRMINO E BULHÕES, 2020). No Brasil, o clima de ondas é determinado pela ação dos ventos originados no Atlântico Sul (TESSLER E GOYA, 2005).

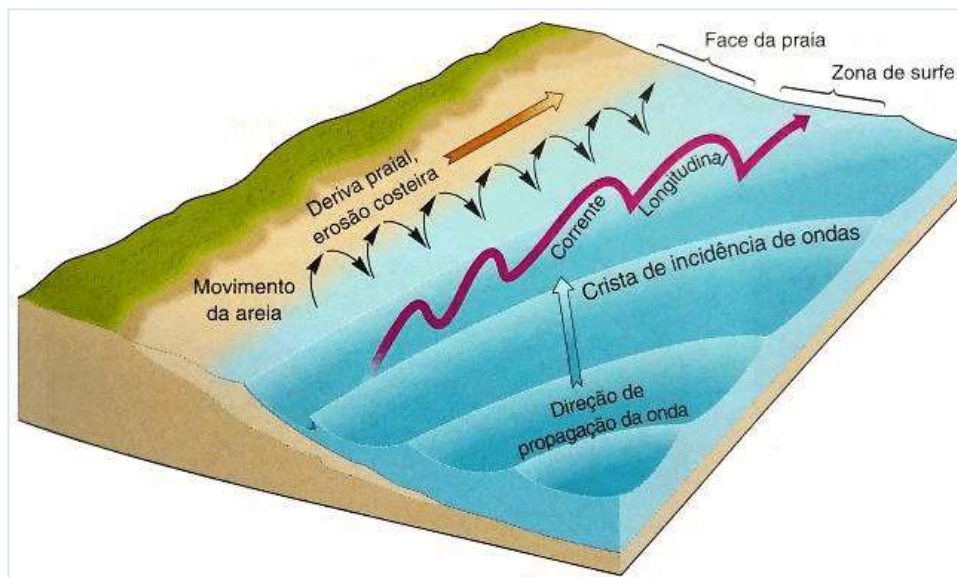
Modificações naturais do clima de ondas ou da altura do nível médio relativo do mar constituem outros processos que interferem na estabilidade da linha de costa. Cabe lembrar que, relacionado ao nível do mar, tem sido considerado uma elevação de pouco mais de 100 m num período de 11.000 anos. Esta elevação resultou numa migração da linha de costa a uma taxa de 7 a 14 m/ano correspondente a toda a largura da atual plataforma continental (MUEHE, 2006).

Quanto à climatologia, é sobre os oceanos e os corpos d'água costeiros que os ventos produzem efeitos mais significativos, gerando ondas e induzindo circulações de massas d'água em várias escalas temporais e espaciais. Reduções de pressão atmosférica produzem elevação do nível do mar, por um efeito conhecido como barômetro invertido, de modo que uma redução de 1 hPa produz uma elevação do nível médio do mar da ordem de 1,0 cm (NEVES E MUEHE, 2008).

Com relação à temperatura, o aquecimento das superfícies dos oceanos, induzido pelo aquecimento atmosférico, provoca a expansão térmica da água, aumentando assim o volume das águas marinhas e acarretando um aumento do nível médio dos mares (NMM). Mudanças nos padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) influenciam o regime de ventos, tanto as brisas como também a força dos furacões. Por esse motivo, o sensoriamento remoto da TSM mostra-se uma variável de muito interesse para várias atividades humanas, desde a pesca até a defesa civil (NEVES E MUEHE, 2008).

Assim, diversos agentes dinâmicos, aleatórios e tridimensionais estão atuando na zona costeira ocasionando a movimentação dos sedimentos praias e conforme Muehe (2020), o recuo ou avanço da linha de costa está relacionado ao volume de sedimentos introduzido e retirado do sistema, ao diâmetro granulométrico do sedimento, da energia de onda, da declividade de fundo, da variação do nível do mar (Figura 3).

Figura 3: Deriva praias mediante ação de processos costeiros.



Fonte: Christopherson (2011).

### 2.3 Vulnerabilidade Costeira

Um desastre traz perdas e danos às pessoas, ao meio ambiente (fontes de alimentação, água, saúde) e à infraestrutura (moradias, transportes, hospitais) devido ao impacto de um perigo (ameaça) que ultrapassa a capacidade local de responder e atender as consequências com eficácia. O risco de desastre pode ser explicado em termos de duas variáveis interligadas: as ameaças e as vulnerabilidades locais.

A identificação das causas da erosão costeira tem sido frequentemente um exercício mais especulativo do que propriamente científico devido à inexistência ou dificuldade de acesso de dados de monitoramento ambiental de longo prazo, o que inclui: comportamento do nível (médio) do mar, dados meteorológicos sobre o oceano e zona costeira, informações diretas sobre ondas, evolução da morfologia da costa e plataforma continental interna (NEVES E MUEHE, 2008). O monitoramento da estabilidade da praia é vital para o gerenciamento ambiental e de recursos, e é essencial para melhorar os bancos de dados de informações sobre a evolução da linha costeira em uma área (GONÇALVES *et al.*, 2012).

Ao mesmo tempo, fatores diversos, tais como a ocupação territorial desordenada, a exploração indiscriminada de jazidas de areia nos estuários e braços de mar, a construção de obras de proteção costeira sem critérios técnicos de engenharia, muitas vezes têm desencadeado processos erosivos rápidos (NEVES E MUEHE, 2008). Desse modo, tem-se implantada uma vulnerabilidade devido a ocupação desordenada e uma ameaça evidente e real que são os fenômenos erosivos. Com esse risco instalado,

diversos impactos negativos da erosão costeira comprometem a estabilidade do meio físico, biótico e socioeconômico, podendo gerar desastres em geral.

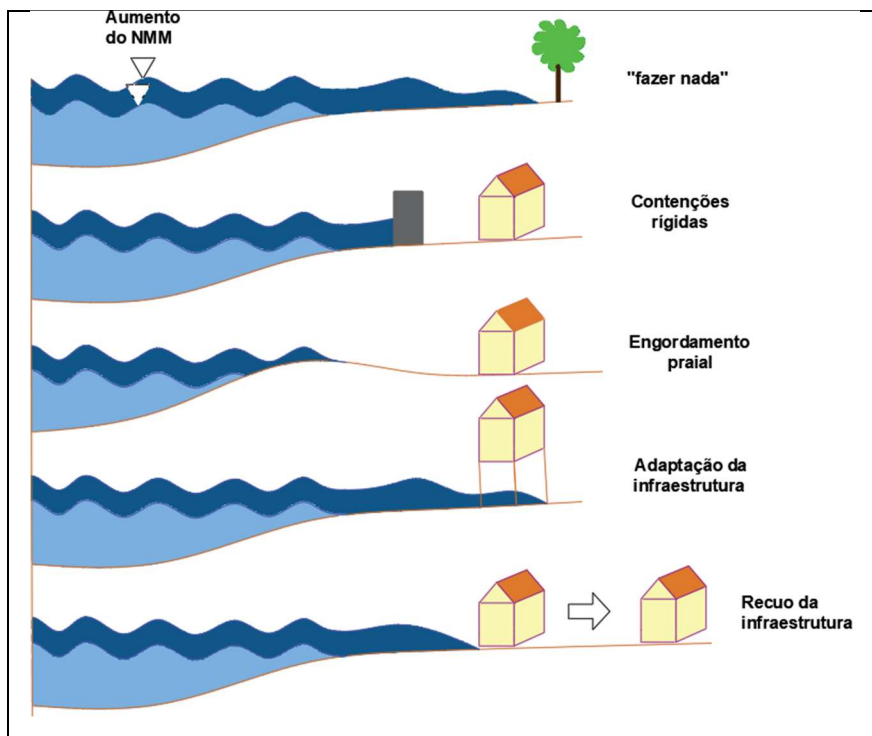
À medida que aumenta a ocupação do litoral, principalmente nas proximidades das grandes cidades, aumentam também os relatos sobre erosão. A urbanização em si não provoca erosão, entretanto, a construção de edificações dentro da faixa de resposta dinâmica da praia às tempestades tende à retomada pelo mar da área construída (MUEHE, 2006; AMARO *et al.* 2015; MATOS *et al.* 2022). Dessa forma, as alterações ocasionadas pela ação antrópica na linha de costa podem aumentar a vulnerabilidade do meio físico. As próprias obras de defesa costeira podem apresentar efeito reverso, a citar as obras de caráter rígido que interrompem o transporte de sedimentos e provocam efeitos erosivos a jusante das estruturas.

## 2.4 Obras de Defesa Praia

Em maior ou menor medida, toda a praia disponibiliza as funções de recreação, habitat de fauna e flora e proteção da costa. Uma vez que exista deficiência em uma dessas funções, implanta-se uma necessidade de recuperação praial.

Existem diversas alternativas de mitigação dos danos causados por marés de tempestades, as ressacas de marés, aumento do NMM e pela erosão costeira. As adaptações vão impactar em diferentes fatores, por vezes na própria infraestrutura urbana e outras vezes no meio físico natural. As alternativas vão desde as adaptações, proteção com obras de engenharia (rígidas ou flexíveis), retração da urbanização ou simplesmente não modificar aquele espaço (Figura 4).

Figura 4: Alternativas de mitigação aos danos causados pela erosão costeira.



Uma vez que a urbanização avança sobre as linhas dinâmicas das praias, destruindo as bermas de equilíbrio ambiental e soterrando as dunas na região do pós-praia, as obras de engenharia surgem como alternativa para proteção da zona costeira.

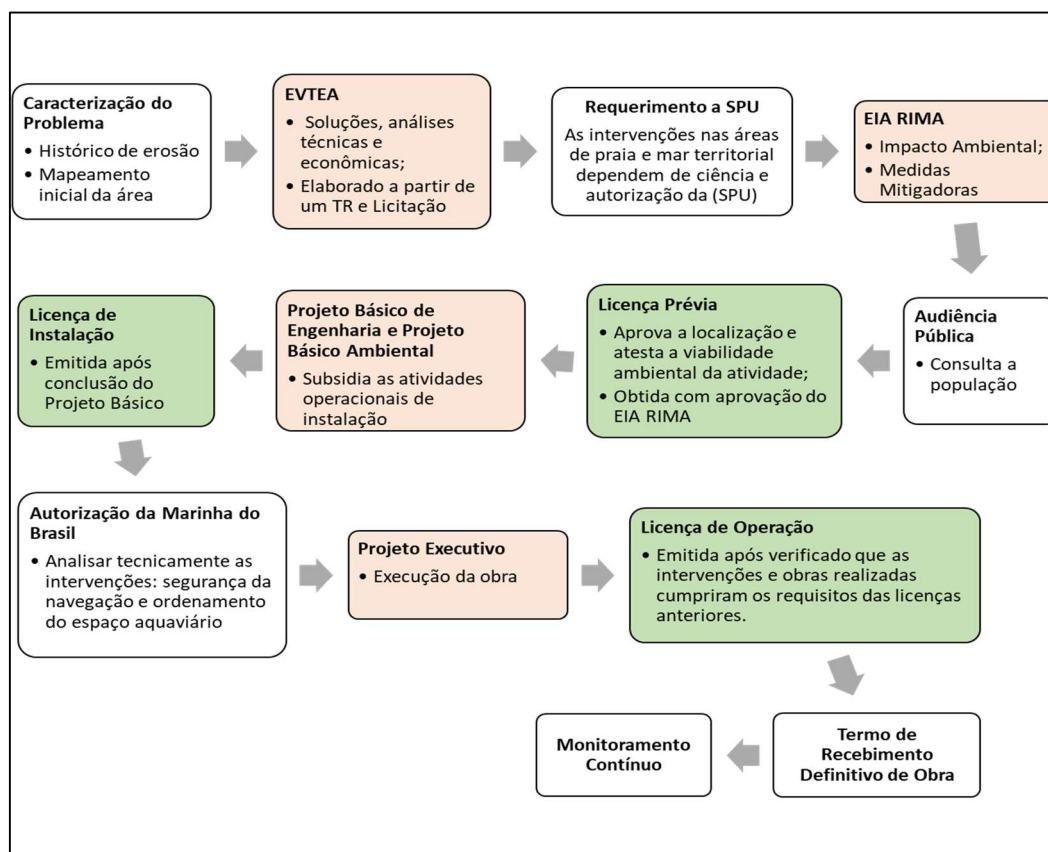
Nenhuma opção de estabilização da linha de costa elimina permanentemente a erosão costeira, uma vez que a erosão é um processo dinâmico natural.

As medidas de proteção podem ser divididas em medidas estruturais e não estruturais. As estruturais podem ser rígidas (espigões, molhes, diques, quebra-mares) ou flexíveis (engordamento praial, inserção de dunas artificiais, plantações de manguezais). As medidas não estruturais estão relacionadas ao controle do uso e ocupação do solo (CAI *et al.*, 2009).

Cada obra de engenharia instalada no ambiente praial deverá ser escolhida e dimensionada considerando as características e necessidades intrínsecas daquela localidade. Por ser um ambiente dinâmico, as obras costeiras também estão submetidas a uma energia variável que muitas vezes prejudica a estabilidade da obra. Desse modo, também é necessário que manutenções periódicas sejam realizadas.

Para que um projeto de recuperação praial tenha sucesso é necessário que diversas entidades estejam trabalhando em conjunto de modo eficiente. GI-GERCO (2018) traz um fluxograma desejável para o diagnóstico, planejamento e execução de obras de prevenção e proteção costeira. O fluxograma identifica as etapas e os momentos em que é preciso uma integração de diferentes órgãos. GI-GERCO (2018) afirma que, uma vez que o processo de planejamento trilhe caminhos distantes do especificado no fluxograma, ele terá grandes chances de fugir da legalidade do processo administrativo como também de não ter garantia econômica, técnica e ambiental (Figura 5).

Figura 5: Etapas para elaboração de projeto de recuperação praial



Fonte: Adaptado de GI-GERCO(2018)

#### 2.4.1 Espigões

Os espigões são estruturas transversais a costa, fixas e que se estendem normalmente até a profundidade de fechamento. Segundo Sousa (2011), os espigões têm como principal função impedir/interceptar a livre circulação dos sedimentos no sentido longitudinal, protegendo, desta forma, a costa da erosão. O sucesso de um ou mais elementos destes têm pode ser determinada pela percentagem de material sólido que fica retida a barlar dos espigões. Desse modo, a obra acaba por estabilizar as praias a barlar, mas causa déficit de sedimentos a sotamar.

Os espigões podem ser construídos através do uso de rochas fazendo uma estrutura de enrocamento, sendo uma estrutura mais flexível por permitir acomodações no terreno. Também podem ser constituídos por sacos preenchidos com argamassa ou concreto ou ainda com estacas pranchas preenchidas com concreto ou agregados (CECCARELLI, 2009; SOUSA, 2011), como na Figura 6a e Figura 6b.

Figura 6: Estrutura de espigão em (a) Praia de Balneário de Camboriú/SC (b) Praia da Avenida Beira-Mar em Fortaleza/CE.



(a)

Fonte: Google Earth (2020)



(b)

Fonte: gl.globo.com. Acesso em abril/2023

#### 2.4.2 Quebra-mares

Os quebra-mares (*breakwaters*) são estruturas emersas ou submersas, contínuas ou não, construídas paralelamente a costa. Seu principal objetivo é causar a dissipação das energias das ondas por efeitos de difração. Sua função se assemelha as formações naturais de recifes de corais (Figura 7a e Figura 7b).

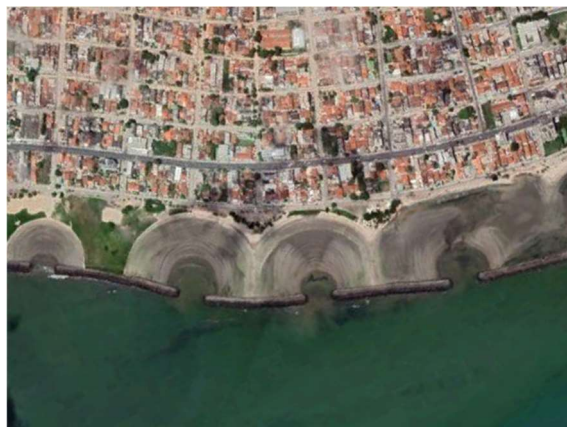
Diversos fatores influenciam no projeto, como a altura de onda e a profundidade em que os elementos serão inseridos. Conforme Sousa (2011) estas estruturas costeiras podem ter um custo elevado, no caso de se destinarem à proteção de locais vulneráveis à ação de ondas de maior energia ou que apresentem grandes profundidades. Os tipos de quebra-mares mais usuais são os de parede vertical, os de talude e os mistos, mas podem existir quebra mares flutuantes.

Figura 7: Estrutura de quebra-mar em (a) Angra dos Reis/RJ (b) Paulista/PE.



(a)

Fonte: *Google Earth* (2020)



(b)

Fonte: *Google Earth* (2020)

### 2.4.3 Estruturas de contenção (muros, enrocamentos)

Uma vez que as bermas foram soterradas por uma infraestrutura urbana, as estruturas de contenção longitudinais surgem como uma forma de proteção artificial da linha de costa. Essa alternativa não atua diretamente nas forças naturais, mas como um sistema de defesa da infraestrutura localizada por trás dela (calçadão, rodovias, casas). Como agente modificador da costa, essas estruturas desencadeiam tanto uma erosão passiva, em que a linha de costa é fixada e a praia vai se estreitando aos poucos (Figura 8a) como uma erosão ativa em que uma erosão é causada em frente a estrutura devido aos reflexão das ondas que se chocam frontalmente (Figura 8b), e que acaba por modificar os padrões de ondas, marés e correntes (HAPKE *et al.*, 2006).

Figura 8: Enrocamento de rochas (a) Praia de Cabo Branco em João Pessoa/PB (b) Praia de Ponta Negra/RN.



(a)

Fonte: [jornaldaparaiba.com.br](http://jornaldaparaiba.com.br) (acesso em abril/2023)



(b)

Fonte: [tribunadonorte.com.br](http://tribunadonorte.com.br) (acesso em abril/2023)

### 2.4.4 Engordamento praial

A alimentação artificial de praias consiste no suprimento de areia com material adequado obtido das áreas de empréstimos (Figura 9). Essa obra permite estabilizar ou ampliar praias sujeitas à erosão, ou criar nova praia, que é a configuração morfológica mais adequada para absorver a energia das ondas (praia de proteção) (CECCARELLI, 2009; SOUSA, 2011).

O engordamento praial é considerado um tipo de obra considerado flexível, uma vez que se comunica melhor com o meio ambiente, e, conforme Ceccarelli (2009), é uma intervenção estrutural reconhecida como uma das melhores defesas contra a erosão costeira, considerando que não necessita de obras fixas, estranhas ao ambiente natural, as quais possuem efeitos colaterais nas áreas adjacentes.

Deve-se escolher com fundamentação a jazida que será retirada, uma vez que precisam ter sedimentos semelhantes aos originais daquela localidade (SOUSA, 2011; GI-GERCO, 2018). As jazidas podem ser submersas e o ideal é que se localizem nas proximidades da região, visto que o volume de sedimentos é extremamente alto e as distâncias elevariam muito os custos de implantação da obra. É uma obra que naturalmente se desgasta devido ao carreamento dos sedimentos, uma vez que o processo erosivo não cessará. Normalmente, a obra de engordamento é associada com um fechamento através de espigões, com o objetivo de reter esses sedimentos por mais tempo.

Figura 9: Antes e depois da obra de engordamento da praia de Canasvieiras/SC.



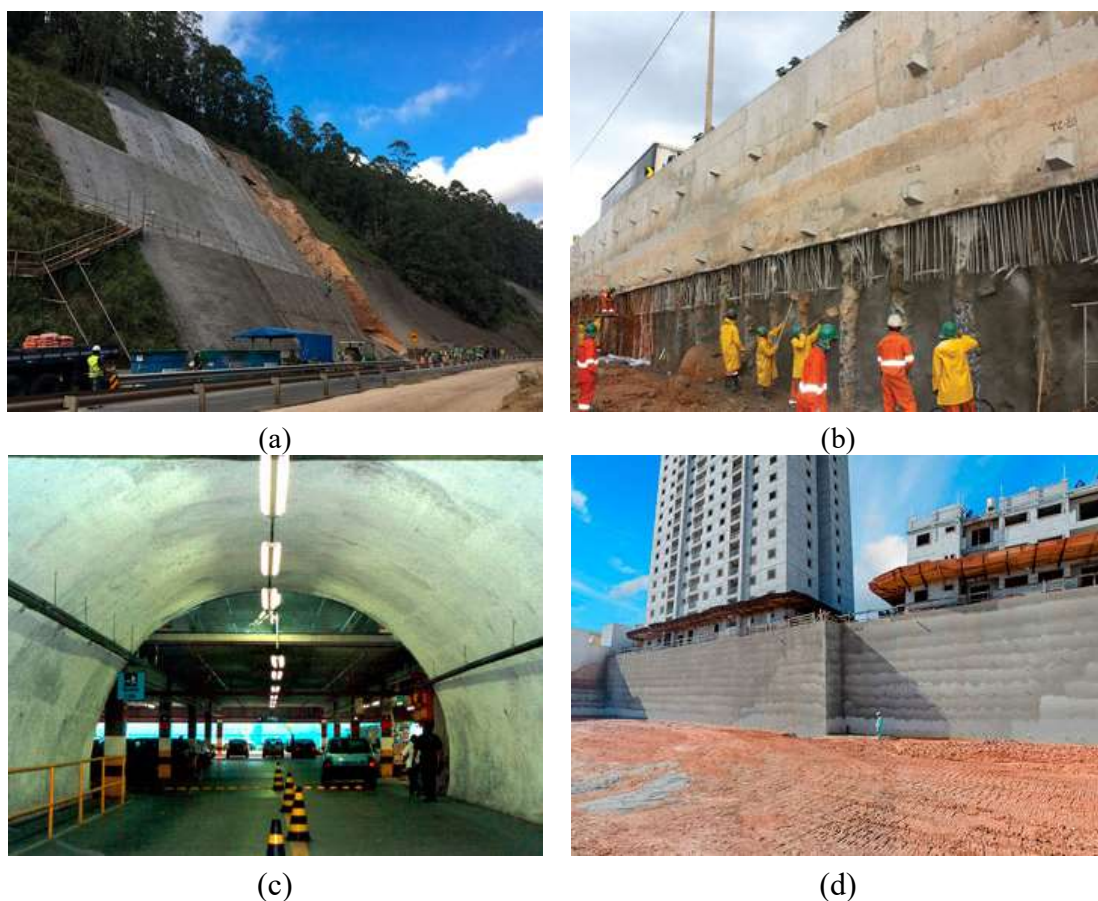
Fonte: correiosc.com.br (acesso em abril/2023)

## 2.5 Estruturas de Contenção

Conforme Hachich *et al.* (1998) contenção é todo elemento ou estrutura destinado a contrapor-se a empuxos ou tensões geradas em maciço cuja condição de equilíbrio foi alterada por algum tipo de escavação ou aterro. Os muros são estruturas contínuas de contenção, constituídas de parede vertical ou quase vertical apoiada numa fundação rasa ou profunda.

As obras de contenção são estruturas cujo objetivo é reter uma massa de solo (aterros) ou de água (barragens). Elas são dimensionadas para resistir a esforços laterais e sobrecargas acima da estrutura. As obras de contenção têm diversas finalidades na construção civil, sendo úteis na construção de barragens, de estradas com obras de corte e aterro, obras subterrâneas como a construção de linhas de metrô, além do seu uso como contenção de aterros na zona costeira (Figura 10).

Figura 10: Estruturas de contenção (a) estabilização de encostas (b) contenção para rodovias (c) túnel rodoviário (d) encostas prediais.



Fonte: Solotrat.com.br (acesso em abril/2023)

Diversas metodologias podem ser aplicadas nessas obras, entre elas: solo grampeado, terra armada, cortinas atirantadas, gabiões, muro de arrimo por gravidade. Este último, é uma das estruturas de contenção mais comuns, destacando-se por sua facilidade de execução e baixo custo. Embora a geometria, o processo construtivo e os materiais utilizados nas estruturas citadas sejam muito diferentes entre si, todas elas são construídas para conter a possível ruptura do maciço, suportando as pressões laterais exercidas por ele (BARROS, 2006).

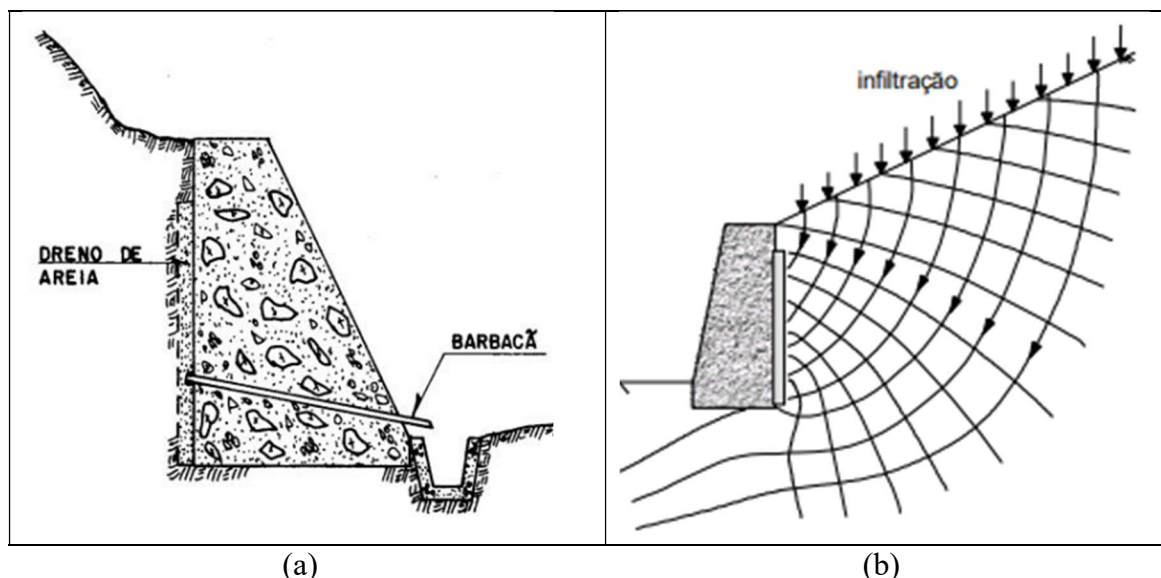
Os muros de gravidade são estruturas contínuas, massudas, que resistem aos empuxos horizontais pelo peso próprio. Em geral são empregadas para conter desníveis pequenos ou médios, inferiores a cerca de 5 m e podem ser construídos de concreto simples, ciclópico ou com pedras, argamassadas ou não. (HACHICH *et al.*, 1998). Nesse sentido, prioriza-se por materiais de peso próprio elevado e grandes dimensões.

As estruturas de contenção, para que sejam eficientes, precisam ser executadas sobre um solo firme, uma vez que não é aceitável recalques, pois podem comprometer o

funcionamento da estrutura. Além disso, ela necessita de um sistema de drenagem eficiente para evitar o aumento dos esforços laterais devido à pressão hidrostática e para evitar a percolação de água pela fundação da estrutura podendo ocasionar carreamento dos sedimentos e fragilização do solo de apoio (Figura 11a e Figura 11b).

A presença de água no solo influencia o comportamento das estruturas de contenção de várias maneiras. Em primeiro lugar, os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, em particular a coesão, diminuem quando a umidade aumenta. Também o peso específico do solo é aumentado pela presença de água nos vazios. Além dessas influências, a pressão na água altera o valor do empuxo que atua sobre a estrutura (BARROS, 2006).

Figura 11: Esquema de drenagem em muro de gravidade (a) equipamentos de drenagem (b) esquema da percolação da água.



Fonte: GERSCOVICH (Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>)

A maioria das contenções utilizadas na zona costeira, são muros de gravidade e trabalham mediante o seu peso próprio. As obras costeiras de contenção normalmente surgem em um contexto em que a praia está sofrendo com processos erosivos e esses processos estão ameaçando a infraestrutura, como edificações, calçadão etc. Assim, as contenções surgem como alternativa para sustentar essa infraestrutura e protegê-la de possíveis desmoronamentos. Um ponto a observar é que as obras costeiras de contenção inseridas em uma praia submetida a um processo erosivo intensificado, além de resistir aos esforços naturais da massa de solo que sustenta, precisa também resistir aos esforços das ondas que se chocam frontalmente com a contenção, uma vez que muitas praias sob processos erosivos já não possuem uma zona de espraiamento disponível.

Outro ponto relevante para a situação das obras costeiras é que uma vez que as ondas já se choquem frontalmente com a estrutura, a energia dessa onda tenderá a se dissipar em todas as direções e então irá cavar a base das fundações da estrutura de contenção, podendo gerar recalques indesejados.

As obras de enrocamento com rochas também são uma alternativa que surgem para as zonas costeiras. Apesar de ter um aspecto visual menos agradável, com relação a dissipação da energia das ondas, essas obras apresentam vantagem quando comparada aos muros. A forma irregular dos blocos de rocha acaba por dissipar de forma mais eficiente a energia da onda que atinge a contenção frontalmente. Uma das alternativas

para os muros de gravidade é a construção da estrutura escalonada, pois ajudará na estabilização da contenção uma vez que a base de apoio será mais larga.

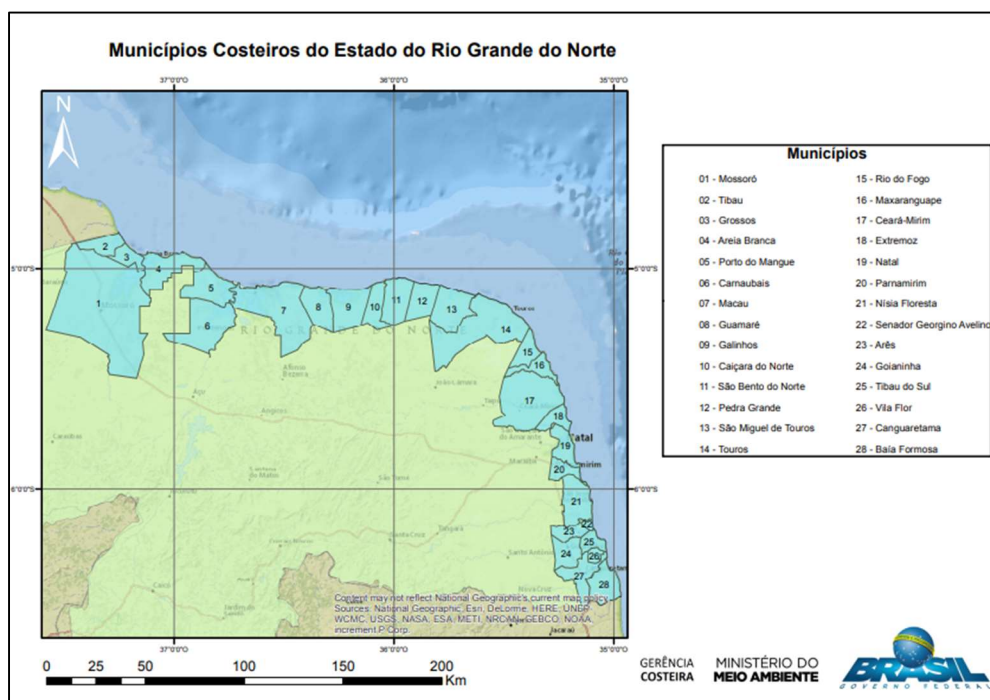
Desse modo, as estruturas de contenção podem ser uma alternativa para a estabilização de uma linha de costa, mas devem ser sempre consideradas as condições de contorno em que essa obra está inserida. Os equipamentos de drenagem devem ser dimensionados e executados. Ademais, é importante ressaltar que as obras de contenção apenas protegem a infraestrutura, mas não resolvem o problema de erosão costeira. A erosão é um processo contínuo e natural e que para ser amenizado, quando a situação já é crítica, deve-se associar a essas obras, uma obra de engordamento praial.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para efeitos legais, a Zona Costeira é constituída por uma faixa marítima, com 12 milhas náuticas de largura, e por uma faixa terrestre, com 50 km de largura a partir da linha de costa, correspondendo a uma superfície territorial total de 535.000 km<sup>2</sup> (NEVES e MUEHE, 2008).

O estado do Rio Grande do Norte (RN), localizado no extremo Nordeste brasileiro, banhado pelo Oceano Atlântico Equatorial Sul, é formado por 28 municípios costeiros que interagem diretamente com o mar (Figura 12).

Figura 12: Municípios Costeiros do Rio Grande do Norte.

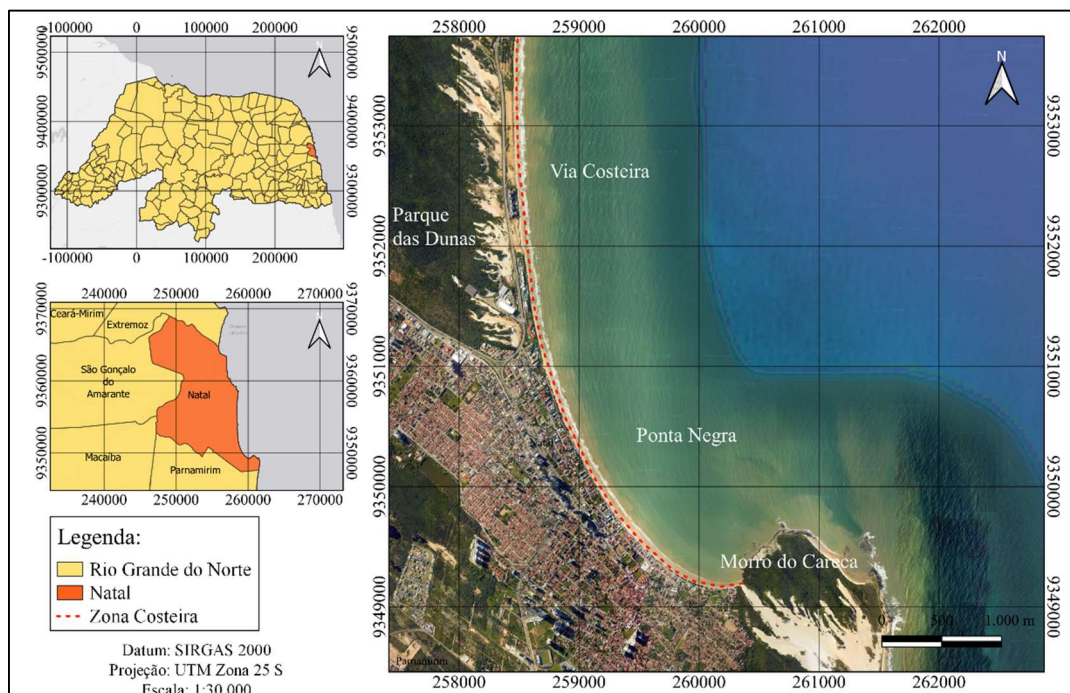


Fonte: Ministério do Meio Ambiente (acesso em abril/2022)

Natal, a capital do RN, é a principal cidade da Região Metropolitana de Natal (RMN), a qual é composta por 15 municípios: Natal, Parnamirim, Macaíba, São Gonçalo do Amarante, Extremoz, Ceará-Mirim, São José do Mipibu, Nísia Floresta, Monte Alegre, Vera Cruz, Maxaranguape, Ielmo Marinho, Arês, Goianinha e Bom Jesus, sendo este último incorporado em 2019.

A praia de Ponta Negra está localizada na área urbana de Natal e é uma praia arenosa de formato “em anzol” ou “zeta” e de costa aberta que possui cerca de 4 km de extensão e é um dos principais atrativos turísticos do RN. Uma duna parcialmente vegetada, conhecida como Morro do Careca, localiza-se na porção sul da praia e tem uma grande importância turística e ambiental para a região. A Via Costeira é uma rodovia à beira-mar, em continuidade para norte a partir da praia de Ponta Negra, que abriga os maiores hotéis da cidade (Figura 13).

Figura 13: Mapa de localização das praias de Ponta Negra e Via Costeira na cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte (RN), Nordeste do Brasil.



Com relação ao crescimento urbano das cidades, Natal, assim como a maioria das cidades brasileiras, teve o seu desenvolvimento de forma desordenada, o que fez surgir espaços desiguais. Esse problema de urbanização traz problemas socioambientais associados a falta de infraestrutura para abrigar esse crescimento populacional. Devido à falta de planejamento urbano, diversos problemas surgem nas zonas costeiras, a citar: os processos erosivos das praias, as transformações das paisagens e a redução da qualidade de vida da população (MACIEL, 2011).

Ponta Negra, por ser a praia mais famosa da cidade de Natal, apresentou um grande desenvolvimento econômico e aumento populacional nas últimas décadas, o que gerou diversas mudanças no equilíbrio ambiental da praia. Nessa perspectiva, as ações antrópicas, como as instalações comerciais, hoteleiras e habitacionais, criaram uma barreira no sistema praia-duna de alimentação de sedimentos da praia. Além disso a construção do calçadão fixando a linha de costa e os sistemas de drenagem pluvial desembocando diretamente na praia complicaram os processos erosivos que ocorrem na região (Figura 14a).

Na lateral de toda a extensão da Via Costeira, está localizado o Parque Estadual das Dunas, ou simplesmente Parque das Dunas, a primeira Unidade de Conservação

Ambiental do RN com 1.172 hectares de Mata Atlântica instalada sobre campos de dunas. O Parque das Dunas foi criado pelo Decreto Estadual nº 7.237 (22/11/1977) e figura ainda como parte integrante da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica reconhecida pela UNESCO, que a declarou Patrimônio Ambiental da Humanidade. Segundo maior parque urbano do Brasil, este setor da Via Costeira ainda preserva boa parte da sua fauna e flora natural, com um sistema de campos de dunas móveis e vegetados ainda consolidado (Figura 14b)

Figura 14: Vista aérea (a) Praia de Ponta Negra (b) Praia da Via Costeira.



(a)

Fonte: [tripadvisor.com.br](https://www.tripadvisor.com.br). (acesso em abr/2023)



(b)

Fonte: [blog.tribunadonorte.com.br/](https://blog.tribunadonorte.com.br/). (acesso em abr/2023)

### 3.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos

A região costeira do Brasil é constituída por bacias sedimentares formadas antes da separação dos continentes da América do Sul e da África. Geologicamente, é constituído por embasamento cristalino pré-cambriano, sobreposto por bacias sedimentares cretáceas (NEUMAN *et al.*, 2009; BEZERRA *et al.*, 2001). Nos terrenos costeiros do RN estão presentes as bacias sedimentares: Potiguar (litoral setentrional) e Pernambuco-Paraíba (litoral oriental), sobrepostos por cobertura sedimentar de depósitos terrígenos continentais e marinhos de idade miocênica a pliocênica, o Grupo Barreiras (ARAI, 2006; VITAL *et al.*, 2006; BARRETO *et al.*, 2004).

A zona costeira oriental do RN apresenta algumas feições morfológicas típicas como o sistema de praias arenosas e dunas; falésias marinhas ativas e inativas, tabuleiros costeiros formados pelas unidades litológicas do Grupo Barreiras; campos dunares e planícies flúvio-marinhas, onde se assentam as principais cidades litorâneas (Figura 15a e Figura 15b).

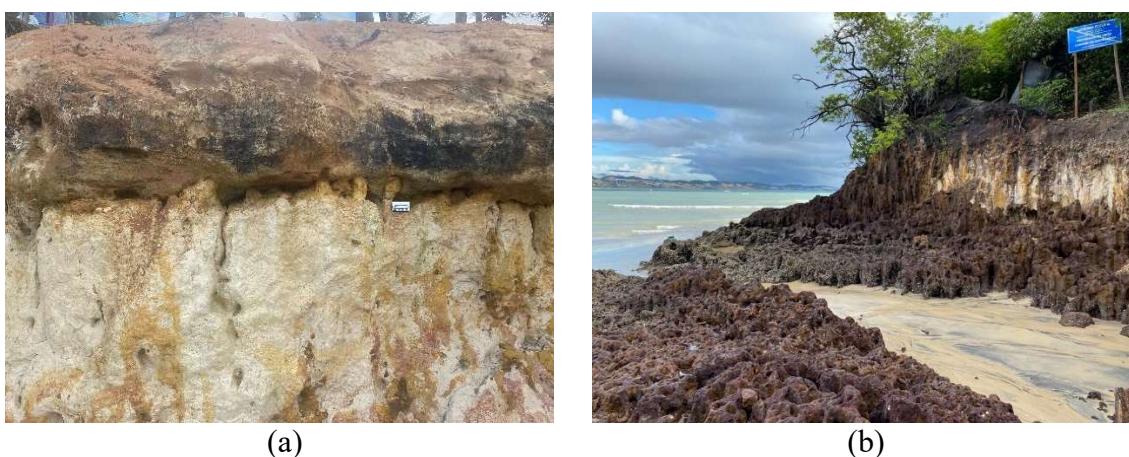
Figura 15: Feições morfológicas típicas da zona costeira oriental do RN (a) Falésias marinhas ativas; (b) campos dunares.



Fonte: VITAL (2006)

No Grupo Barreiras se intercalam camadas de argilitos, siltitos, arenitos, com diferentes teores de silte e argila e arenitos conglomeráticos, onde ocorre com frequência a presença de camadas enrijecidas com cimentação ferruginosa. (CÂMARA, 2019; SANTOS JUNIOR, COUTINHO E SEVERO; 2015, AMARAL, 1999) (Figura 16a). O arcabouço tectono-estrutural do litoral oriental é marcado por horsts e grábens alternados de direção geral NE, influenciados pela reativação neotectônica (BEZERRA *et al.* 2001). Nos limites da orla marítima, as rochas do Grupo Barreiras formam as falésias marinhas ativas e inativas, contendo praias arenosas defrontantes. Uma característica do litoral oriental é a presença de linhas emersas e submersas de arenito praiado (*beachrocks*), subparalelas a linha de costa atual, que alteram o padrão de arrebatamento das ondas (VITAL, 2006; TESSLER E GOYA, 2005) (Figura 16b).

Figura 16: Formações Geológicas: (a) arenitos e argilitos da Formação Barreiras (b) presença de *beachrocks*.



No litoral oriental são evidentes, resultante da interação entre os aspectos geológicos e hidrodinâmicos predominantes, a sucessão de praias em morfologia “zeta” de direção geral NS, como é o caso das praias de Ponta Negra e Via Costeira, com as ondas notadamente atingindo as falésias ativas do Grupo Barreiras. Tal arranjo geomorfológico caracteriza um tipo particular de evolução erosiva definida pela

associação de padrões de refração e difração de ondas (DINIZ, 1998; AMARAL, 1999; AMARO *et al.*, 2014; SCUDELARI *et al.*, 2016). A configuração geomorfológica e a orientação relativa da linha de costa frente à entrada das altas energias do clima de ondas são responsáveis pela vulnerabilidade desse setor frente a eventos erosivos (FIRMINO E BULHÕES, 2020).

## 3.2 Forçantes Meteorológicas e Oceanográficas

### 3.2.1 Batimetria

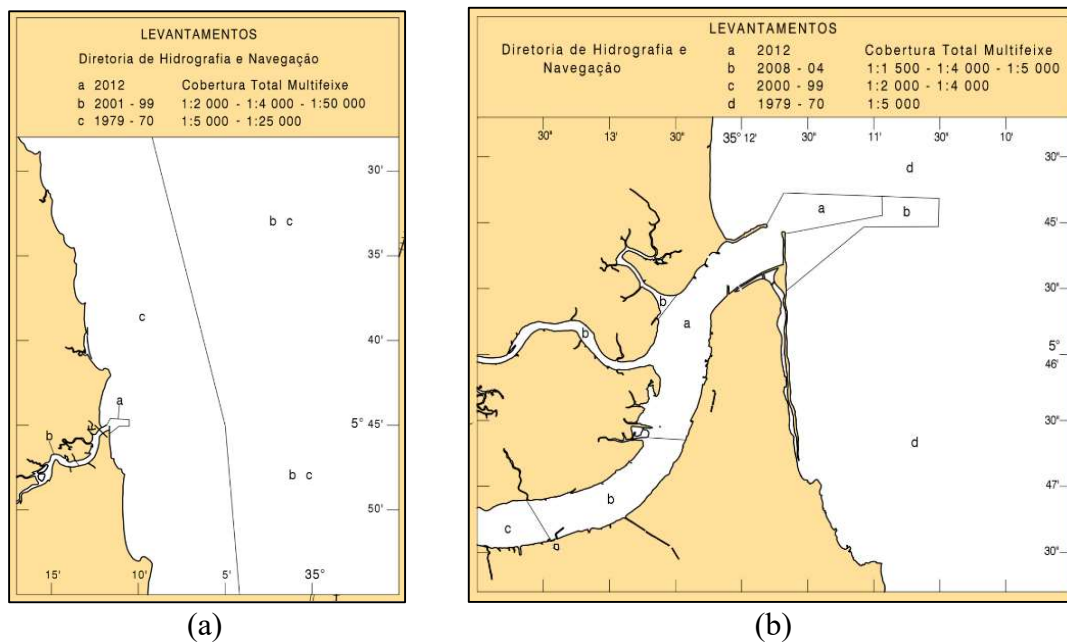
As informações de batimetria são importantes para fazer levantamentos do clima de ondas. As batimetrias para a região de Ponta Negra e Via Costeira e utilizadas na maioria dos documentos técnicos são provenientes da Carta Náutica 810 e 802. As Cartas Náuticas são levantamentos realizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. Essas cartas são documentos cartográficos que resultam de levantamentos de áreas oceânicas e fornecem informações sobre profundidade, perigos à navegação, linha de costa, correntes e magnetismo, entre outras informações. Para a região de Natal, tem-se duas cartas disponíveis, a Carta Náutica 802 que é uma carta de porto, com escala grande de 1:8.500 e a Carta Náutica 810, que é uma carta de aproximação, com escala de 1:50.000.

No documento, há um quadro de levantamentos que informa a data de captação dos dados dessas cartas e serve para orientar os seus usuários a respeito da confiabilidade dos dados inseridos nela. É possível observar que, em ambas as cartas, os dados localizados dentro de uma área próxima à costa, região de interesse na batimetria, foram obtidos por volta dos anos 1970 a 1979.

Os documentos passam por atualizações frequentemente, através de avisos aos navegantes, mas são atualizações pontuais muitas vezes relacionadas a informações dos portos. Assim, as Cartas Náuticas 802 e 810 passaram por atualizações nos anos mostrados na Figura 17, mas por ter como finalidade principal a navegação, essas atualizações se restringem a intermediações do Porto de Natal e a águas profundas. Com isso, as informações de profundidade próxima à costa são datadas na década de 70.

Esses dados de profundidade datados de 1970 a 1979 não transmitem confiabilidade, pois na época que foram medidos, os aparelhos e tecnologias utilizadas não eram tão desenvolvidos como os de hoje. Além disso, os processos costeiros são altamente dinâmicos e considerando que o fundo oceânico da região é predominantemente arenoso, está suscetível a grandes modificações ao longo dos anos. Uma vez que para determinar o clima de ondas, faz-se necessária essa informação de batimetria, pode-se concluir que não há tanta precisão nas informações de ondas obtidas por essa fonte.

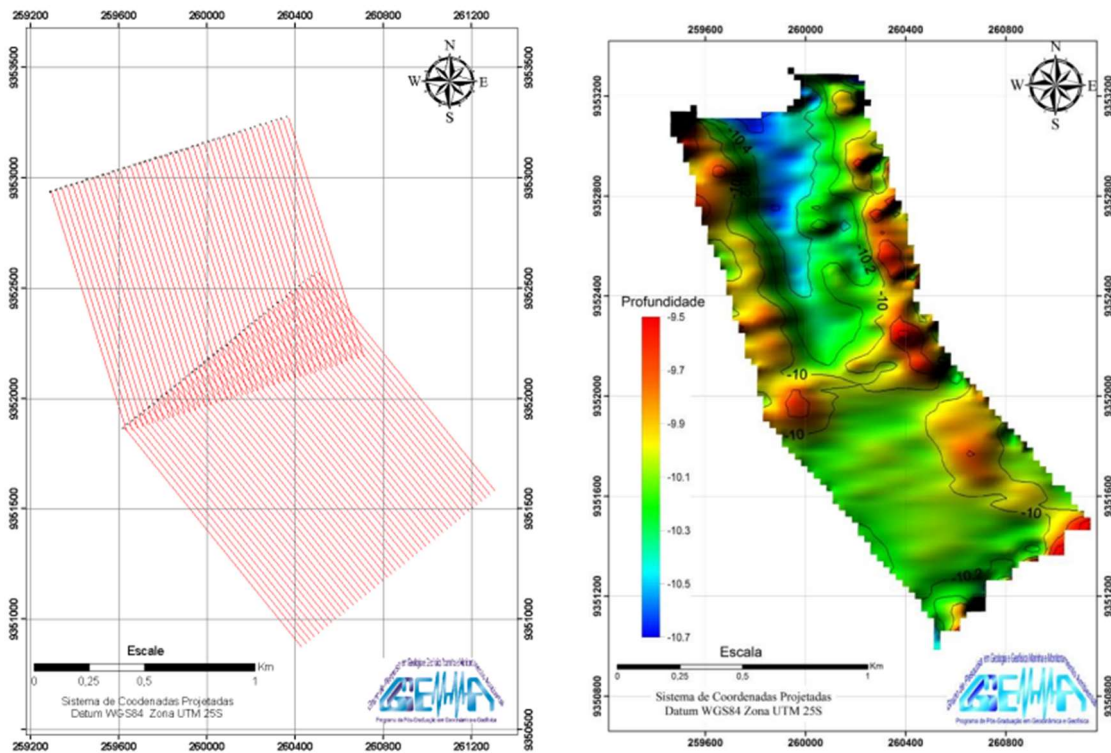
Figura 17: Histórico de levantamento de dados das Cartas Náuticas (a) 802 e (b) 810.



Fonte: Marinha do Brasil

Pereira *et al.* (2013) realizaram levantamentos batimétricos com sistema multifixe para a região de Ponta Negra. O levantamento foi realizado em dezembro de 2011, em uma área de 3 km<sup>2</sup>. Essa área foi dividida em dois blocos, cada um contendo 45 linhas paralelas entre si, espaçadas de 25 m e medindo 1,3 km. Como resultado, perceberam que na região mais ao norte há um canal submerso, rodeado por bancos sedimentares, relacionado diretamente com a hidrodinâmica da região. Na região sul, o relevo apresenta-se mais suave e homogêneo, relacionado a menor energia das ondas devido à proximidade do promontório do Morro do Careca (Figura 18).

Figura 18: Mapa Batimétrico região de Ponta Negra (dez/2011) (a) caminhamento (b) mapa batimétrico



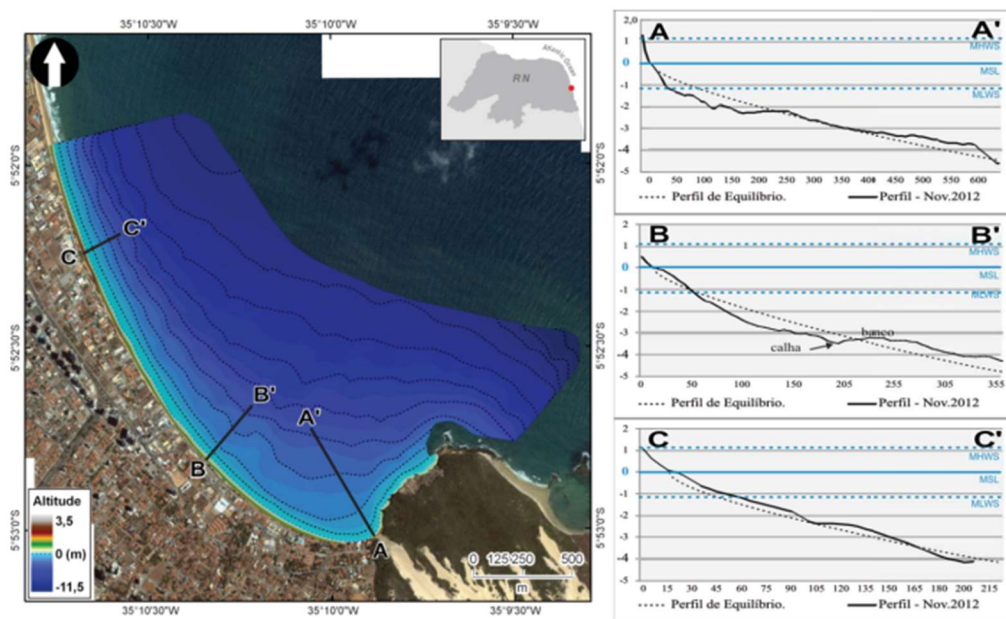
(a)

(b)

Fonte: Pereira *et al.* (2013)

Ferreira *et al.* (2014) também realizaram levantamentos batimétricos na porção submersa e levantamentos topográficos na porção emersa no período entre 30 de outubro e 04 de novembro de 2012. Os dados foram mensurados in situ através de embarcação do tipo inflável com ferramentas do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e ecossonda portátil. Esse levantamento batimétrico resultou em perfis levantados com caminhamentos longitudinais e transversais a linha de costa, com espaçamento entre linhas batimétricas de aproximadamente 50 m. O levantamento resultou em uma área emersa de 206.365,21 m<sup>2</sup> e uma área submersa de 2.571.766,21 m<sup>2</sup> (Figura 19).

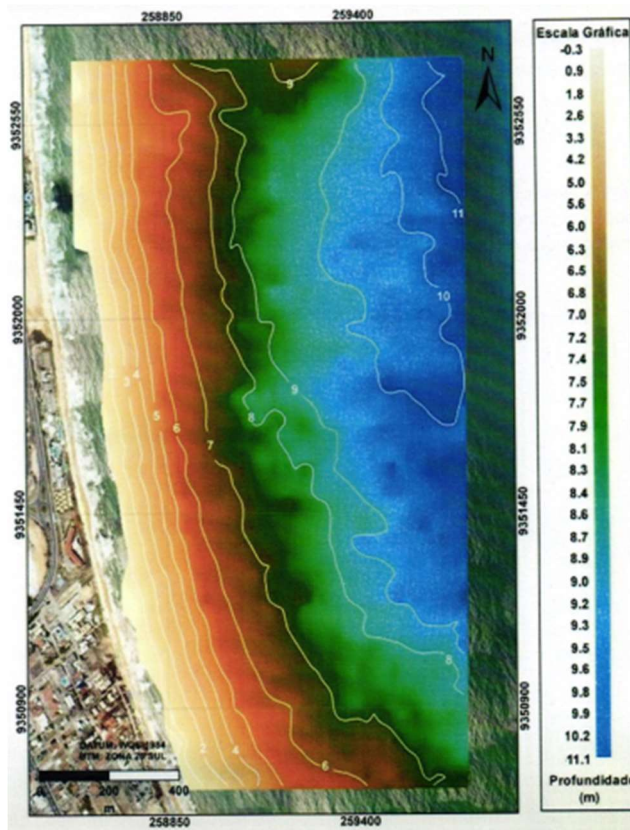
Figura 19: Levantamento de perfis topobatimétricos da Praia de Ponta Negra.



Fonte: Ferreira *et al.* (2014)

Novos levantamentos batimétricos foram realizados no dia 15 de junho de 2018, por VELOX (2018), na região em que se pretende realizar a obra de enrocamento complementar. Esse levantamento consistiu em 21 perfis e uma malha de 100 m de intervalo, atingindo a isóbata de 11 m. VELOX (2018) aponta que o paralelismo existente até a isóbata de 7 m realça o registro de possíveis linhas pretéritas de praia (Figura 20). Resultados da batimetria de detalhe permitem inferir que existe um arqueamento negativo adjacente à área de intervenção. Ao Sul limitado pelo promontório do Morro do Careca e ao norte por uma protuberância de sedimentos submersos. As ondas que se propagam no setor chegam de maneira frontal à praia e velocidade superior aos setores mais próximos (VELOX, 2018).

Figura 20: Mapa batimétrico no trecho do prolongamento do enrocamento da Praia de Ponta Negra.



Fonte: VELOX (2018)

### 3.2.2 Clima, Ventos e Precipitação

Climatologicamente, a região Nordeste do Brasil é fortemente influenciada pelas massas de ar úmidas provenientes do Oceano Atlântico, a Massa Equatorial do Atlântico, formadora dos ventos alísios de sudeste e nordeste da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT (AMARO *et al.*, 2012). Os fenômenos atmosféricos de escala global El Niño e La Niña afetam substancialmente os indicadores de temperatura e precipitação em escala mundial, pois corresponde às alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), com o El Niño provocando secas severas na região Nordeste, enquanto a La Niña favorece o aumento na precipitação, sobretudo na zona costeira dessa região. A expansão térmica dos oceanos, com o aumento da TSM, em conjunção com ressacas, fortes ventos e ondas altas promovem a elevação do nível médio relativo do mar expondo as praias arenosas a e rápidas mudanças morfológicas que resultam na intensa erosão e recuo da linha de costa, por vezes com danos às infraestruturas instaladas na orla marítima (NEVES E MUEHE, 2008; AMARO *et al.* 2015; SCUDELARI *et al.* 2016; VELOX, 2018).

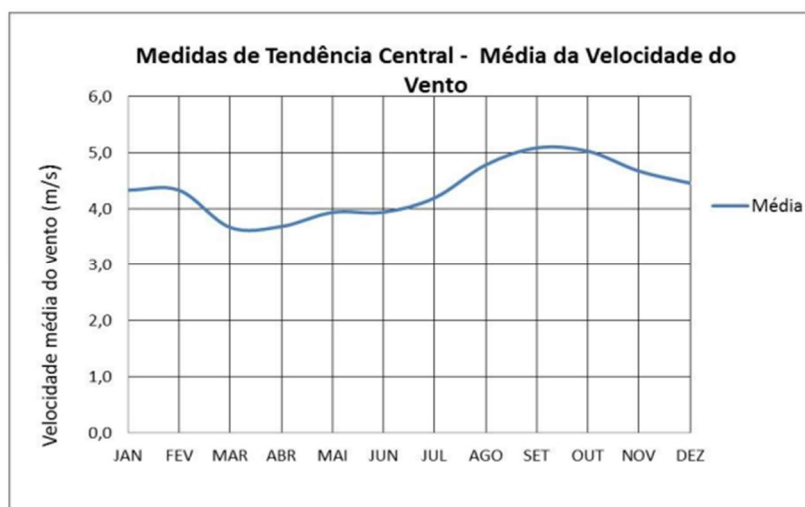
As mudanças nos padrões de TSM influenciam igualmente o regime de ventos, desde as brisas até os furacões (NEVES E MUEHE, 2008), e estão diretamente relacionadas ao processo de erosão/acreção nas praias arenosas, uma vez que maiores velocidades de vento desencadeiam maiores alturas de ondas, velocidades de correntes e transporte de sedimentos. Igualmente, as maiores taxas pluviométricas e os eventos

extremos de precipitação promovem a intensificação do escoamento superficial pluvial vindo do continente e, conseqüentemente da erosão continental na orla marítima (AMORIM *et al.*, 2019).

TETRA TECH (2016) resume o histórico de ventos com dados captados de três fontes: estação do aeroporto de Natal - METAR, INMET (Instituto Nacional da Meteorologia), CFSR (Climate Forecast System Reanalysis). As três bases apresentaram uma tendência de ventos na direção SE e E. Para as medições do CFSR, base de dados com 32 anos de observações localizada em Ponta Negra (5,77°S e 35°W), tem-se 47,7% das velocidades predominantes entre 6,0-8,0 m/s. Para o conjunto de 54 anos de dados da estação INMET, tem-se 41,92% de velocidade predominante entre 4,0-6,0 m/s. Para o conjunto de 19 anos de dados da estação SBNT METAR, tem-se velocidade predominante de 4,0-6,0 m/s com percentual de 28,36%.

Para analisar o comportamento sazonal da velocidade do vento na cidade de Natal, Barros *et al.* (2013) estuda os dados históricos de 1984 a 2012. Os autores concluem que a cidade de Natal está sob influência dos ventos alísios de Sudeste, que, conforme a distribuição de Weibull, há 95% de chance de ocorrer ventos com intensidade menor que 5,2 m/s e 90% de chance de ocorrer ventos com intensidade menor que 5,0 m/s. Na média por estação do ano tem-se que o outono tem menor intensidade 3,8 m/s e a primavera tem maior intensidade 4,9 m/s (BARROS *et al.*, 2013; CAVALCANTI *et al.*, 2020) (Figura 21).

Figura 21: Média da velocidade do vento – Natal/RN - 1984 a 2012

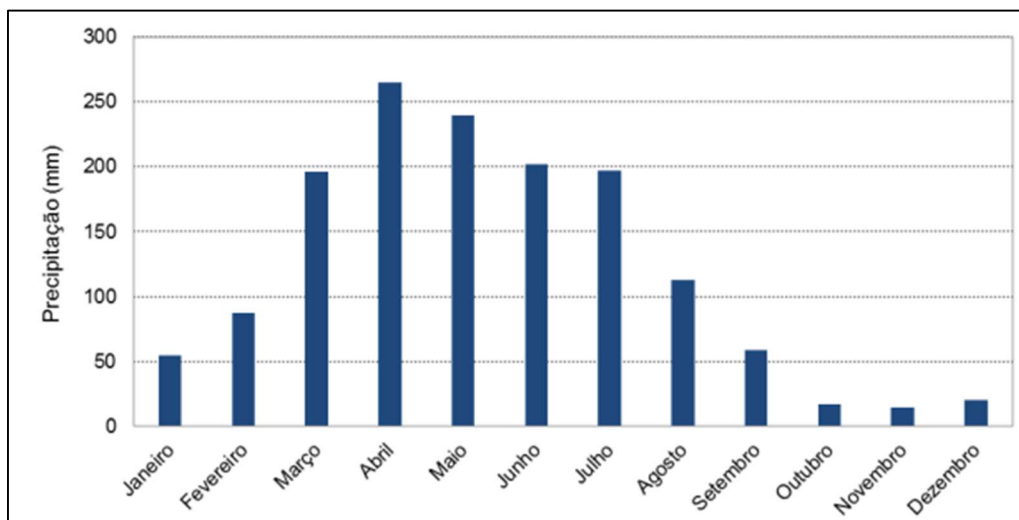


Fonte: Barros *et al.* (2013)

A precipitação na cidade de Natal apresenta médias acima de 200 mm por mês durante o período chuvoso principal (abril a julho), sendo o período de setembro a fevereiro os meses considerados menos chuvoso, com médias de precipitação abaixo de 60 mm por mês (AMORIM *et al.*, 2019).

TETRA TECH (2016) utiliza levantamentos do período de 1961 a 1990 para obter dados de precipitação (Figura 22). Os meses mais chuvosos se estendem de março a julho com médias em torno dos 200 mm por mês.

Figura 22: Precipitação Acumulada Mensal para a estação Natal (INMET) - 1961-1990



Fonte: TETRA TECH (2016)

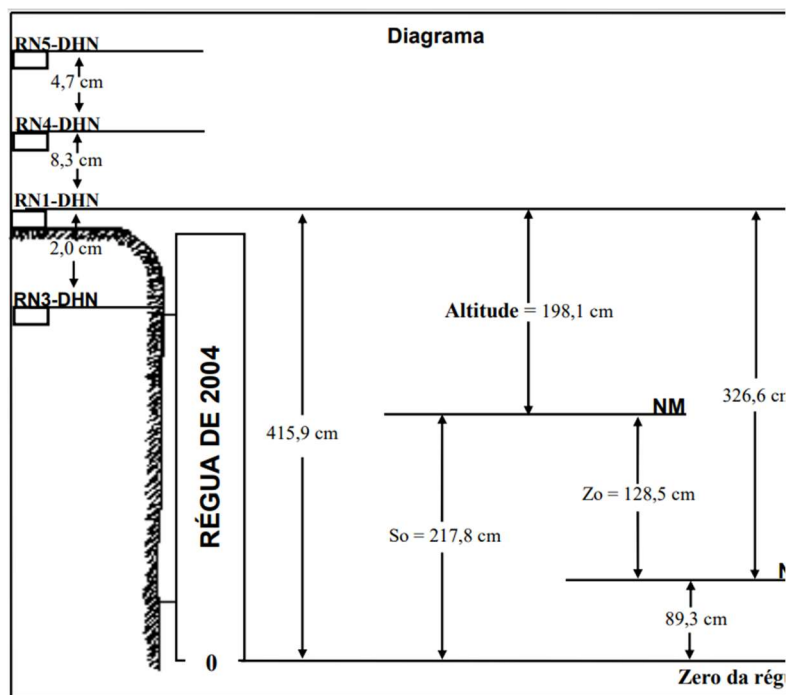
### 3.2.3 Marés

As marés são ondas de grande comprimento com períodos que variam de 12 a 24 horas causada pela combinação dos efeitos de rotação da Terra com a atração gravitacional da Lua e do Sol. Normalmente, as águas descem e sobem duas vezes ao dia, gerando as baixa-mares e preamares, respectivamente.

A amplitude das marés (a diferença de nível entre a preamar e a baixamar) é um elemento modelador da linha de costa, em função das velocidades de correntes a ela associadas. Estas correntes de marés são significativas no transporte sedimentar costeiro especialmente onde a variação da maré é expressiva (TESSLER E GOYA, 2005).

As medições efetuadas no trapiche da Capitania dos Portos do RN, disposta no interior do estuário do Rio Potengi, com 425 dias de observação da maré (2005 a 2006), dados disponibilizados para uso nas Cartas Náuticas 802 e 810, indicam: média das preamares de sizígia de 2,3 m; média das preamares de quadratura de 1,8 m, média das baixa-mares de sizígia de 0,8 m; média das baixa-mares de quadratura de 0,2 m (Figura 23).

Figura 23: Estação Maregráfica Trapiche Capitania dos Portos (2004)



Fonte: Marinha do Brasil

Amaro *et al.* (2012) também realizou medições *in situ* para dados de marés, embora as observações tenham sido de curto prazo. As medições da altura da coluna da água foram adquiridas com sensor de pressão Aquadopp-Profilers® da Nortek A.S. na PPN no período de 01/10/2012 a 05/10/2012. Constatando um regime de marés semidiurna, a altura média de maré de 1,88m, sendo altura máxima 2,43m e mínima 0,9m.

A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) disponibiliza informações diárias da altura de maré (tábua de maré) astronômica para o Porto de Natal através de modelos numéricos em que se tem o horário e altura da maré prevista considerando uma certa localização (Latitude 05° 46'.7 S e Longitude 035° 12'.5 W). Para esses dados, a altura média da maré considerada é de 1,28m.

A altura de maré sofre influência de fatores astronômicos, resultado da ação gravitacional e sua altura é determinada pela Tábua de Marés elaborada pela DHN. A maré meteorológica é definida como a diferença positiva ou negativa entre a maré observada e a maré prevista (astronômica) e depende das condições do tempo, pressão atmosférica e relação ar e mar (VEDANA, CANTO E SCHVAMBACH, 2021).

Na região de Ponta Negra e Via Costeira, a ação da maré meteorológica tem pouca influência nas movimentações da maré, desse modo, a maré astronômica coordenada as alturas da baixa-mar e preamar e diante disso, os dados das tábuas de marés já são bastante representativos para o local. Para a maré astronômica tem-se oscilações na série temporal de -1,4m e +1,4m entre preamares e de -0,75m e +0,75m entre baixa-mares. Já a atuação da maré meteorológica, como já citado, é de pouca influência e apresenta oscilações de -0,1m e +0,1m (VELOX, 2018).

### 3.2.4 Correntes

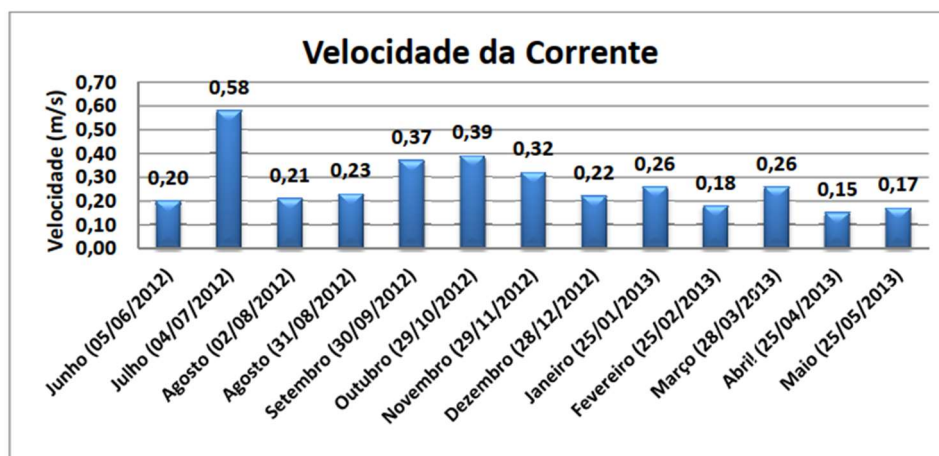
O padrão de distribuição dos sedimentos no fundo é um bom indicador do padrão de correntes, na medida em que areias de granulometria mais grossas estão associadas a locais de hidrodinâmica mais energética, enquanto sedimentos mais finos estão associados aos locais de energia mais baixa (AMARO *et al.*, 2012).

Estudos das correntes marítimas foram realizados pelo Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) em 2007, com medições *in situ*, para os projetos do Emissário Submarino de Ponta Negra, indicando valores de corrente menores que 0,5 m/s. Ainda para os estudos do Emissário de Ponta Negra, Rosman e Scudelari (2009), utilizaram um modelo numérico para dispersão de efluentes desde águas mais rasas a águas profundas e como resultado tem-se que a circulação nas proximidades da costa resulta em valores menores que 0,15 m/s.

Amaro *et al.* (2012) realizou medições *in situ* pelo adquiridas com o perfilador acústico *Aquadopp-Profilor*® da Nortek A.S. Como resultado, valores médios, mínimos e máximos absolutos de corrente medidos foram de 0,05 m/s, 0,003 m/s e 0,134 m/s, respectivamente. Além disso, os autores fizeram medições através de observações visuais e obtiveram um valor de corrente de 0,091 m/s.

Medições *in loco* de Chacon (2013) determinaram a distribuição da velocidade das correntes no período de junho de 2012 a maio de 2013 durante as marés de sizígia. Verificaram-se maiores correntes no mês de julho de 2012 com valores de 0,58 m/s e menores valores no mês de abril de 2013 com valores de 0,15 m/s (Figura 24).

Figura 24: Distribuição da velocidade da corrente em Ponta Negra



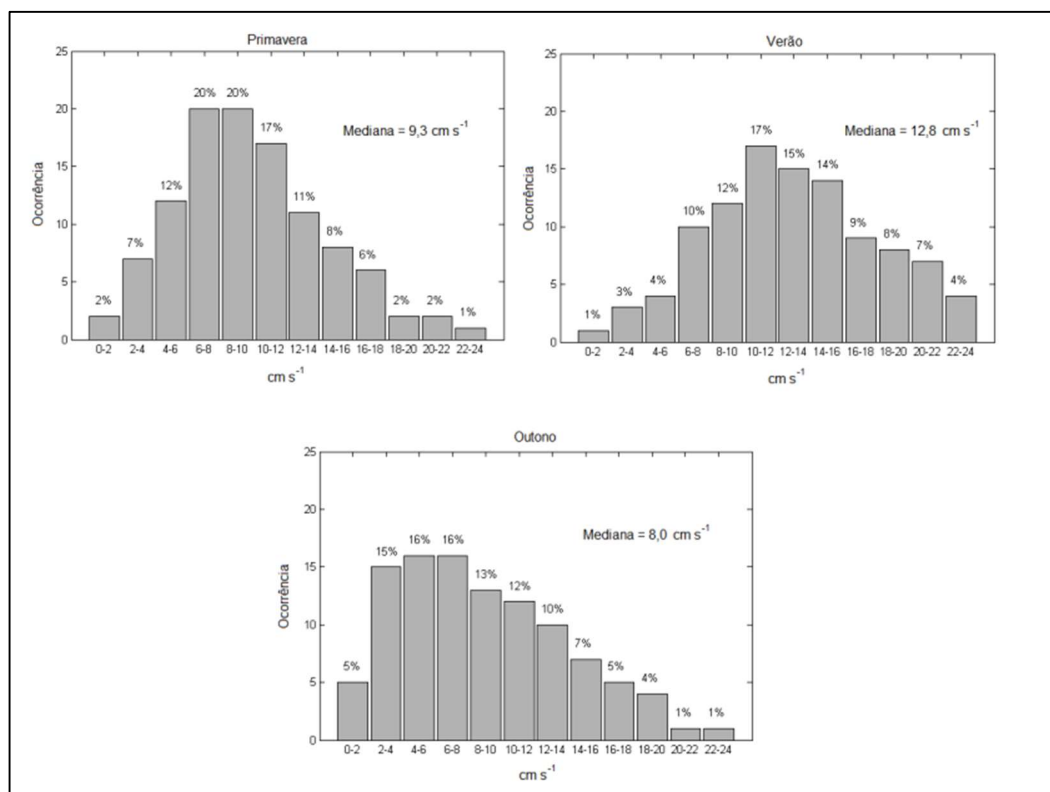
Fonte: Chacon (2013)

Ribeiro (2014) analisa as correntes para a região de Ponta Negra através de um correntômetro fundeado a 3 km da linha de costa, na isóbata de 10 metros (5°51'26" S e 35° 8'14" W), entre outubro de 2013 e abril de 2014. As medições foram realizadas em cinco campanhas mudando-se as estações do ano, porém a campanha de inverno foi perdida por problemas técnicos. Dos resultados obtidos, Ribeiro (2014) verifica que o deslocamento residual é predominantemente na direção Norte paralelo a linha de costa. As maiores intensidades são na campanha de verão, com mediana de 12,8 cm/s, seguida da primavera com 9,3 cm/s e outono com 8,0 cm/s (Figura 25).

Ribeiro (2014) também conclui que para períodos de ventos intensos ocorre um aumento relativamente rápido das correntes e que, através de séries temporais, essa relação atinge correlação direta de ( $r > 0,75$ ). As séries temporais (estações do ano)

indicaram que as correntes ao longo da costa são moduladas pelos ventos enquanto a componente através da costa é modulada principalmente pela maré e secundariamente pelos ventos.

Figura 25: Distribuição de frequências da velocidade das correntes para as campanhas de primavera, verão e outono.



Fonte: Ribeiro (2014)

VELOX (2018) realiza o levantamento de dados oceanográficos com o uso do perfilador do tipo ADCP com medições *in loco* em curtos intervalos de tempo. Inicia-se na profundidade de 1,18m e seguindo a cada 0,50m com máximo profundidade de 9,00m. Além disso, VELOX (2018) procurou medir o valor das correntes nas diversas condições de marés (preamar, vazante, baixa-mar e enchente). Como resultado, os maiores valores de corrente foram próximo a linha de costa. Na Tabela 1 estão descritos os dados encontrados por VELOX (2018).

Tabela 1: Valores de corrente para Praia de Ponta Negra/RN

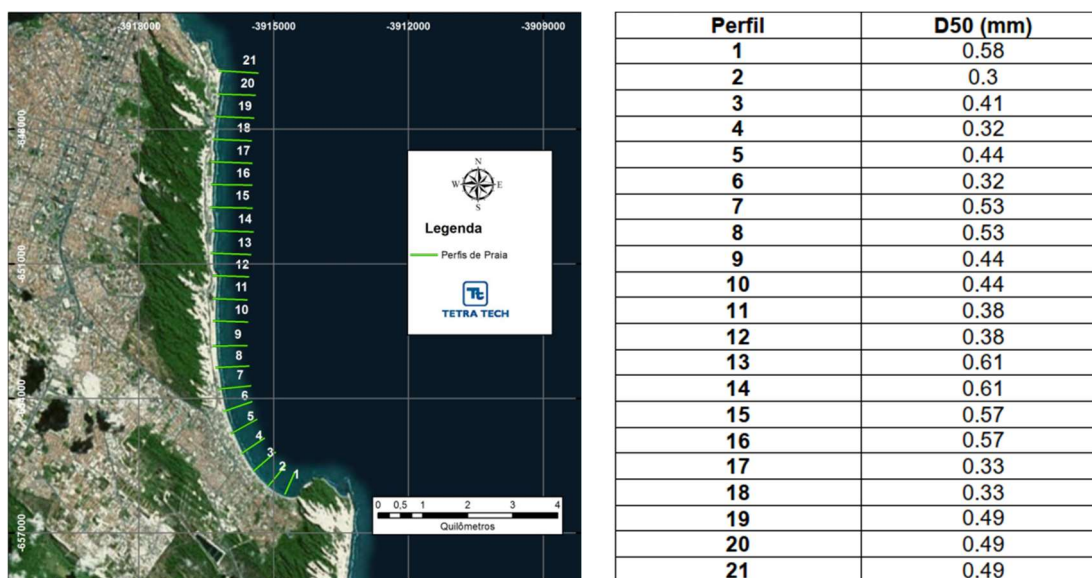
	<b>Preamar</b>	<b>Vazante</b>	<b>Baixa-mar</b>	<b>Enchente</b>
<b>Intensidade máxima (m/s)</b>	0,70	0,40	1,00	0,77
<b>Intensidade média (m/s)</b>	0,23	0,25	0,28	-
<b>Direção</b>	Diversas direções de forma segmentada	NW-SW	N-NW-SW	N-NW-SW

### 3.2.5 Sedimento Praial

Amaro *et al.* (2012) coletou amostras de sedimentos da praia em três perfis em seis datas a partir de junho de 2012. O diâmetro mediano  $D_{50}$  foi de 0,17 mm no ponto 1, próximo ao Morro do Careca, de 0,27 mm no ponto 2, próximo ao Hotel Ingá e de 0,30 mm no ponto 3, próximo ao Hotel Plaza. A granulometria de Ponta Negra mostra uma variação longitudinal mais fina próximo ao Morro do Careca e mais grossa nas proximidades do Hotel Pestana.

TETRA TECH (2016) realiza o levantamento do diâmetro médio ( $D_{50}$ ) dos sedimentos em 21 perfis dispostos espacialmente a cada 500 metros (Figura 26).

Figura 26: levantamento do  $D_{50}$  em 21 perfis de Ponta Negra/RN



Fonte: TETRA TECH (2016)

VELOX (2018) realiza, no Projeto Básico do enrocamento aderente complementar, a análise granulométrica com 104 amostras de sedimentos coletados em 41 pontos equidistantes ao longo de 2.000m na Praia de Ponta Negra. Como resultado dessa distribuição, tem-se que a areia fina representou 4,81%, areia média 89,42% e areia grossa 5,77%. O baixo percentual de areia fina representa uma praia com maior energia de onda, típico de praias refletivas.

### 3.2.6 Transporte Longitudinal de Sedimentos (TLS)

O Transporte Longitudinal de Sedimentos (TLS) pode ocorrer pela ação do vento e das ondas e ocorre principalmente na zona de arrebentação, onde grande parte dos sedimentos entra em suspensão. A taxa de transporte vai depender das correntes litorâneas, da declividade praial e do tamanho do grão do sedimento.

O efeito das ondas incidindo de sudeste e este obliquamente a orla marítima de Natal causa os transportes longitudinais de sedimentos (TLS) e o resultado morfológico em planta do trecho de praia é uma assimetria na direção preferencial do transporte (MOTTA *et al.*, 2018). Portanto, para as praias de Ponta Negra e Via Costeira, o sentido do transporte é sul-norte (TETRA TECH, 2016; ARAÚJO, 2015; VELOX, 2018). No período chuvoso, as taxas de TLS são mais expressivas, porquanto ocorre um maior

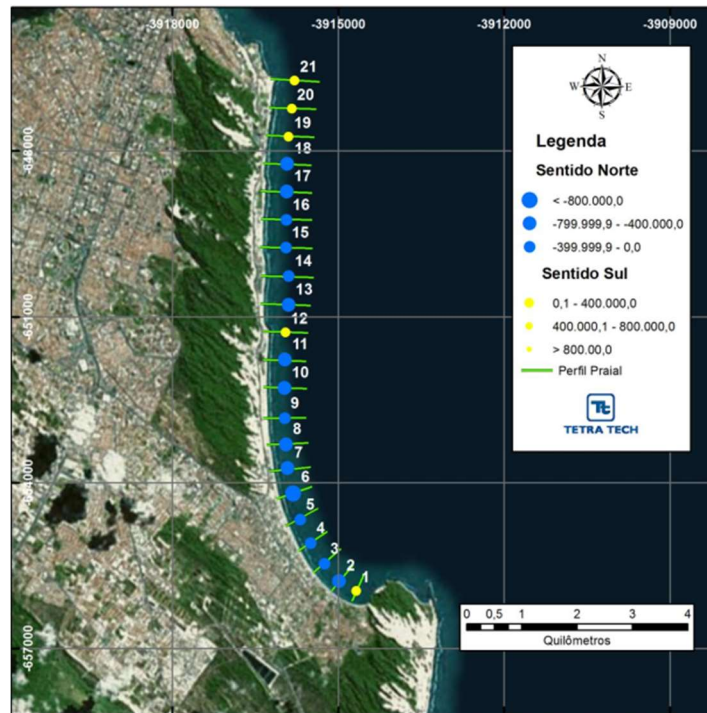
aporte de sedimentos do continente para a faixa litorânea. Além disso, é nesse período sazonal que predominam os ventos mais energéticos do ano, contribuindo ainda mais para o aumento na energia das forças motrizes hidrodinâmicas (MATOS *et al.*, 2020).

Altas cargas de transporte de sedimentos já se faziam presentes em décadas passadas, confirmando a ocorrência natural de um fenômeno com característica sazonal com períodos intercalados de erosão e acreção. (ARAÚJO, SCUDELARI E AMARO, 2015).

As intensidades e sentidos de fluxos do TLS causadas pelas correntes de deriva litorânea são igualmente resultantes da modulação dada pelos ventos e marés locais (RIBEIRO, 2014). Estudos do TLS desde 1950 até atualmente destacam uma diminuição no transporte entre as décadas de 50 a 70 seguido de um aumento dessa taxa até os anos 2000 e para o presente. Os cálculos do TLS indicaram volume de material transportado de 3.476 m<sup>3</sup>/dia e 1.268.740 m<sup>3</sup>/ano (CHACON, 2013) e volume da ordem de 700.000 m<sup>3</sup>/ano a 2.000.000 m<sup>3</sup>/ano com maiores taxas nas estações de outono e inverno com estados de mar mais energéticos em que se avultam os processos erosivos nas praias de Ponta Negra e Via Costeira (ARAÚJO, 2015). Este setor praial apresentou um balanço sedimentar negativo de 354.614,24 m<sup>3</sup> e o balanço positivo de 1.206,15 m<sup>3</sup> para um período anual com base nos dados do SMC-Brasil (VELOX, 2018).

TETRA TECH (2016) conclui que o TLS na Praia de Ponta Negra apresenta um padrão de deslocamento em direção ao Norte, influenciado pela obliquidade das ondas incidentes. Em 21 perfis observados, foi possível destacar apenas cinco perfis com transporte em direção ao sul (perfis 1, 12, 19, 20 e 21), ocasionado pela exposição das ondas de NE. Destaca-se o perfil 6 em que há um transporte de sedimentos em direção ao Norte mais intenso devido a ação das ondas de forma mais efetiva devido a não proteção dessa região pelo promontório do Morro do Careca. Destaca-se também a movimentação de sedimentos no perfil 11, em que há uma inversão de direção no transporte. Nessa região do ponto 11 existe um pequeno promontório responsável por essa inversão (Figura 27).

Figura 27: Média anual de TLS - Ponta Negra 2001 a 2015



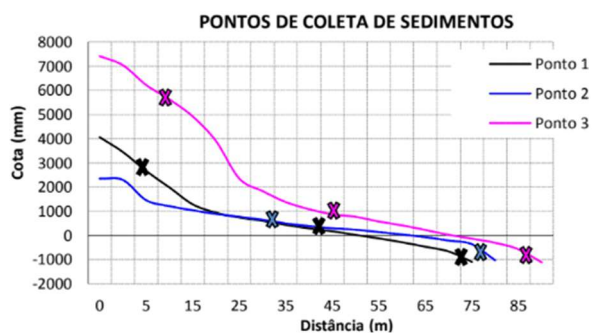
Fonte: TETRA TECH (2016)

### 3.2.7 Perfil Praia

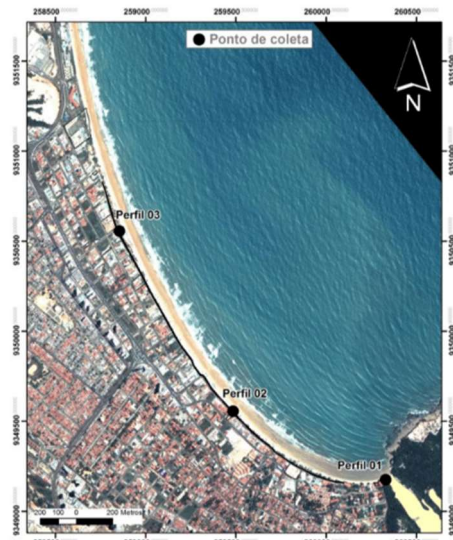
Os perfis praias, longitudinais e transversais, irão direcionar a forma que a energia da onda será dissipada e, portanto, como se comportará a movimentação dos sedimentos em um determinado ponto.

No levantamento dos perfis praias realizados por TETRA TECH (2016) conforme Figura 28, pode-se comparar o perfil nos três pontos levantados e verifica-se que o perfil com menor cota é o perfil 2, região que mais sofre quando há avanço do nível do mar. Desse modo, destaca-se a importância da construção de bermas na proteção costeira, elevando o perfil praias desses pontos.

Figura 28: Perfis Praiais em Ponta Negra (a) pontos de coleta (b) localização dos perfis praias



(a)

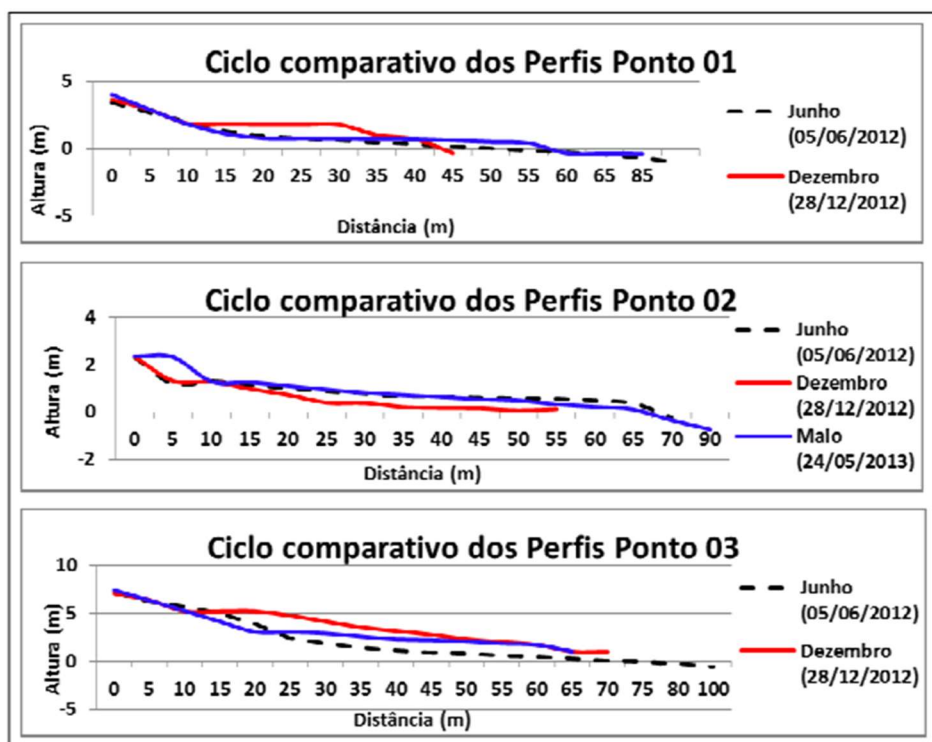


(b)

Fonte: TETRA TECH (2016)

Chacon (2013) afirma que essa mesma região de perfil praias com menor cota apresenta uma zona de estirâncio praticamente sem inclinação, o que implica em processos erosivos mais intensos, uma vez que as ondas e marés não perdem força nem velocidade, devido a inexistência de elevação. Chacon (2013) realizou o levantamento de três perfis praias com medições durante um ano para avaliar a evolução anual dos perfis praias da região. Como resultado, tem-se que mesmo diante de um quadro erosivo, o perfil praias tende a retornar a mesma topografia dada uma estação climática. Na Figura 29, observa-se que para maio de 2013, principalmente nos perfis 1 e 2, há uma tendência de igualar-se ao perfil traçado em junho de 2012.

Figura 29: Ciclo comparativo entre perfis praias em Ponta Negra (2012-2013)



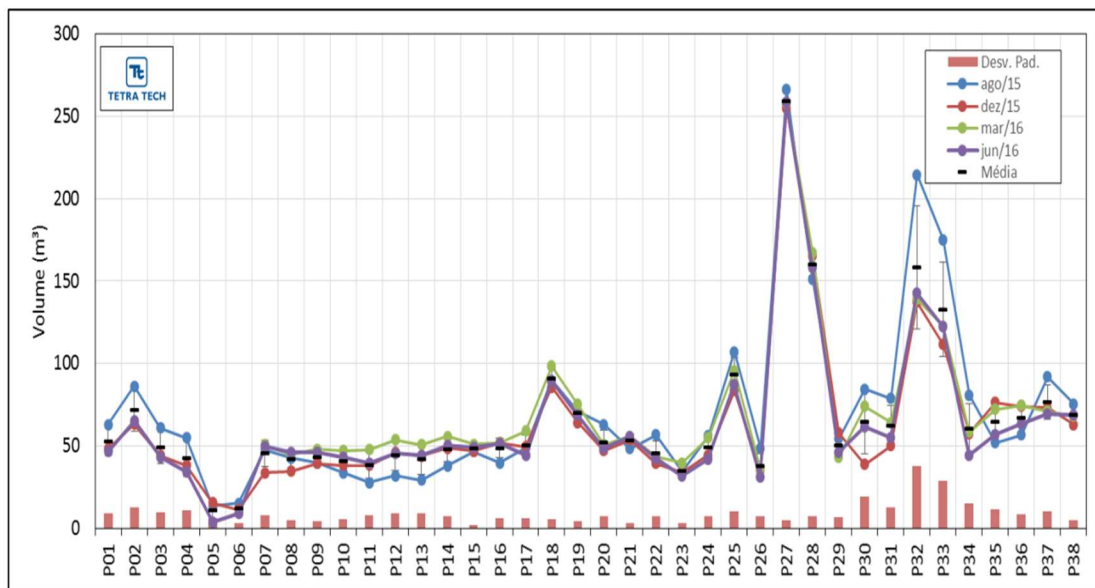
Fonte: Chacon (2013)

TETRA TECH (2016) realizou um levantamento topográfico em 38 pontos ao longo da orla de Ponta Negra e Via Costeira. A coleta dos dados foi feita com um sistema GNSS (Global Navigation Satellite Systems) com *datum* horizontal SIRGAS 2000 e *datum* vertical de Imbituba (zero correspondente ao NNM). O levantamento se estendeu do início da faixa de areia à profundidade de 1,5 m e com essa metodologia foi possível observar as variações morfológicas em cada um desses perfis no período de aproximadamente um ano.

O resultado desse estudo mostrou o balanço sedimentar ao longo de quatro intervalos de tempo. O período de grande perda de sedimento, entre agosto e dezembro de 2015, coincidiu com um clima de ondas com alturas mais significativas, enquanto o período de dezembro de 2015 a março de 2016 apresentou aporte volumétrico de sedimentos e coincidiu com o período de calmaria de ondas (Figura 30).

TETRA TECH (2016) aponta que nos perfis levantados ao longo da estrutura do enrocamento houve um sutil ganho de sedimentos ao comparar os meses de agosto de 2015 e junho de 2016. Nas áreas adjacentes, Morro do Careca e Via Costeira, observou-se uma tendência erosiva. É possível perceber a influência dessa obra na região que está inserida e nas regiões adjacentes. Obras de fixação da linha de costa, como o enrocamento, tendem a proteger a região em que estão inseridas, mas acabam por transferir o problema para localidades adjacentes, como é observado nos levantamentos de TETRA TECH (2016).

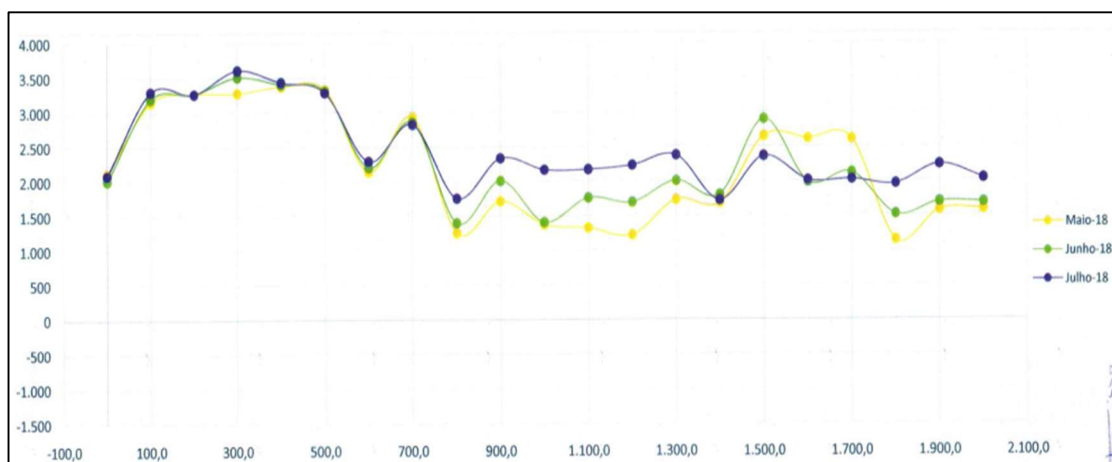
Figura 30: Volume de sedimentos para 38 perfis praias (agosto/2015 – junho/2016)



Fonte: TETRA TECH (2016)

VELOX (2018) realiza o levantamento dos perfis morfodinâmicos com 21 pontos de coleta de perfis transversais equidistantes em 100 m ao longo dos 2.000 m onde pretende-se implantar o enrocamento complementar e um perfil longitudinal em toda a extensão dos 2.000m. Os levantamentos foram realizados em três meses consecutivos do ano de 2018 (maio, junho e julho). Para os perfis transversais percebe-se uma tendência de perda de sedimentos ao longo dos três meses, o que coincide com um período crescente da intensidade dos ventos e da energia das ondas. Para o perfil longitudinal, percebe-se um aumento considerável das cotas em relação ao trecho do primeiro enrocamento. Além disso, percebe-se trechos alternados de deposição e erosão de sedimentos ao longo dos meses de maio, junho e julho de 2018 (Figura 31).

Figura 31: Perfil longitudinal da linha base do enrocamento complementar – Ponta Negra/RN



Fonte: VELOX (2018)

### 3.2.8 Ondas

Em águas profundas, os ventos com determinada intensidade, direção e duração causam perturbações no oceano em uma área chamada “pista”. Essas perturbações são as ondas e, inseridas em um meio, não têm capacidade de transportar massa, apenas energia.

As partículas abaixo de uma onda possuem movimentos orbitais que diminuem rapidamente até a profundidade equivalente à metade do comprimento de onda. A partir dessa profundidade, não há mais interferência da onda nas águas marinhas. Ao chegar em águas rasas, a profundidade do fundo oceânico diminui, o comprimento da onda acompanha essa redução e sua altura aumenta. Quando a profundidade atinge a metade do comprimento da onda (profundidade de fechamento), ela começa a sentir o fundo oceânico e as partículas que antes orbitavam circularmente se achatam em órbitas elípticas. Nesse momento, a onda passa a interferir no fundo oceânico transportando sedimentos. A velocidade da crista da onda passa a ser maior do que a velocidade do vale de modo que ocorre a sua quebra.

Existe uma forte relação entre a modelagem do perfil praiial com o clima de ondas nas proximidades de uma praia. O clima de ondas envolve algumas variáveis sendo a altura da onda e o seu período, a velocidade das correntes, a direção da corrente. A energia da onda é proporcional ao quadrado da sua altura e essa energia está relacionada com o transporte de sedimentos de uma praia. A região de Ponta Negra e Via Costeira, seguindo a mesma tendência de diversas praias do litoral brasileiro, é muito carente de um levantamento contínuo de dados oceanográficos, incluindo dados de ondas. Sabendo-se do desafio que esse litoral enfrenta com os processos erosivos, percebe-se o quanto é crucial, a mudança dessa perspectiva e inserção de projetos de monitoramento desse aspecto.

Estudos acadêmicos têm se desenvolvido para levantamento dos dados de ondas da região. Alguns desses estudos são modelagens de dados de ondas em águas profundas que permitem obter informações da evolução das ondas de forma mais abrangente em um intervalo de tempo maior, outros são trabalhos com medições *in situ*, que captam dados pontuais com intervalo de tempo restrito, os quais contam com os efeitos do fundo oceânico e declividades que modificam as características das ondas, permitindo estudar diferentes incidências de ondas a depender do local de captação desses dados ao longo da linha de costa.

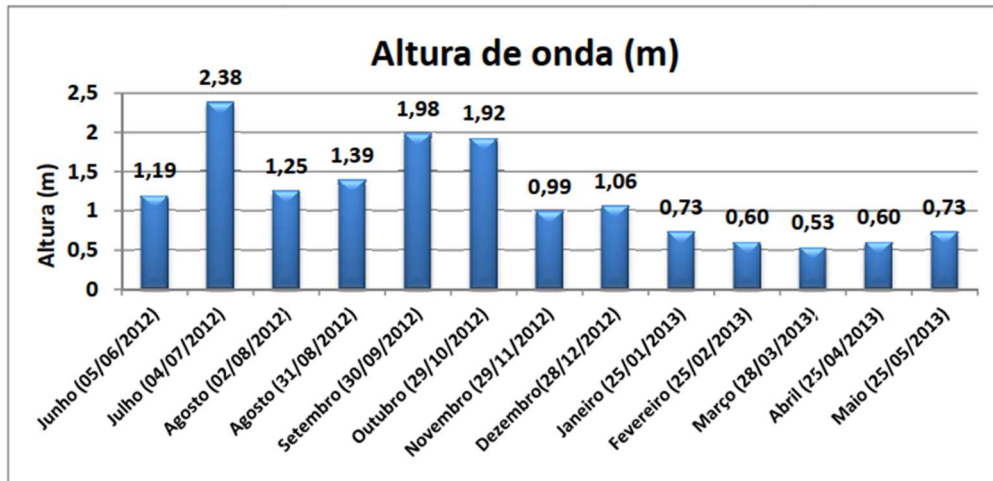
Para as praias de Ponta Negra e Via Costeira, as análises estatísticas de ondas realizadas de 1977 a 1984 pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) indicaram altura média de 1,21 m e período de 6,20 s (AMARO *et al.*, 2012).

Na análise espectral das ondas medidas *in situ* por medidor de ondas e correntes Aquadopp-Profiler® da Nortek A.S., realizadas por Amaro *et al.* (2012), conclui-se que para a altura de ondas, os valores máximos são de 0,97 m e médios de 0,54 m. Para o período de onda, obteve-se dados medianos de 4,24 s, predominando ondas com períodos inferiores a 6,00 s.

Entre junho de 2012 a maio de 2013, Chacon (2013) realizou 13 levantamentos *in loco* durante as marés de sizígia para verificar dados hidrodinâmicos. A maior altura de onda registrada foi de 2,38 m em 04 de julho de 2012 e menor altura de 0,53 m registrada no mês de março. Os primeiros seis meses de levantamento apresentaram maiores alturas de onda justificadas pela maior intensidade do vento (Figura 32). A altura significativa de onda, dada pela média das alturas de um terço das ondas mais altas foi de 1,78 m. Para os períodos de onda, Chacon (2013) observa menores períodos com valores de 5,27 s para o mês de junho e maiores valores de 8,77 s para o mês de

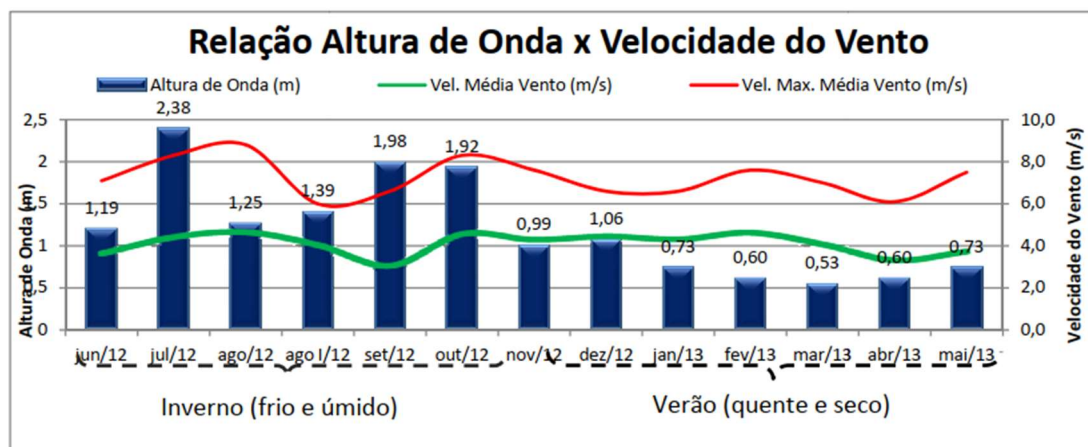
novembro. Verifica-se, portanto, uma correlação inversa de proporcionalidade. Quanto maior a altura de onda, menor o período. Chacon (2013) também aborda uma relação proporcional entre a intensidade dos ventos e a altura de onda (Figura 32 e Figura 33)

Figura 32: Medições in loco da altura de onda na Praia de Ponta Negra (Próximo do Hotel Plaza)



Fonte: Chacon (2013)

Figura 33: Relação entre altura de onda e intensidade do vento



Fonte: Chacon (2013)

Almeida *et al.* (2015) realizou o levantamento do clima de ondas em um período de 60 anos através da ferramenta do SMC-Brasil. Como resultado, esse trabalho caracterizou as ondas da região com alturas variando entre 0,50 m e 2,80 m, sendo 75% das ocorrências menores que 1,60 m. Com relação aos períodos tem-se valores de 4s a 20,00 s, sendo 75% dos valores inferiores a 8,00 s. Em uma análise de distribuição, o trabalho conclui que as ondas mais frequentes são de altura entre 1,30 m e 1,70 m e com período em torno de 8,00 s.

Com relação a localidade dessas ondas, Almeida *et al.* (2015) identifica que devido a efeitos de difração, refração e a perda de energia devido a um fundo de declividade mais suave, as ondas incidentes na região próximo ao Morro do Careca

apresentam valores máximos de altura de onda de 1,50 m em eventos de tempestade. Já na região próxima à Via Costeira as alturas de ondas chegam a 2,50 m em eventos de tempestade (GOMES, 2017).

Gomes (2017) também estuda o regime de ondas incidentes na região e foca as observações nos anos de 2012 a 2014. O estudo identifica que no período, a depender da estação do ano, há mudanças significativas nas características das ondas e por isso é realizada uma caracterização por grupos que envolvem diferentes meses ao longo do ano. Percebeu-se uma tendência de maiores ondas para os meses de inverno (junho, julho, agosto, setembro) atingindo valores de altura de onda máximos de 1,43 m em 2014 como também um incremento na intensidade das ondas ao comparar os anos de 2012, 2013 e 2014 (Tabela 2).

Tabela 2: Conjunto de dados de altura de ondas para Praia de Ponta Negra/RN

Ano		Jan/Fev/Mar/Abr	Mai/Ago	Jun/Jul/Ago/Set	Nov/Dez
<b>MALHA 02 (Região mais abrangente do litoral de Natal)</b>					
<b>2012</b>	Hs máxima (m)	1,36	1,61	1,67	1,48
	Hs mínima (m)	0,89	1,02	1,07	0,77
<b>2013</b>	Hs máxima (m)	1,48	1,56	1,64	1,68
	Hs mínima (m)	0,85	0,89	0,82	1,00
<b>2014</b>	Hs máxima (m)	1,54	1,74	1,83	1,72
	Hs mínima (m)	0,98	0,90	0,87	1,00
<b>MALHA 03 (Maior aproximação da região de Ponta Negra e Via Costeira)</b>					
<b>2012</b>	Hs máxima (m)	1,11	1,34	1,39	1,17
	Hs mínima (m)	0,69	0,84	0,87	0,66
<b>2013</b>	Hs máxima (m)	1,14	1,28	1,30	1,36
	Hs mínima (m)	0,70	0,75	0,69	0,81
<b>2014</b>	Hs máxima (m)	1,25	1,40	1,43	1,40
	Hs mínima (m)	0,80	0,73	0,73	0,82

Fonte: GOMES (2017)

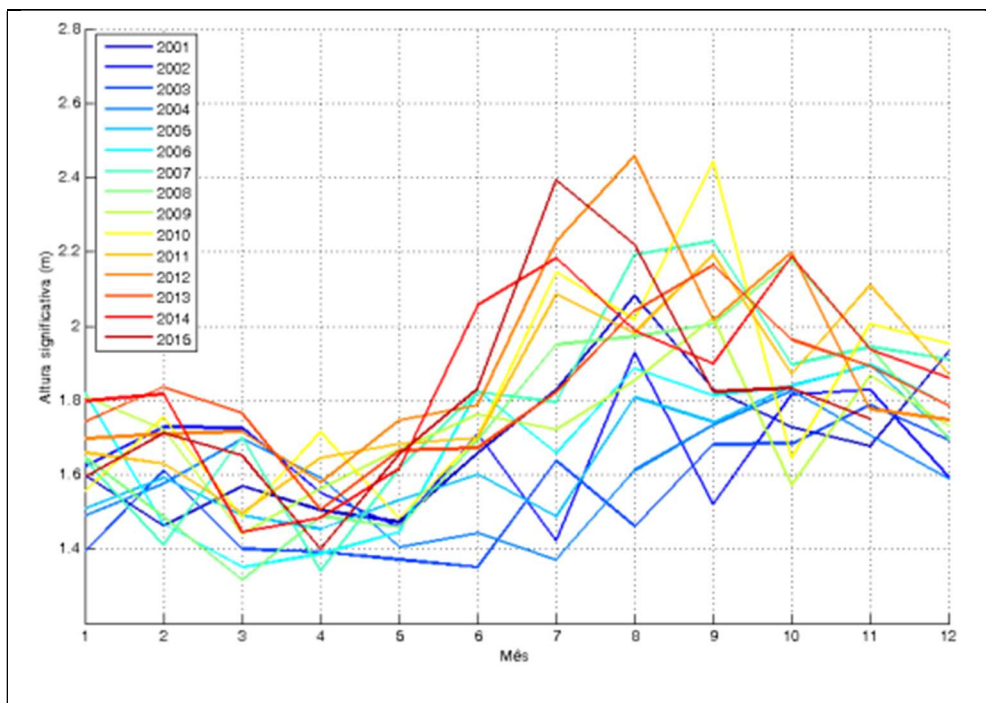
Araújo (2015) identifica o clima de ondas com incidência predominante nas direções E, ESE e SE, com destaque para ESE. Para a altura e período de onda, tem-se respectivamente, valores inferiores a 1,65 m e 8,01 s. Em eventos extremos, esses valores saltam para alturas superiores a 2,50 m e períodos 18,00 s. Para esse estudo, o autor faz uso de uma interpolação das batimetrias produzidas por Ferreira *et al.* (2013), a batimetria da base de dados do SMC e na batimetria fornecida pelas Cartas Náuticas.

Para a descrição do clima de ondas, TETRA TECH (2016) analisou os dados do modelo global Wave Watch-III (WW3), no período de 2001 a 2015 e dados do Programa Nacional de Boias (PNBOIA) entre 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2015. Foi utilizada a boia de coordenada 34,55°W e 8,153°S da região da plataforma do estado de Recife.

Os estudos com o modelo WW3 analisou o clima de ondas em águas profundas nas proximidades de Natal. TETRA TECH (2016) aborda uma visão mais global a respeito do clima de ondas da região, uma vez que por se tratar de levantamentos em águas profundas (coordenadas 34,5°W e 5,6°S), a representatividade para efeitos erosivos próximo à costa não é tão característica nesse estudo, pois não considera efeitos de batimetria e correntes atuantes. Apesar disso, esse estudo fornece uma conclusão a

respeito do histórico de altura de ondas em médio prazo (2001 a 2015), em que há um aumento da altura de ondas em águas profundas nesse período (Figura 34).

Figura 34: Média mensal da altura significativa de onda para modelo WW3 (2001-2015).



Fonte: TETRA TECH (2016)

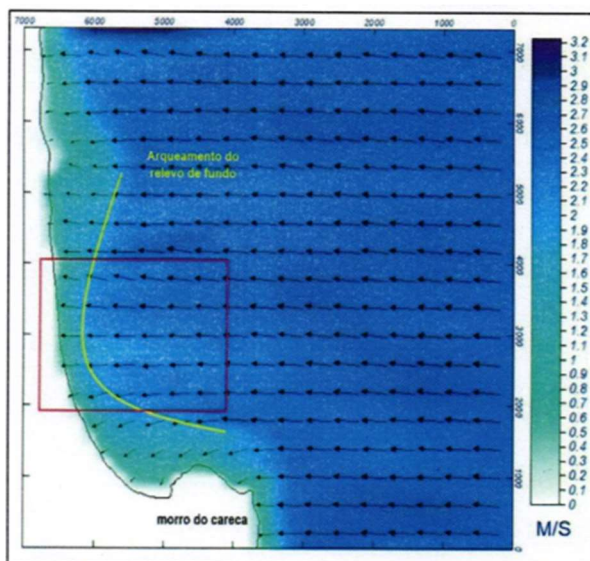
VELOX (2018), de acordo com a base de dados do SMC-Brasil, destaca um intervalo de altura de onda (com 50% de probabilidade) entre 1,18 m e 1,48 m e valor médio de 1,32 m. Com relação ao período, destaca valores com 50% de probabilidade no intervalo entre 6,67 s - 7,87 s e valor médio de 7,25 s.

VELOX (2018) fez uso do Sistema de Modelagem Costeira (SMC) para interpretação de dados hidrodinâmicos da Praia de Ponta Negra, a citar: dados de marés e clima de ondas. O estudo fez a interpolação dos dados batimétricos existentes no SMC provenientes da Carta Náutica e da batimetria de detalhe realizada em seu estudo.

Com relação aos levantamentos realizados por VELOX (2018) para a Praia de Ponta Negra, quatro direções de ondas são identificadas (SE, ESE, E e ENE), mas apresentam relevância as direções ESE e E, contemplando 98,64% das ocorrências. Os dados encontrados nos levantamentos feitos por VELOX (2018) foram: intervalo de altura de onda (50% de probabilidade) entre 1,18 m e 1,48 m; valor médio altura de onda de 1,32 m; intervalo de período de onda (50% de probabilidade) entre 6,67 s - 7,87 s; valor médio de período de onda de 7,25 s.

Resultados da batimetria de detalhe permitem inferir que existe um arqueamento negativo adjacente à área, conforme Figura 35. Ao Sul limitado pelo promontório do Morro do Careca e ao Norte por uma protuberância de sedimentos submersa. As ondas que se propagam no setor chegam de maneira frontal à praia e velocidade superior aos setores mais próximos.

Figura 35: Magnitude de ondas na praia de Ponta Negra.



Fonte: VELOX (2018)

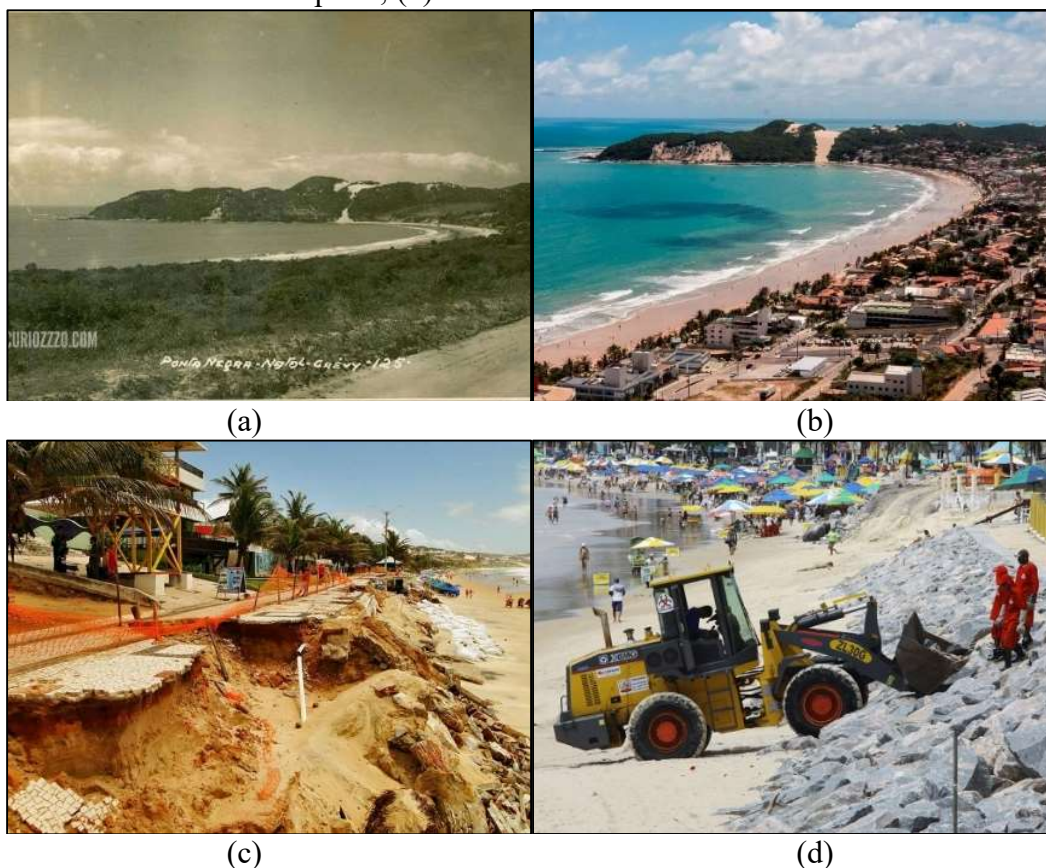
A fim de caracterizar a arrebentação das ondas na costa, VELOX (2018) seleciona dois perfis como pontos de controle na área que sofrerá a intervenção da obra de enrocamento. Como resultado para o primeiro perfil, tem-se que para maré astronômica, a probabilidade é para que 100% das ondas arrebentem a uma distância de 100 m da linha de praia. Já para maré meteorológica, a probabilidade é superior a 80% para arrebentações a uma distância de 50 m a 75 m da linha de praia. Para o segundo perfil, em regime de maré astronômica tem-se a probabilidade superior a 50% para arrebentações a uma distância inferior a 50 m da linha de praia. Na maré meteorológica a probabilidade é superior a 80% para arrebentações inferiores a 50m da linha de praia.

VELOX (2018) conclui que esses resultados indicam que apesar das marés meteorológicas serem menos frequentes durante o ano, ação de ondas governadas por esse regime ocasiona maiores danos às estruturas presentes na orla. Pode-se citar a ação das ressacas de marés que em 2012 destruíram boa parte da infraestrutura do calçadão da praia de Ponta Negra.

### 3.3 Condições Socioeconômicas

Até a década de 1980, a praia de Ponta Negra era um local de atividades pesqueiras e lazer para poucos natalenses. Desde o final de 1980, o setor atraiu investimentos públicos e privados, e a partir da década de 1990 houve uma ampla e urbanização promovida pelo crescimento do turismo (MACIEL, 2011). Durante os anos 2000, o aumento da infraestrutura à beira-mar intensificou a impermeabilização progressiva do solo, que potencializou e acelerou a erosão na face praias de Ponta Negra (AMARO *et al.*, 2014; MENEZES *et al.*, 2018) (Figura 36).

Figura 36: Praia de Ponta Negra: (a) Vista da praia com o Morro do Careca ao fundo mostrando a integração da praia com o sistema de dunas preservadas; (b) Verticalização urbana no bairro de Ponta Negra com por volta dos anos 2000; (c) Desastre natural na praia; (d) Obra de enrocamento com blocos de rocha.



Em 2012, as marés altas danificaram severamente a infraestrutura instalada na orla marítima de Ponta Negra afetando diretamente os comerciantes locais e a indústria do turismo e lazer. Como solução de defesa costeira contra a ação erosiva marinha foram executadas obras de reestruturação e a construção de enrocamento com blocos de rocha por uma extensão de 2,0 km, inserção de acessos a praia com escadas de madeira e reconstrução do calçadão com quiosques.

Entretanto, a construção do enrocamento, calçadão e quiosques, conjuntamente com o lançamento do sistema de drenagem pluvial diretamente na face praial intensificaram os processos erosivos. Os trechos com erosão mais intensa foram identificados nos trechos praias de alta urbanização e infraestruturas do tipo rígidas estão presentes, obrigando o poder público a contínuas e sucessivas reconstruções dos equipamentos públicos (AMARO *et al.*, 2014). Em meio aos desastres e desmoronamento da infraestrutura devido a ação das ondas, os Ministérios Público Municipal e Estadual ajuizaram uma ação contra a Prefeitura de Natal para estudos que viabilizassem soluções para a erosão nessas praias urbanas.

Os danos que as praias de Ponta Negra e Via Costeira vem sofrendo são provenientes de causas naturais e antrópicas somadas à gestão desordenada no controle da erosão, em que o mau planejamento resultou em construções de contenções rígidas dentro do perfil dinâmico da praia. Não foi implementada nenhuma ação adequada e nenhum programa de monitoramento das condições ambientais, como clima de ondas e nível do mar (SCUDELARI *et al.*, 2016). O processo erosivo tanto se intensificou quanto se espalhou para regiões adjacentes a norte, acompanhando a deriva continental

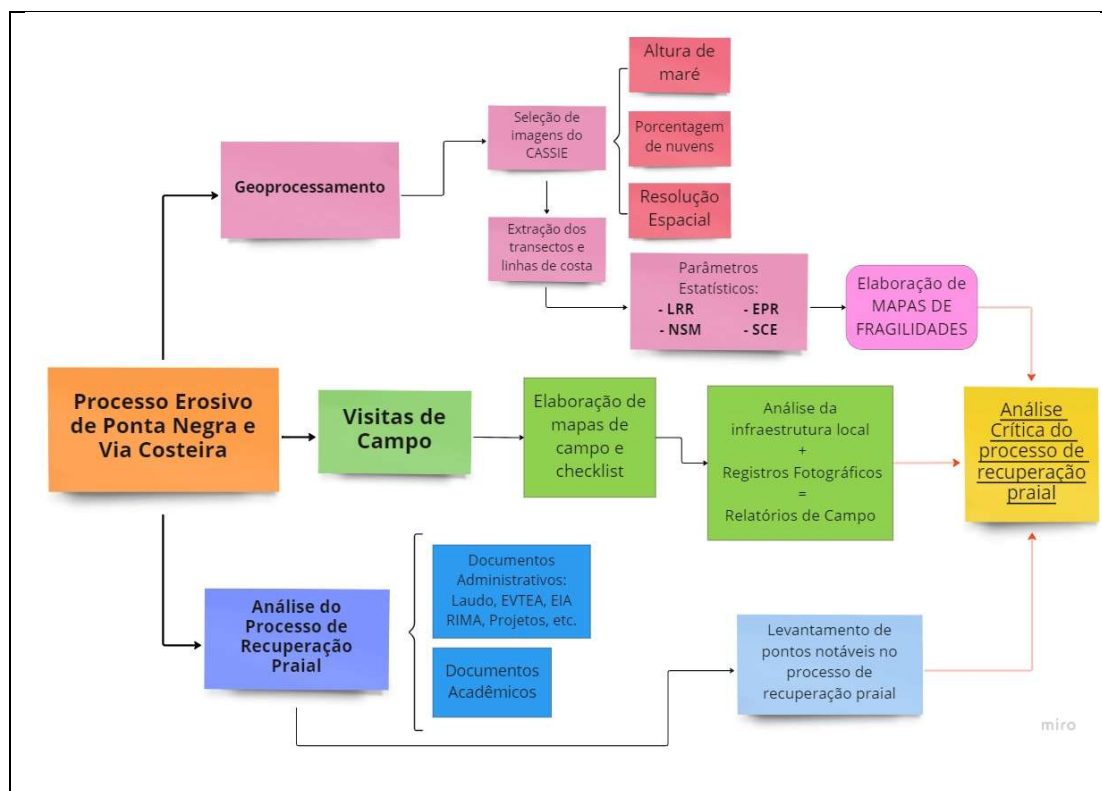
(MATOS *et al.*, 2022). Na análise de prognósticos para a região, a tendência é que a evolução da linha de costa siga uma curva exponencial e não uma reta, o que indica que a erosão será mais intensa com o passar dos anos (BUSMAN, AMARO E PRUDÊNCIO, 2014).

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Na análise e elaboração dos processos de erosão costeira das Praias de Ponta Negra e Via Costeira/RN, a metodologia proposta foi baseada nas seguintes etapas (Figura 37):

- i. Aquisição de documentos públicos que permitiram nortear o processo de planejamento para recuperação praial das Praias de Ponta Negra e Via Costeira/RN.
- ii. Processamento dos dados espaciais através do software *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE)*;
- iii. Elaboração dos mapas temáticos em Sistema de Informação Geográfica (SIG), através do software QGIS;
- iv. Levantamento de campo para validação dos mapas temáticos, levantamento dos processos erosivos e das estruturas de contenção existentes;
- v. Mesclagem das informações de campo com as informações dos documentos públicos;
- vi. Análise do processo de recuperação praial e da situação atual da infraestrutura da praia.

Figura 37: Fluxograma do procedimento metodológico



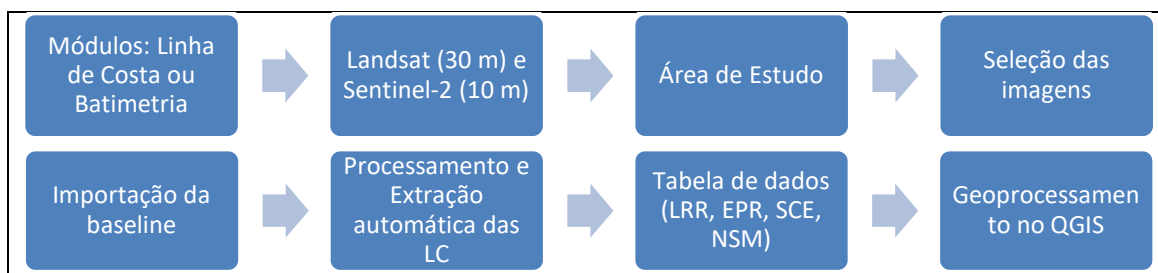
##### 2.1 Geoprocessamento com CASSIE

Uma parte da metodologia consistiu em realizar a análise do balanço sedimentar da praia através da extração das linhas de praia com base em imagens de satélite. O balanço sedimentar é o saldo de sedimentos de uma praia em um determinado intervalo de tempo. Uma vez que a praia apresente mais sedimento quando comparada a um período anterior, ela se encontra em um processo de acreção, o inverso resulta em erosão. As linhas de praia irão auxiliar na extração desse balanço, uma vez que a perda de sedimentos está relacionada com o avanço da linha de praia. Essas linhas são elementos morfológicos de alta dinâmica espacial, suscetíveis a mudanças em função de processos costeiros de diferentes magnitudes. Assim, em cada imagem de satélite é possível extrair essa linha de praia, que ao longo do tempo (imagens de diferentes anos) será possível verificar a evolução. Para a análise dessa evolução foi necessário fazer uso de ferramentas de geoprocessamento, o qual consiste no processamento de dados desde a sua coleta (imagens de satélites) até a geração de saídas na forma de mapas convencionais (mapas de erosão e acreção praias), permitindo assim a análise e o gerenciamento costeira das situações atuais das praias.

Na análise do balanço sedimentar para a área de estudo foram utilizadas as facilidades de geoprocessamento disponíveis no programa *CASSIE*, uma ferramenta online, gratuita e integrada à plataforma *Google Earth Engine* para seleção, delimitação e análise automática da linha de costa usando o conjunto de imagens da série de satélites *LANDSAT*, com resolução espacial de 30 m para o período entre 1984 e 2023, e *Sentinel-2*, com resolução espacial de 10 m entre 2016-2023 (ALMEIDA *et al.*, 2021b). Os algoritmos identificam as linhas de costa através da elaboração do *Normalized Difference Water Index* (NDWI) que favorece a delimitação do limite entre terra e água ou terra molhada. O georreferenciamento das imagens de satélite e mapas temáticos foi efetuado na projeção cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM) Zona 25-Sul no datum SIRGAS 2000.

Depois de realizada a extração das linhas de costa o *CASSIE* permite o cálculo estatístico de taxas de mudança a partir das várias posições históricas da linha de costa, definindo o balanço sedimentar nos trechos praias. As taxas de mudança escolhida para análise foram: a *Shoreline Change Envelope* (SCE), que marca a distância da linha de costa mais próxima e mais distante de uma linha de base estabelecida no continente e paralela à morfologia da costa atual; a *Net Shoreline Movement* (NSM) que define a distância entre as linhas de costa mais antiga e mais recente; a *End Point Rate* (EPR) que é a taxa média de variação da linha de costa em determinado intervalo de tempo; a *Linear Regression Rate* (LRR) que é a variação da linha de praia a partir de uma regressão linear simples. Os dados resultantes foram em seguida processados na plataforma QGIS para elaboração de mapas temáticos (Figura 38).

Figura 38: Sequência das etapas do programa CASSIE.



O programa *CASSIE* oferece acesso ao acervo de imagens digitais, entretanto, para uma análise mais precisa foi necessário selecionar as imagens que foram captadas

em um horário próximo a maré baixa, pois o horário de passagem do satélite é sempre o mesmo, mas o horário das premares e baixa-mares mudam diariamente. Desse modo, através de consulta a tábua de marés do Porto de Natal foi possível encontrar os horários das marés baixas e juntando essa informação com o horário da passagem do satélite foram selecionadas as imagens que estavam com a situação de maré baixa dentro do intervalo de duas horas para mais e para menos em relação hora de passagem do satélite. Duas imagens da série Sentinel que se encontram além desse espectro permaneceram a fim de melhorar a amplitude temporal dos dados (Tabela 3).

Tabela 3: Data e horário da baixa-mar das imagens escolhidas para o geoprocessamento

SÉRIE LANDSAT		SÉRIE SENTINEL	
Hora passagem do satélite 12:30		Hora de passagem do satélite 12:43	
Data do Imageamento	<i>Maré baixa mais próxima</i>	Data do Imageamento	<i>Maré baixa mais próxima</i>
15/09/2022	13:12	14/10/2022	12:31
18/05/2022	11:52	14/09/2022	12:37
31/05/2021	14:30	30/08/2022	12:04
03/10/2020	10:55	16/06/2022	11:47
12/05/2020	14:10	26/06/2021	11:33
28/09/2018	12:01	02/04/2021	13:49
12/09/2018	12:01	02/01/2021	12:15
08/08/2017	10:43	20/08/2020	11:14
01/09/2014	14:22	26/06/2020	14:16
15/07/2014	12:30	12/05/2020	14:10
26/06/2013	12:33	27/04/2020	12:47
29/08/2007	11:00	28/01/2020	12:19
24/09/2005	14:00	29/12/2019	12:09
07/08/2005	12:00	14/12/2019	11:27
22/07/2005	11:00	30/10/2019	11:31
06/07/2005	11:00	15/10/2019	10:53
08/12/2003	11:00	20/09/2019	13:40
23/10/1998	12:00	21/08/2019	13:35
02/09/1997	12:00	14/11/2018	14:42
05/07/1993	11:00	31/08/2018	13:05
02/07/1992	12:00	02/07/2018	12:48
		18/04/2018	11:50
		19/11/2017	10:30
		16/08/2016	08:52
		28/04/2016	14:15
		29/03/2016	13:40

## 2.2 Análise das Obras de Defesa Praia

Em visitas de campo realizadas entre os meses de outubro/2022 e março/2023 para análise integrada dos aspectos erosivos persistentes na morfologia de praia e falésias, aspectos ambientais da praia e nas infraestruturas rígidas instaladas, foi recoberta uma extensão de 4,5 km do trecho praial entre o Morro do Careca e o local de instalação do canteiro de obras do enrocamento complementar, após o Hotel *Serhs*. Os critérios de avaliação reuniram informações sobre as obras de recuperação praial já implementadas; as estruturas de contenções privadas; o sistema de drenagem pluvial; a ocupação da praia por comerciantes e turistas; o escoamento de água superficial; as falésias do Grupo Barreiras; o contingente de sedimentos de dunas; e, a dinâmica praial com a movimentação das ondas e correntes frequentemente em incidência direta sobre as contenções rígidas instaladas durante os episódios de preamar. Nas visitas de campo foram analisados os seguintes pontos, conforme o *checklist* preparado especialmente para esta etapa (Quadro 1).

Quadro 1: *Checklist* de verificação utilizado em campo

<b>CHECKLIST DE VERIFICAÇÃO NAS VISITAS DE CAMPO</b>	
<b>DIA:</b>	
<b>HORÁRIO:</b>	
<b>TRECHO:</b>	
<b>GEOMORFOLOGIA, GEOLOGIA E INFRAESTRUTURA LOCAL:</b>	
	DUNAS VEGETADAS
	DUNAS NÃO VEGETADAS
	FALÉSIAS
	ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO
	EDIFICAÇÕES PRIVADAS
	COMÉRCIO LOCAL (BARRACAS DE PRAIA)
<b>PROCESSOS EROSIVOS:</b>	
	ESCOAMENTO PLUVIAL
	ESCOAMENTO SUPERFICIAL (ESCADARIAS, CHUVEIROS)
	PRESENÇA DE PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO
	ONDAS ATINGEM A LINHA DE COSTA
	OCUPAÇÃO ANTRÓPICA IRREGULAR
	FALÉSIAS APARENTES COM PROCESSO EROSIVO (INCISÃO BASAL, MOVIMENTOS DE MASSA, DESPLACAMENTOS)
<b>PRESENÇA DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO:</b>	
	MURO VERTICAL
	ENROCAMENTO DE ROCHAS
	ESTRUTURA DE BLOCOS PRÉ-MOLDADOS
	TRECHO NATURAL
	CONTENÇÃO PRIVADA

Desde 2012, o governo local planeja um projeto de aterro hidráulico para a engorda da praia de Ponta Negra. Os estudos preveem que a intervenção ocorrerá a partir do Morro do Careca e se estenderá até as imediações do Hotel *Serhs*, na Via Costeira. A obra inclui a continuação do enrocamento aderente, adequação do sistema de drenagem e o engordamento da praia. Entretanto, os trâmites administrativos para a

recuperação praial estão se desenvolvendo de uma forma muito lenta e, enquanto isso, o problema de erosão se intensifica e a gestão pública tem dificuldades em seguir um fluxograma contínuo no processo técnico e ambiental para a reestruturação. O fenômeno de erosão costeira é um problema complexo e para sua resolução são necessárias decisões em conjunto de vários agentes, a citar: governo, empresas privadas contratadas por licitações públicas, órgãos ambientais, Marinha do Brasil e população local.

Assim, a avaliação do processo de planejamento para a recuperação das praias contou com o estudo das informações administrativas existentes para o processo de recuperação praial, através da análise de documentos públicos, tais como: Laudo Pericial (AMARO *et al.* 2012), Estudo de Viabilidade Técnica e Ambiental – EVTEA (TETRA TECH, 2016), Projeto Básico do Enrocamento Complementar (VELOX, 2018; INTEGRAL, 2020), Projeto Básico de drenagem (LR ENGENHARIA, 2019), Projeto Executivo (PREMIER, 2021), Estudo de Impacto Ambiental - Relatório de Impacto Ambiental – EIA-RIMA (TETRA TECH, 2022).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da execução dos procedimentos metodológicos expostos, foi possível a elaboração dos mapas temáticos com análise dos processos erosivos instalados, foi realizada a caracterização de toda a linha de costa destacando os tipos de obras e infraestruturas instaladas, foi realizada a análise do processo administrativo de recuperação praial e análise da infraestrutura atual das praias diante dos fenômenos erosivos. Desse modo, a seguir estão apresentados os resultados intrínsecos às tais análises.

### 5.1 Análise Evolutiva da Linha de Costa

No mapeamento das condições atuais da linha de costa no trecho estudado entre as praias de Ponta Negra e Via Costeira igualmente foram identificadas as estruturas de contenção existentes: enrocamento de rochas granitoides, blocos de concreto pré-moldados, muros verticais armados e de gravidade. Há poucos trechos desprovidos de defesas, que mantém as características naturais (falésias, depósitos dunares e vegetação nativa), mas estão ameaçados pela interferência depredadora da ocupação desordenada e irregular de comerciantes informais, que: desmatam a vegetação nativa, inclusive retirando sedimentos das raízes de coqueiros; abrem caminhos e inserções nos taludes de sedimentos arenosos; lançam encanamentos de água servida e esgotos sobre a face praial (Figura 39a e Figura 39b/Figura 40).

Figura 39: Ocupação irregular de comerciantes informais que causam desmatamento das poucas áreas que ainda possuem preservação da fauna, flora e geomorfologia (a) lançamento de água na face praial (b) barracas, cadeiras e depósito de bebidas no talude do calçadão da praia de Ponta Negra.

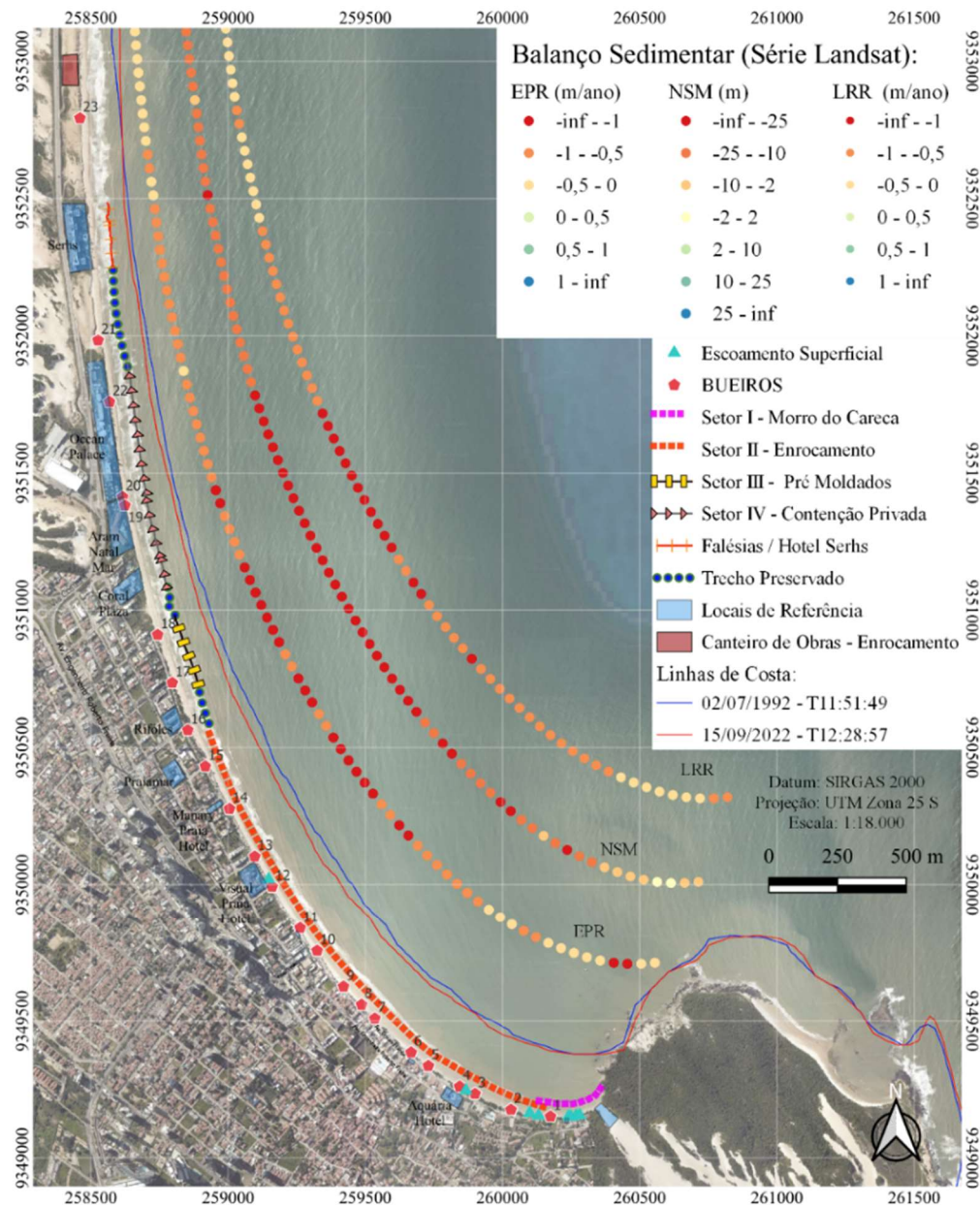


(a)

(b)

Os pontos de escoamento de águas superficial e pluvial e pontos de galerias na extensão da linha de costa de interesse foram identificados, totalizando 23 pontos, muitos sobrepostos pela estrutura de enrocamento, além de 7 pontos para escoamento de água servida provenientes de chuveiros e cozinhas, além das escadarias de acesso à praia que canalizam o fluxo superficial em dias chuvosos. Amaro *et al.* (2014) destacou a presença de 34 bueiros desaguando diretamente no trecho de 2,5 km entre as praias de Ponta Negra e Via Costeira. TETRA TECH (2016) destaca apenas 12 pontos, enquanto LR Engenharia (2019) destaca a presença de 14 pontos. Na Figura 40 tem-se o mapeamento da linha de costa da praia de Ponta Negra e Via Costeira, identificando as estruturas de contenção existentes, os pontos de drenagem e escoamento superficial, assim como o balanço sedimentar gerador por meio da série de satélites LANDSAT (1992-2022).

Figura 40: Mapeamento da linha de costa das praias de Ponta Negra e Via Costeira, identificando as obras costeiras e o balanço sedimentar.



A rotina de geoprocessamento disponível no programa *CASSIE* permitiu a avaliação do recuo da linha de praia e do balanço sedimentar com base na série multitemporal de imagens do satélite LANDSAT, entre os anos de 1992 e 2022, e do satélite Sentinel-2, entre os anos de 2016 e 2022. Esta análise se estendeu considerando toda a morfologia do formato “em anzol” das praias de Ponta Negra e Via Costeira, incluindo transectos perpendiculares à linha de praia atual (tendo como referência uma linha base) espaçados em 50 m desde o Morro do Careca até as imediações de Mãe Luiza.

A análise de longo prazo baseada nas imagens multitemporais da série LANDSAT foi fundamental no monitoramento dos períodos cíclicos de erosão e acreção, considerando as principais alterações no padrão de uso e cobertura do solo ocorridas no setor desde a década de 1980. Tal estratégia foi empregada em Amaro *et al.* (2014), por meio do levantamento da evolução da linha de costa desde 1973 a 2012. Os resultados obtidos por esses autores entre os anos de 2004 e 2012 indicaram a intensificação do cenário erosivo desde o Morro do Careca, com trechos de alta taxa de

erosão se estendem para norte pela Via Costeira. Este artigo ampliou essa análise de longo prazo até o ano de 2022, mantendo as observações pautadas nas características de resoluções das imagens da série LANDSAT. Igualmente foi acrescido da análise de médio prazo, entre os anos de 2016 e 2022, baseadas nas imagens da série Sentinel-2. Justifica-se porque as obras de proteção costeira de enrocamento foram executadas entre os anos de 2013 e 2014 e, assim, a metodologia permitiu acompanhar as mudanças na linha de costa nesse período, demarcando o grau de influência dessas obras rígidas de defesa costeira executadas no contexto geral do balanço sedimentar nas praias de Ponta Negra e Via Costeira.

A estimativa das alterações de longo prazo (entre 1988 e 2018) da linha de costa do Litoral Oriental do RN realizado por Matos *et al.* (2022), subdividido em três décadas, permite uma análise de médio prazo do processo erosivo em Ponta Negra. Os autores afirmam que no período de 1988 a 2008 a erosão se concentrava nos locais de maior ocupação da orla marítima. Já entre os anos de 2008 e 2018 ocorre um aumento proeminente da erosão, fato que corrobora com o incremento na altura significativa de ondas destacado por TETRA TECH (2016) e com o aumento do NMM, já em aceleração desde o século passado (TESSLER E GOYA, 2005).

Para o período de 1992 a 2022, percebe-se que a área é coberta 100% pela erosão que se estende até trechos a norte do Hotel *Serhs*, ou seja, os setores da orla marítima mais densamente urbanizadas, em que o sistema de dunas e a vegetação foi removido e os solos impermeabilizados, com a abertura de ruas de acesso pavimentadas às facilidades da indústria do turismo e serviços (Figura 41a).

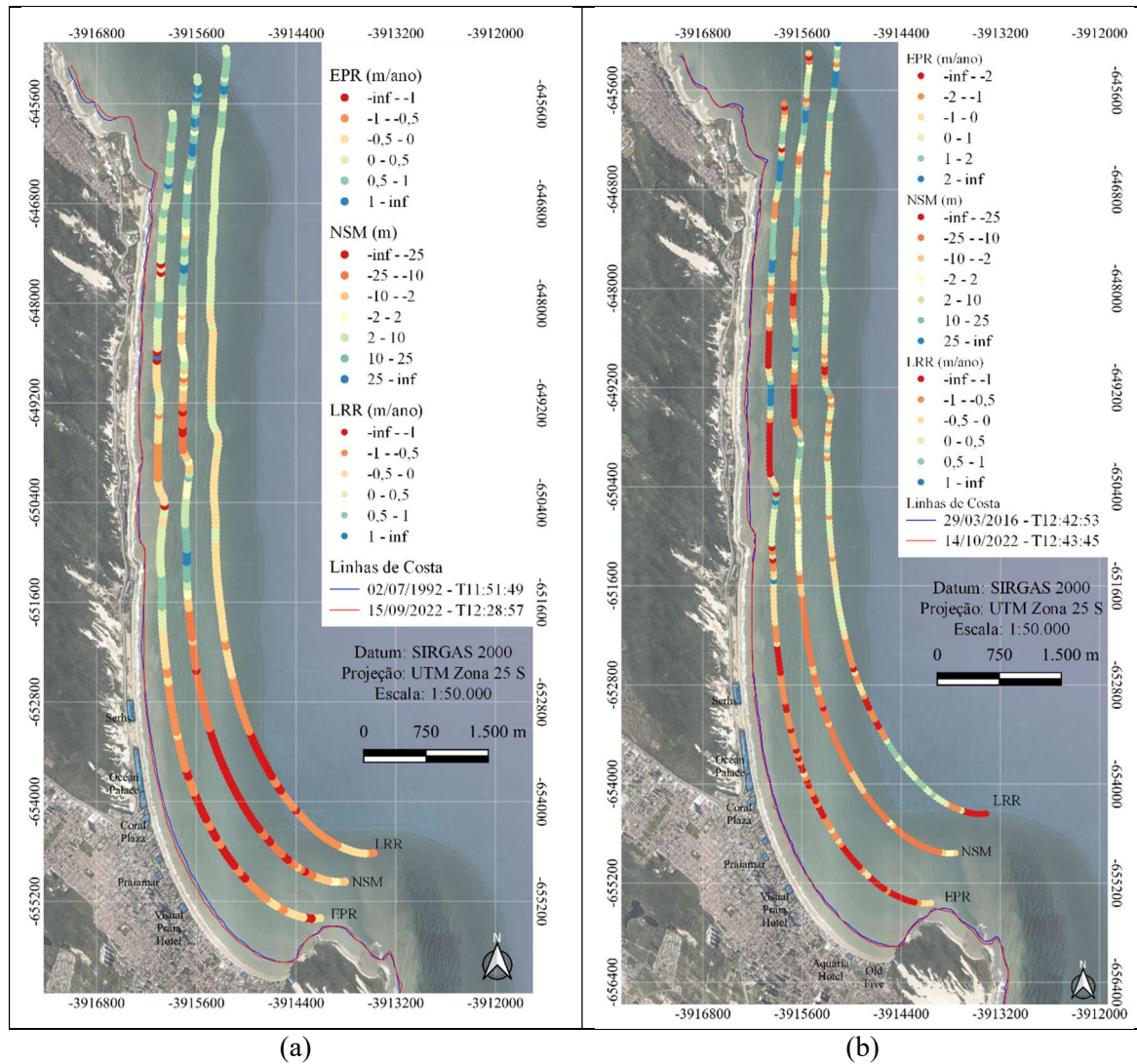
As taxas LRR e EPR de -0,5 m/ano a -1,0 m/ano se apresentam em quase toda extensão desse trecho urbanizado, possuindo taxas maiores que -1,0m/ano nas regiões em que há incidência direta da arrebentação de ondas, que, como afirmado por Velox (2018), existe um arqueamento negativo adjacente à área de intervenção. Taxas menores de 0,0 a -0,5 m/ano ocorrem na extensão do trecho para Via Costeira, onde a erosão ainda tende a se expandir. Nesse trecho de erosão mais acentuada, os maiores valores de EPR atingem a ordem de -1,54 m/ano, enquanto as taxas máximas de LRR atingem -1,19 m/ano, as taxas de NSM atingem o valor de -41 m (-1,37 m/ano) (Figura 5a). Esses valores condizem com os levantamentos realizados por Amaro *et al.* (2014) em que os autores encontram taxas máximas de erosão para o trecho de -1,4 m/ano e -1,5 m/ano. Busman, Amaro e Prudêncio (2014) também definem taxas máximas de erosão de -1,82 m/ano para o método LRR.

Quanto ao levantamento de médio prazo entre 2016 e 2022 (Figura 41b), baseados nas imagens do Sentinel-2, as taxas de erosão EPR são maiores quando comparadas com o estudo de longo prazo, variando de -1,0 m/ano a -2,0 m/ano e ultrapassando o valor de -2,0 m/ano em alguns trechos. Para a região de Ponta Negra, os maiores valores de EPR foram de -3,75 m/ano, enquanto as taxas máximas de LRR de -1,37 m/ano e as taxas de NSM atingiram o valor de -31 m (-5,16 m/ano).

Como recurso para a análise detalhada dos aspectos geomorfológicos e de infraestrutura instalada no trecho praiado estudado, foram estabelecidos cinco setores de sul para norte.

Figura 41: Balanço sedimentar da linha de costa das praias de Ponta Negra e Via Costeira baseadas na (a) série de imagens do satélite LANDSAT (anos de 1992 a 2022); (b) série de imagens do satélite Sentinel-2 (anos de 2016 a 2022)

---



### 5.1.1 Setor I – Morro do Careca

O Morro do Careca é um ponto turístico de forte apelo identitário para a cidade de Natal, com dunas móveis e vegetadas sobreposto ao promontório a sul da praia de Ponta Negra. O trecho de duna móvel, que forma o talude característico conhecido como Morro do Careca, ocorre interligado ao campo de dunas móveis e vegetadas localizadas nos domínios do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (AMARO *et al.* 2021). Trata-se de uma zona de conservação protegida, com a proibição de acesso de pessoas, evitando assim a subida e descida no talude do Morro do Careca e a consequente acentuação do processo erosivo (Figura 42).

Figura 42: Vista aérea do Morro do Careca e de sua extensão para a praia da Barreira do Inferno ao Sul



Fonte: *Google Earth* (2020)

A sua frente, uma cerca de arames servia como impedimento a entrada de visitantes, a qual ainda podia ser visualizada nos registros de Silva (2012) em que existem estacas chumbadas em uma base de concreto. Na visita de campo, percebe-se que essa estrutura antiga foi derrubada pela energia das ondas e uma nova cerca foi construída com um novo material de base, entretanto, essa estrutura também já está sendo danificada, não impedindo o acesso das pessoas.

Amaro *et al.* (2021a; 2021b) em uma análise da região localizada no Centro de Lançamentos da Barreira do Inferno, na porção sul de Ponta Negra, verificou entre 1984 e 2015 uma taxa média de erosão de  $-0,21$  m/ano, correspondendo ao recuo de  $-10,23$  m com taxas extremas de  $-1,69$  m/ano. Destaca-se que essa região é uma área de preservação permanente com preponderância de campos de dunas e vegetação conservada e que, ainda assim, está sendo acometida por um processo erosivo. Desse modo, estende-se a lógica para a Praia de Ponta Negra, que além de condições naturais de erosão, precisa lidar com as inúmeras alterações antrópicas (impermeabilização, infraestrutura, drenagem pluvial, obras de contenção rígida, população local) que intensificam o processo erosivo. No Setor I já é possível visualizar galerias de água pluvial erodindo a praia com a retirada de sedimentos assim como escoamento superficial proveniente de escadarias (Figura 43a e Figura 43b).

Figura 43: Retirada de sedimentos praias por (a) galeria pluvial (b) fluxo superficial através das escadarias de acesso a pedestres.



O Morro do Careca recebe sedimentos provenientes dos campos de dunas preservadas no Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, mas a região está acometida por processo erosivo (AMARO *et al.* 2021a). Assim, o Morro do Careca continua cedendo sedimentos para a praia de Ponta Negra, mas sofre com o baixo aporte de sedimentos proveniente da porção sul. O Morro, antes coberto por sedimentos de dunas (Figura 44a), hoje já mostra a porção de falésias (exposição de 2,85 m em relação à face praial), indicando a redução continuada de sedimentos (Figura 44b).

Figura 44: Vista do Morro do Careca destacando a redução do volume de sedimentos devido ao processo erosivo (a) em 2012 e (b) em 2022

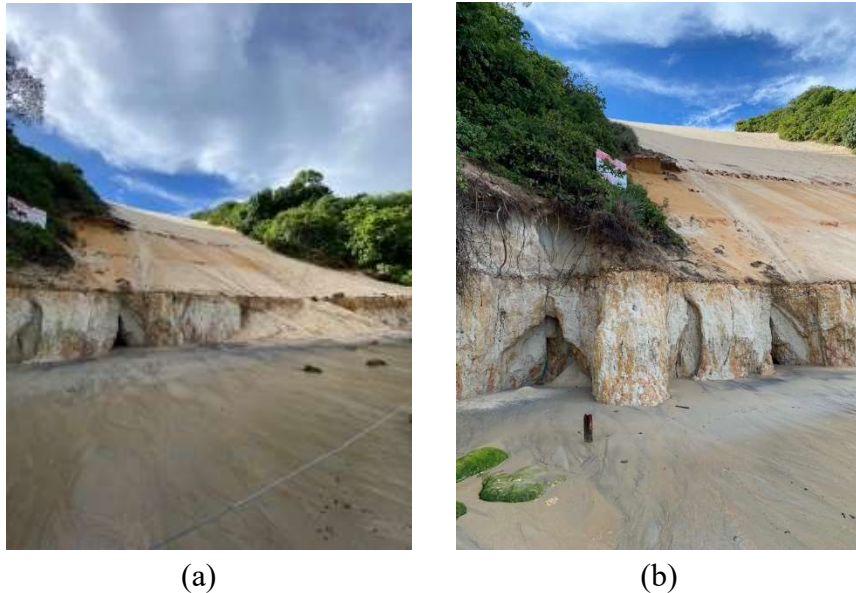


Fonte: SILVA (2012)

É importante ressaltar que a composição geológica do Grupo Barreiras indica conspícua estruturação frágil, marcado por nítidas falhas e linhas de fissuras com níveis altamente fragmentados. Isso é verificado na base do Morro do Careca em que as ondas retiraram todo o sedimento e agora atingem a falésia e criam cavidades basais que ocasionam a erosão da falésia, com desprendimento de blocos de rocha (Figura 45). Outra situação é o aparecimento de rochas ferruginosas, antes soterradas por sedimentos

(VITAL, 2006; TESSLER E GOYA, 2005). Algumas delas já atingem aproximadamente 1,50 m de altura em relação a face praial.

Figura 45: Exposição da falésia do Morro do Careca em virtude da carência de sedimentos (a) falésia aparente (b) formação de cavidades na falésia



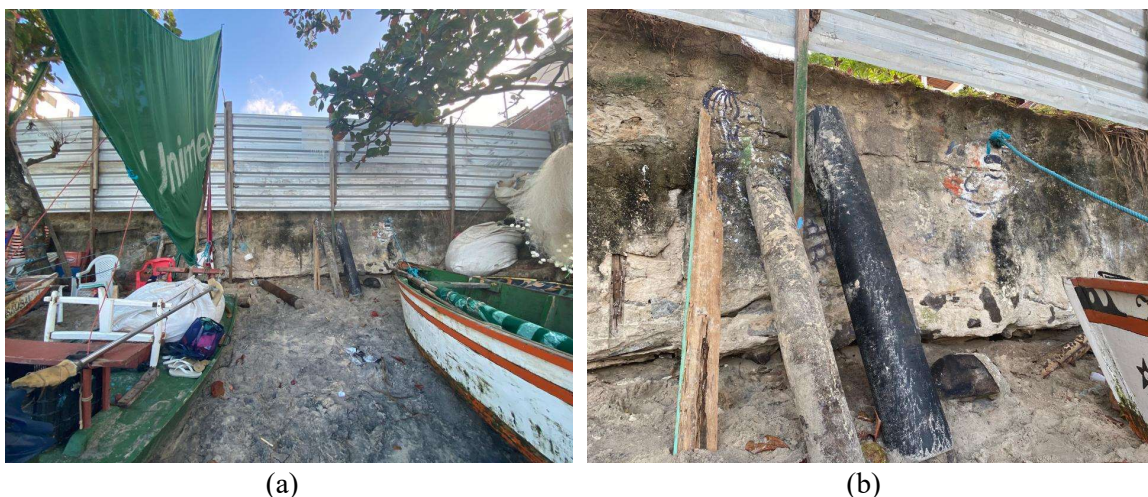
Ao lado do Morro é possível visualizar edificações que perderam o acesso à praia devido à retirada de sedimentos do local e, assim, os proprietários tentam contornar esse processo adaptando os acessos de modo inadequado (Figura 46).

Outros riscos são evidentes na região como a erosão da base de muros de contenção que já possuem boa parte de sua base sem sedimentos. Esses muros apoiados no solo são estruturas com grandes chances de tombamento. Para agravar a situação, esses muros estão instalados em frente de grandes desníveis, com terrenos com alto grau de inclinação e nos quais existem edificações, o que pode agravar ainda mais o risco e o transtorno em caso de uma desestabilidade (Figura 47). O trecho também apresenta muita desorganização no arranjo da infraestrutura pública e privada, com bueiros desaguando na praia, com restos de construção provenientes dos desgastes das edificações, estoque de materiais de praia como cadeiras, mesas e guarda-sóis, restos de madeiras e embarcações dos pescadores.

Figura 46: Edificação adaptando acesso a praia perdido devido ao rebaixamento do perfil praiial/impacto da erosão (a) antes (b) depois.

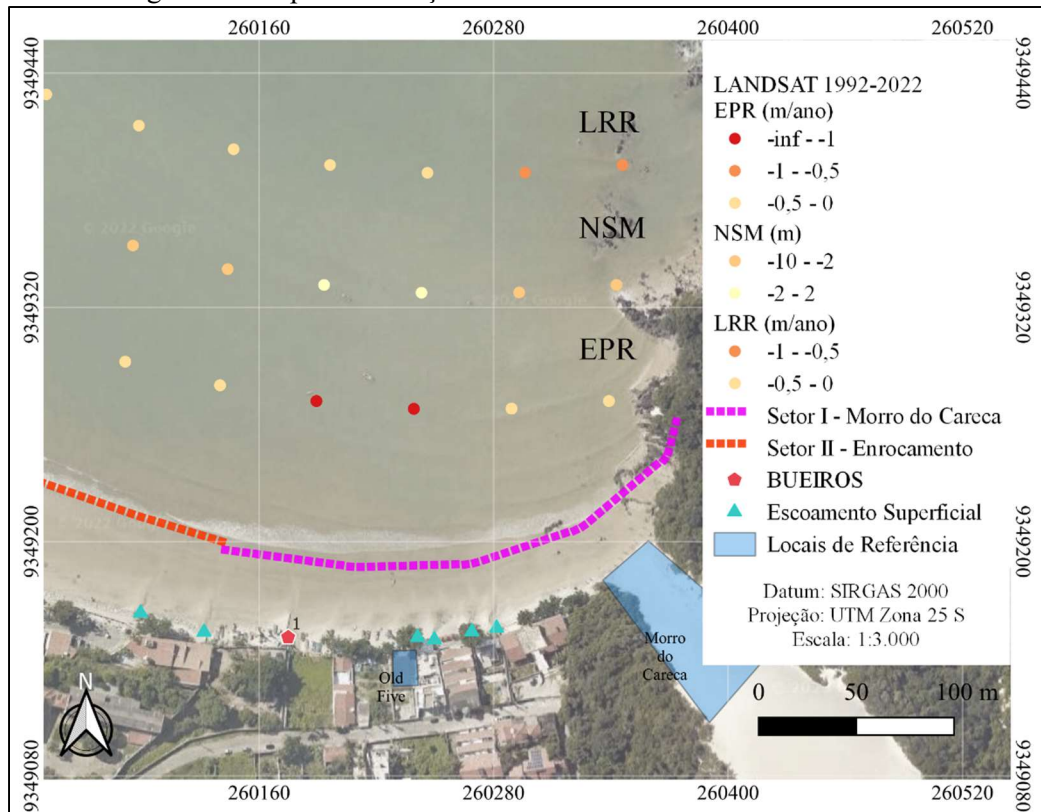


Figura 47: Muro de contenção com base de fundação comprometida (a) vista geral (b) detalhe da base do muro de contenção.



Na análise da linha de costa desse trecho é possível observar que tanto no longo como no médio prazo a erosão está sempre presente, mas no longo prazo a erosão se apresenta de forma mais suave. O Morro do Careca alimenta a praia de sedimentos que são transportados para norte pelas correntes e ondas incidentes (TETRA TECH, 2016; GOMES, 2017). O trecho também é protegido pelo promontório do Morro do Careca, que dissipa a energia das ondas incidentes, pois devido aos efeitos da batimetria e declividade de fundo, a altura de onda é menor no local (ALMEIDA *et al.*, 2015; GOMES, 2017). Na análise no médio prazo, a erosão já é mais acentuada no trecho, indicando um esgotamento dessa fonte em repor os sedimentos migrados para norte. Além disso, nos trechos adjacentes a norte a erosão se intensifica gradualmente até atingir um trecho de valores máximos, região não contemplada pelo aporte de sedimentos. Nesse setor as taxas máximas de erosão são para médio prazo:  $EPR = -2,58$  m/ano,  $NSM = -16,86$  m e  $LRR = -1,42$  m/ano e para longo prazo:  $EPR = -0,72$  m/ano,  $NSM = -21,73$  m e  $LRR = -0,56$  m/ano (Figura 48).

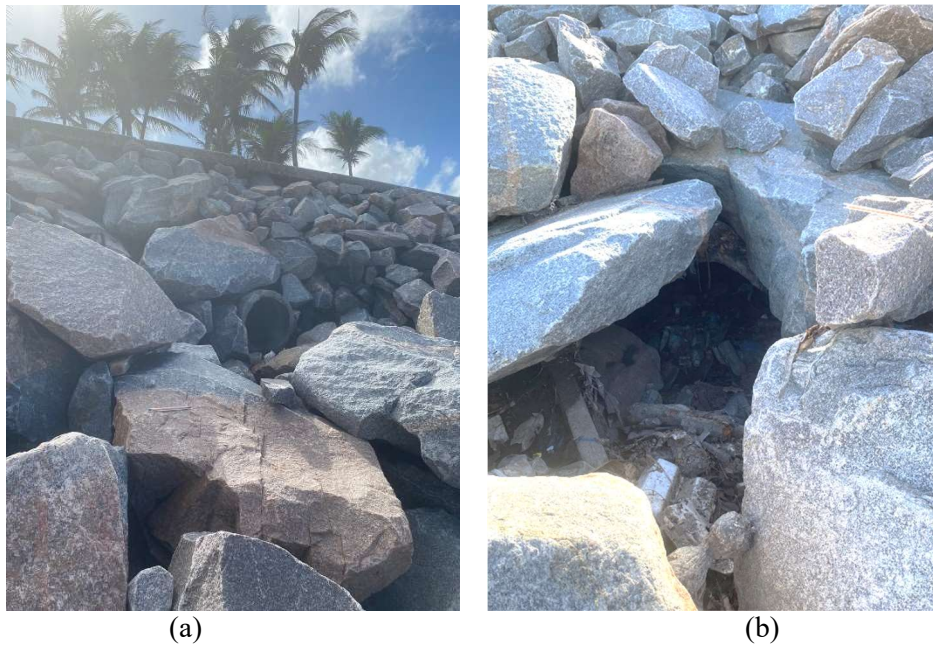
Figura 48: Mapa do balanço sedimentar do Setor I - Morro do Careca



### 5.1.2 Setor II – Enrocamento com Rochas Granitoides

No Setor II ocorrem pontos de lançamento de água pluvial diretamente na face praial, a maioria abaixo do calçadão e ocultos pelo enrocamento composto, predominantemente, por rochas granitoides de dimensões variadas. Alguns desses pontos estão interligados aos bueiros da Rua Erivan França, que recolhem as águas pluviais e comumente águas servidas. Além disso, nos acessos do calçadão à praia, escadarias também ocorrem pontos de descida e deságue das águas sobre a face praial. Tais fluxos d'água instalados de modo desordenado e inadequado por toda a extensão do Setor II são extremamente danosos à estabilidade do enrocamento, pois comumente possuem altas vazões e a energia despendida desarranja a montagem dos blocos de rocha, já parcamente organizada (Figura 49). A maioria dessas galerias foi previamente identificada em registros realizados antes da construção do enrocamento, instalados desde o calçadão anterior ao atual, sem que alguma medida construtiva tenha sido implementada para redução da energia do fluxo sobre o enrocamento e a face praial (AMARO *et al.*, 2012; 2015, SILVA, 2012). Além disso, são locais de acúmulo de dejetos sólidos, que causam a proliferação de roedores e, conseqüentemente, de doenças por todo o setor.

Figura 49: Galerias de drenagem embutidas no enrocamento (a) destaque para a desorganização dos blocos de rocha (b) resíduos sólidos presente nas galerias



O projeto de sistema de drenagem elaborado por LR Engenharia (2019), como parte da preparação do trecho das praias de Ponta Negra e Via costeira para o recebimento do aterro hidráulico (engorda), contempla somente 14 pontos de deságuas, mas em visita recente a campo foram identificados 23 pontos. Portanto, nem todos os pontos existentes foram contemplados pelo projeto de drenagem, que prevê a instalação de dissipadores de energia nas descidas d'água. Este fato pode se converter num problema de grande magnitude para a estabilização da obra de aterro hidráulico, pois tais fluxos atuam na retirada de sedimentos depositados na face praial, intensificando o processo erosivo, elevando as fragilidades o que afetará a vida útil da obra de engorda (AMARO *et al.* 2015). Além disso, o projeto de sistema de drenagem contempla apenas os pontos no trecho entre as proximidades do Morro do Careca até o Hotel Rifóles. Logo, os pontos de deságuas de grande magnitude a norte desse trecho, como os da Via Costeira, continuarão erodindo severamente a face praial, como acontece atualmente ainda sem a obra de engorda (Figura 50).

Figura 50: Erosão praial causada por galerias de água de drenagem (a) início do Setor II (b) final do Setor II



Outro fator ambiental e sanitário de alta severidade são as ligações clandestinas de água servida e esgotos de banheiros públicos e dos quiosques que deságuam diretamente no enrocamento e escoam pela face praial, alguns ligados ao sistema de drenagem público atual. Esse processo foi demarcado em vários pontos do Setor II, pois há vegetação crescendo entre os blocos de rocha, com a presença de matéria orgânica e nutrientes contidos nas águas servidas, atraindo roedores para esses locais. Além disso, é notável a grande quantidade de resíduos sólidos nas galerias de drenagem que obstruem a passagem de água e, em dias chuvosos, promovem o transbordamento dos bueiros no calçadão.

Quanto à obra de enrocamento com rochas granitoides como obra de defesa costeira contra a ação erosiva, é basilar o cálculo do peso mínimo dos blocos de rocha em virtude da energia de onda e fluxo superficial no local. Blocos com pesos inferiores ao mínimo necessário favorecerão o deslocamento e a movimentação desses blocos pela face praial, quando atingidos pelas ondas, geralmente expondo o núcleo da estrutura de enrocamento constituído por rochas de menor granulometria e menor peso. Caso não sejam seguidas tais especificações, o sistema de enrocamento entrará facilmente em colapso causando afundamento da estrutura e elevando o risco de acidentes no calçadão e na face praial. Tal fato foi relatado nos anos de 2011 e 2012, crise que instou a primeira obra de enrocamento na praia de Ponta Negra, que atualmente necessita de manutenções periódicas.

A obra de contenção com enrocamento é uma obra apoiada diretamente sobre o solo superficial, desse modo qualquer retirada de sedimento na base da estrutura fragiliza o ponto de apoio e causa desestabilização completa do sistema. Nas proximidades de um ponto de drenagem, seja ele oficial ou clandestino, os blocos pré-moldados de concreto que exercem a proteção mecânica do enrocamento estão ficando soltos, devido ao carreamento tanto da areia de apoio, como dos pequenos blocos de rocha que sustentam a proteção. Isso é um risco para a estrutura, como igualmente para a população local que transita por cima do arranjo feito com blocos pré-moldados (Figura 51).

Figura 51: Recalques da estrutura de contenção de enrocamento (a) presença de fluxo de água superficial (b) falta de apoio dos blocos de pré-moldado



(a)



(b)

O canteiro de obras instalado no entroncamento da Avenida Engenheiro Roberto Freire com a Rua Erivan França foi instalado para facilitar a manutenção na organização dos blocos do enrocamento, contando com o auxílio de maquinário de grande porte, fato que negativo quando no aspecto paisagístico e em local de destaque turístico. O

enrocamento adequado deveria resistir aos esforços provenientes do fluxo de água pluvial e das ondas que fragilizam o arranjo e a sustentação da obra rígida.

Os comerciantes e ocupantes locais realizaram diversas modificações inadequadas no Setor II: a retirada da vegetação remanescente nos poucos trechos de dunas de pós-praia; a inserção de tubulações de esgoto dos seus pontos de comércio no talude natural, ainda presente, ou no talude de sustentação do calçadão; as inserções de aplainamento do talude para instalação de depósitos, barracas de vendas e depósitos de material. Essas modificações intensificaram a retirada de sedimentos da praia e implicaram diretamente na instabilidade dos taludes de sustentação do calçadão, uma vez que remove a base de apoio, ou seja, a fundação da estrutura de contenção, ocasionando o deslocamento flexural de blocos e o colapso da estrutura rígida (Figura 52).

Figura 52: Instalações irregulares (a) construção de depósito por comerciantes (b) erosão da base do calçadão por inserção de tubos de drenagem



(a)



(b)

Toda a região do bairro de Ponta Negra foi contemplada no Decreto Municipal nº 2236/1979 que criou a Área *Non Aedificandi* (ANA) de Ponta Negra, instituída ainda no Plano Diretor de Natal de 1984 (ATAÍDE *et al.*, 2022b). A criação da ANA de Ponta Negra por décadas resguardou da ocupação por edifícios em nove quadras da Avenida Engenheiro Roberto Freire, assegurando a perspectiva visual do Morro do Careca. Entretanto, o Plano Diretor revisado em 2022, pelo Projeto de Lei nº 009/2021, alterou a regulamentação dessas áreas, incluindo setores da orla marítima. O Plano Diretor revisado, portanto, extinguiu a ANA de Ponta Negra, permitindo a edificação no limite de gabarito ao nível da calçada da Avenida Engenheiro Roberto Freire (ATAÍDE *et al.*, 2022b). Tal decisão mostra-se extremamente prejudicial à orla marítima nas praias de Ponta Negra e Via Costeira, pois intensificará a urbanização, que é um dos grandes fatores causadores e potencializadores da erosão praial.

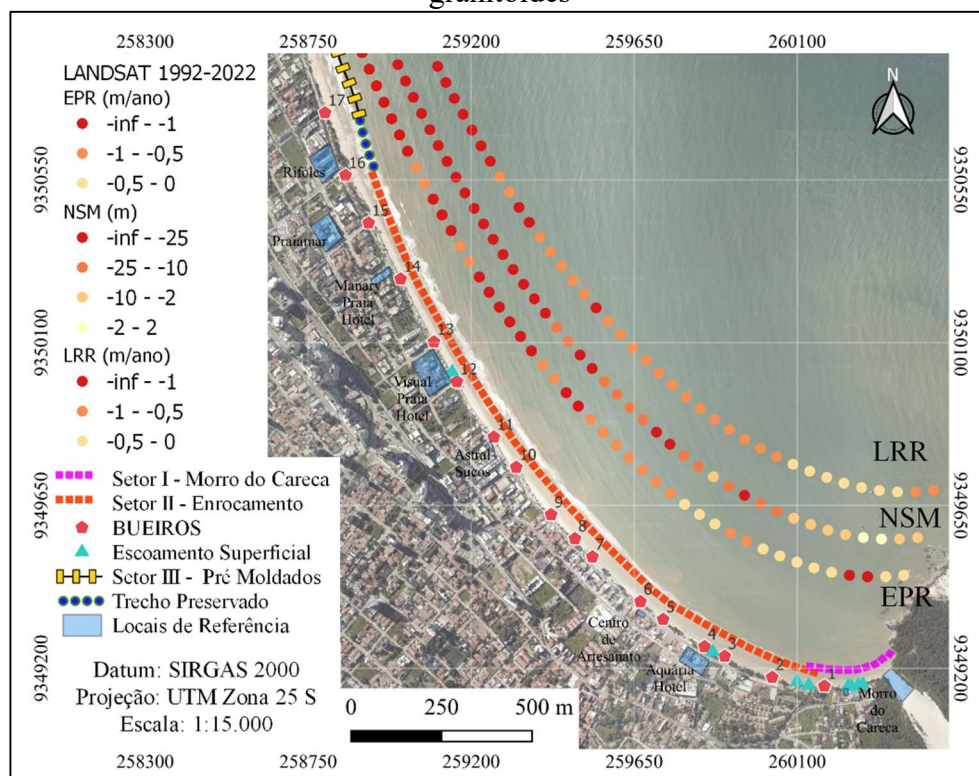
A análise comparada entre linhas de costas extraídas da série de imagens do Sentinel-2 indicou acreção na taxa de LRR, embora as taxas de EPR no mesmo trecho simulem erosão. Essa acreção é justificada pela alimentação do trecho por sedimentos provenientes do Morro do Careca, tanto pelo deslizamento gravitacional dos sedimentos depositados no talude, quanto pela retirada dos sedimentos na base devido à ação das ondas, sendo deslocadas no sentido de sul para norte. Entretanto, esses tais trechos são

especialmente limitados e nas intermediações do Hotel Rifóles a erosão foi novamente destacada.

No Setor II as taxas máximas de erosão na análise de médio prazo foram:  $EPR = -4,43$  m/ano,  $NSM = -28,99$  m/ano e  $LRR = -3,87$  m/ano e para longo prazo:  $EPR = -1,54$  m/ano,  $NSM = -43,73$  m e  $LRR = -1,14$  m/ano. Esses resultados da análise de médio prazo indicaram maiores valores para as taxas de erosão quando comparada a análise de longo prazo. Portanto, a análise evolutiva para o Setor II mostrou alta erosão na face praial influenciada pela presença do enrocamento, pois as ondas se chocam frontalmente com a contenção rígida e geram efeitos reflexivos, de modo que ainda retornam com alta energia e, assim, carregam os sedimentos da face praial, rebatendo incessantemente o perfil praial e, conseqüentemente, facilitando a maior incidência das ondas e acentuando os processos erosivos (Figura 53).

Amaro *et al.* (2014) mostraram que a forma em equilíbrio da praia em planta prevista para as praias de Ponta Negra e Via Costeira não coincide com a forma atual da linha de costa, pois as infraestruturas públicas e edificações privadas foram construídas no interior do perfil dinâmico da praia. Naquela altura, o ponto de equilíbrio da praia em planta ocorria a partir do Hotel Ocean Palace na Via Costeira. A partir do enrocamento e outras obras rígidas instaladas nos anos seguintes, houve o favorecimento e a intensificação dos processos erosivos e, conseqüentemente, a erosão se estendeu até o trecho do Hotel *Serhs*, onde estaria o atual ponto de equilíbrio.

Figura 53: Mapa de Balanço Sedimentos do Setor II – Enrocamento de rochas granitóides



### 5.1.3 Setor III – Estrutura de Blocos Pré-Moldados

Ao longo da extensão entre praias de Ponta Negra e Via Costeira ocorre uma diferença de nível entre o trecho do calçadão a sul e a norte. Nas proximidades do

Morro do Careca, o nível do calçadão atinge 2500 mm, enquanto no final do enrocamento, a Norte, esse nível passa para 7500 mm, ou seja, há uma diferença de cerca de 5000 mm no nível do calçadão ao longo da linha de costa (AMARO et al., 2012). Nesse trecho da orla marítima, no sentido sul para norte, o enrocamento apresenta uma inclinação cada vez mais acentuada até o trecho em que as rochas granitoides não atingem o nível do calçadão. Desse modo, ao final do enrocamento, foram criados patamares intermediários e um novo talude para vencer o desnível. Esse novo patamar que vem se formando era previamente ocupado por dunas de pós-praia com vegetações rasteiras e coqueiros. Entretanto, visto que o mar em situação de preamar atinge a estrutura de enrocamento e os comerciantes ficaram sem espaço para distribuir suas barracas de praia, essa região intermediária sofreu ocupação de forma indevida e inadequada pelos comerciantes locais (Figura 54).

Figura 54: Diferença de nível entre o NMM e o calçadão de Ponta Negra.



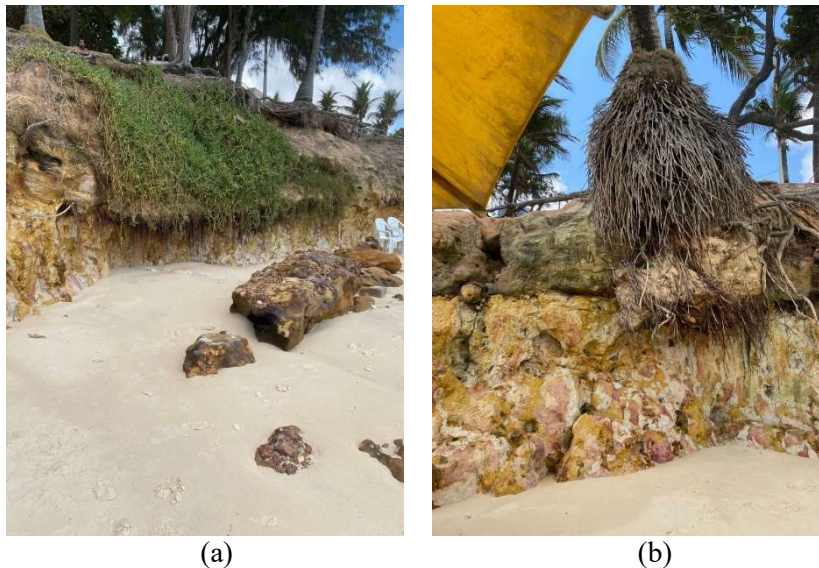
Na análise de impactos ambientais das obras de recuperação foram planejadas ações de gestão com programas, controle e monitoramento (TETRA TECH, 2022), porém não foram apresentadas nenhuma ação ou plano ambiental relacionado ao monitoramento de alterações antrópicas e a educação ambiental para a conscientização da população quanto ao uso apropriado da orla marítima, que tem potencial em fragilizar e desestruturar o ambiente praial e acentuar os processos erosivos (MUEHE, 2006; AMARO *et al.*, 2012; MATOS *et al.*, 2022)

A erosão na praia de Ponta Negra, antes focada apenas nas contribuições vindas diretamente das forças motrizes hidrodinâmicas (ação do vento, energia e altura de onda, marés meteorológicas e deriva litorânea), igualmente necessita de foco nas contribuições advindas das outras fontes continentais e antrópicas, pois constituem fatores impactantes e altamente intensificadores do processo erosivo (AMARO *et al.*, 2021a), tais como: o desmatamento, a alteração do sistema de drenagem natural, os lançamentos inadequados de lixo e de esgoto no sistema de drenagem, a retirada da cobertura superficial do solo e a movimentação irregular de solo e areia de praia nos terrenos da orla marítima.

A presença de falésias ativas do Grupo Barreiras igualmente se destaca ao longo da área de estudo em trechos ainda conservados da orla marítima. Os estratos de rochas

estão sobrepostos por dunas e vegetação, formação natural que auxilia na contenção contra erosão por reter o carreamento de sedimentos por transporte de fluxo laminar e, igualmente servem com fonte reserva de sedimentos para a face praial (MOTA e SOUZA, 2018). Porém, em outros trechos, devido ao processo erosivo, as falésias são ativas e indicam processo erosivo acelerado, com cavidades basais de dimensões métricas, fissuras devido às raízes das vegetações e solapamento da escarpa (Figura 55).

Figura 55: Erosão da base da falésia devido a ação constante da maré  
(a) desprendimento de bloco de rocha (b) Risco de tombamento de coqueiros.



Após o enrocamento com rochas granitoides, outra estrutura de contenção foi implementada para circunscrição do talude superior que sustenta o calçadão. A estrutura se caracteriza por uma obra de face marinha vertical feita com blocos de concreto pré-moldados encaixados que se estabilizam pela ação da gravidade. A obra foi executada pela Prefeitura do Natal em caráter de urgência, em virtude de desmoronamentos frequentes que ocorreram e se intensificam nessa orla marítima (Figura 56a).

Por ser um muro de gravidade, a força de contenção que se opõe aos empuxos horizontais atuantes é o próprio peso dos blocos pré-moldados. Nesse sentido, por não apresentar nenhuma estrutura de fundação profunda que procure se apoiar em uma base de maior estabilidade, os blocos de concreto se apoiam diretamente sobre a estrutura de rochas do Grupo Barreiras, formando nessa união uma região de descontinuidade entre a estrutura da rocha e o material da contenção. Com o passar do tempo, a tendência é que a passagem de água por essa região de descontinuidade carregue sedimentos que servem de apoio para os blocos de concreto. Assim, uma vez que se elimina parte de sua base de apoio, os blocos passam a se acomodar sofrendo recalques diferenciais. Certa acomodação da estrutura já pode ser observada em uma das escadarias (Figura 56b).

Figura 56: Estrutura de contenção rígida vertical (a) perfil (b) escadaria com deslocamento vertical



A obra não possui todas as estruturas definidas no projeto executivo, a cargo da empresa Premier Engenharia Ltda. (2021), para complementar o enrocamento com obras de defesa costeira, entre os quais: os defletores de ondas e as estruturas escalonadas. Além disso, de acordo com TETRA TECH (2022), esse projeto executivo não contempla adequações nas infraestruturas pré-existentes, consideradas no trecho de 812,00 m já construídos. Portanto, sem as adequações ao conjunto da obra de defesa costeira, as faces marinhas verticais solapadas por ondas e as galerias de drenagem pluvial permanecerão causando erosão dos sedimentos dispostos na face de praia.

Ainda difundida pelo Setor III, escadas que dão acesso dessa nova infraestrutura até a base da praia foram instaladas e interromperam taludes naturais com vegetação nativa. A partir de tais acessos, os comerciantes realizaram modificações inadequadas, como a supressão vegetacional e incisões desde o talude superior, que modificarão o transporte de sedimentos continental e marinho, resultando em desequilíbrio do balanço sedimentar, incluindo riscos de acidentes aos transeuntes (MUEHE, 2001, PIERRI, 2008; AMARO *et al.* 2015).

Outro ponto a ser observado nessa nova obra é o tipo de material em que foram executados os blocos de concreto. Sabe-se que o concreto é um material formado por cimento, agregados graúdos e miúdos e água. Normalmente esses agregados são respectivamente a brita e a areia e a depender do seu traço (proporção) e execução, a junção desses materiais confere uma boa resistência ao produto. Na ABNT NBR 6118:201, que estabelece quatro níveis de agressividade para as obras em geral, as obras litorâneas estão no terceiro nível de agressividade e estruturas expostas diretamente a respingos de marés estão no nível quatro, sendo este último o caso de Ponta Negra em que a maré já atinge a obra. Nesse sentido, são obras que estão expostas às condições intempéricas altamente desgastantes e, portanto, precisam ser executadas com material de qualidade e resistente aos efeitos promovidos pelo ambiente adverso.

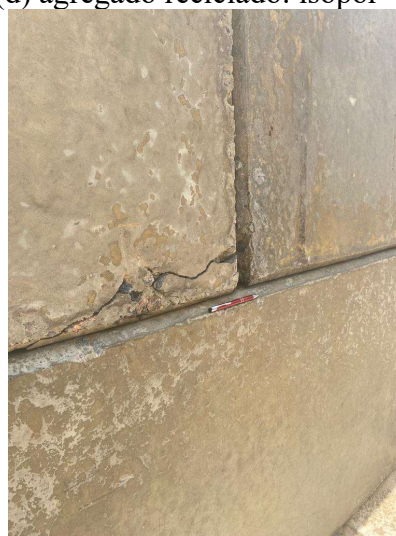
Diversos materiais recicláveis são utilizados como agregados em concretos como alternativa e/ou complementação da brita e areia. Essa ação pode configurar uma ótima iniciativa de vertente sustentável para diminuir a extração de matéria prima e reutilizar materiais que seriam resíduos para o meio ambiente. Todavia, sabe-se que a utilização desses agregados alternativos diminui a resistência do concreto uma vez que

sua resistência é menor do que a da brita. Observou-se que a obra em questão foi executada com agregados reciclados (restos de revestimentos cerâmicos, tijolos, telhas, isopor, fibras de madeira) o que diminui a resistência dos blocos de concreto que estão diariamente sendo atingidos pela energia das ondas. Nessa perspectiva, pode-se observar que já existe certo desgaste dos blocos em seus vértices e arestas (Figura 57). Além disso, alerta-se para o funcionamento da estrutura, uma vez que a contenção é um muro de gravidade, faz-se necessário ter um peso próprio elevado e a inserção de agregados alternativos, como o isopor, diminui o peso próprio da estrutura.

Figura 57: Estrutura dos blocos pré-moldados com (a) agregados reciclados: material cerâmico (b) desgastes e rachaduras (c) agregado reciclado: revestimentos cerâmicos (d) agregado reciclado: isopor



(a)



(b)



(c)



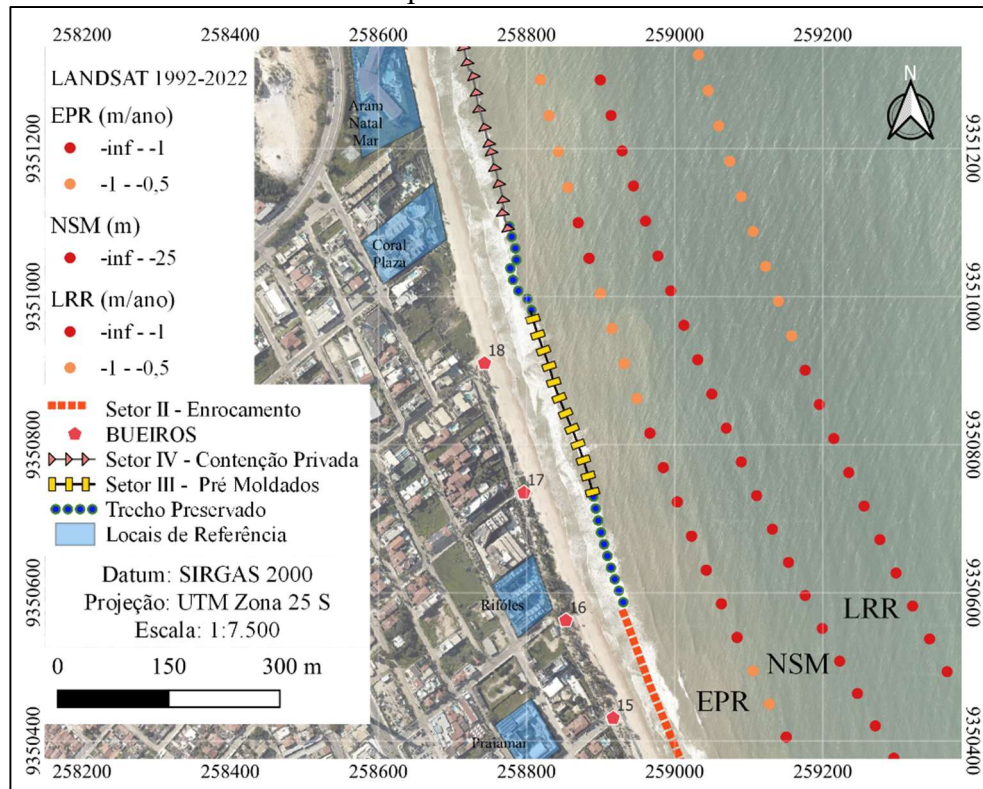
(d)

Pode-se observar também que não foi realizada nenhuma estrutura de transição na zona a jusante e a montante entre a nova e a antiga estrutura de contenção. Tais zonas de transição são alvos de intensa erosão e precisam receber atenção e cuidados a fim de evitar uma perda intensa de sedimentos. A obra também foi arquitetada com perspectiva de uma estrutura de contenção vertical, que não dissipa a energia da onda de forma gradativa e cria uma barreira de dissipação de energia de forma instantânea. Essa energia dispersa a água do mar em todas as direções (para cima, para baixo e para as

laterais) o que ajuda a remover os sedimentos da base da contenção, ou seja, da sua fundação. Sabe-se que por não ter sido realizada nenhuma ação de engordamento de praia, a maré já alcança a estrutura de contenção. Além disso, como já citado anteriormente, as ondas em direção a norte tendem a ter maior altura significativa e, consequentemente, uma maior energia, agravando ainda mais o problema.

No Setor III as taxas máximas de erosão são para médio prazo:  $EPR = -3,11$  m/ano,  $NSM = -20,36$  m/ano e  $LRR = -1,43$  m/ano e para longo prazo:  $EPR = -1,36$  m/ano,  $NSM = -41,00$  m e  $LRR = -1,29$  m/ano (Figura 58).

Figura 58: Mapa de Balanço Sedimentos do Setor III – Estrutura de blocos pré-moldados.

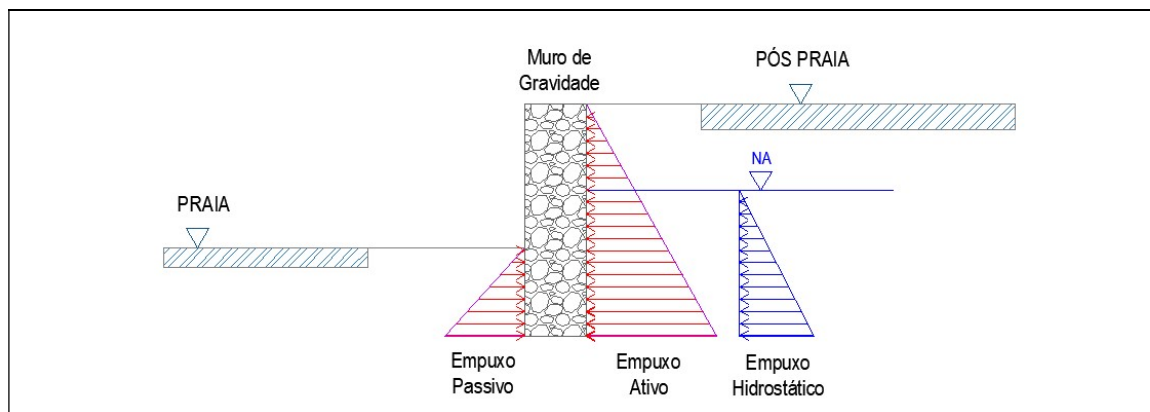


#### 5.1.4 Setor IV – Estruturas de Contenções Privadas

Após a contenção de blocos pré-moldados, existe uma área com dunas vegetadas e a partir desse trecho em direção a Via Costeira existem diversos hotéis que convivem há tempos com os processos erosivos. Assim, alguns desses empreendimentos realizaram medidas de proteção para suas edificações com a construção de estruturas rígidas de contenção de taludes, que na totalidade dos casos são inadequadas e intensificadoras do processo de erosão.

Os muros de gravidade com blocos de concreto encaixados são o principal tipo de contenções de taludes na Via Costeira e foram dimensionados, possivelmente, unicamente com base no equilíbrio entre as forças de empuxo ativo atuante por trás da contenção, o empuxo hidrostático, o empuxo passivo atuante à frente da contenção na parte enterrada e o peso próprio estabilizante (Figura 59) Contudo, para que o peso próprio seja uma força estabilizante, é necessário que haja uma boa relação solo-estrutura.

Figura 59: Distribuição de empuxos em muro de gravidade



A maioria das contenções é vertical e de altura reduzida em relação ao efeito de sobreelevação no NMM. Essa situação se configura na maior fragilidade dessas infraestruturas para proteção da costa contra a ação da erosão costeira, pois as contenções além de resistir aos empuxos ativos, precisam resistir às energias das ondas que incidem frontalmente. Ao atingir as contenções de face marinha vertical, a energia da onda se dispersa em todas as direções, causando o arrasto de sedimentos na base da contenção, ou seja, exatamente da parte do solo que serviria de apoio aos blocos de concretos, causando a instabilidade externa das contenções, incidindo em de tombamento e ruptura global da obra de defesa costeira (Figura 60a e Figura 60b).

Figura 60: Processo de ruptura de estrutura de contenção (a) destaque para escoamento superficial acima da contenção (b) deslizamento completo da estrutura



(a)



(b)

Além disso, as estruturas devem possuir um sistema de drenagem eficiente. Quanto mais água se acumula na massa de solo contida, maior é o empuxo hidrostático (força desestabilizante). Assim, a presença de drenos verticais e uma quantidade suficiente de drenos barbacãs devem ser instalados para melhorar as condições de equilíbrio e evitar a desestabilização. Portanto, tais intervenções para contenção de taludes não seguem os padrões adequados para funcionamento como obra de defesa costeira. Ainda na infraestrutura ocorre a falta ou a quantidade reduzida de drenos barbacãs, a total ausência de dissipadores de energia de ondas, de drenos de face, de escalonamento da fundação das estruturas, de proteção do sopé e da crista das contenções com canaletas ou estruturas de função similar.

As canaletas são elementos de proteção contra a infiltração de água entre o dreno e a contenção e de escavação do sopé devido a presença de água, recebendo a água drenada pelos barbacãs. Por estar em um ambiente praial, pode-se substituir a canaleta por outra estrutura que tenha função similar, como uma placa de concreto na porção superior e uma estrutura enterrada escalonada no sopé.

Na contenção em frente ao Hotel Aram Natal Mar foi verificada a existência de um único dreno de maior bitola, com sobrecarga na saída de água nesse ponto, aumentando a vazão e a erosão na praia. Além disso, a água sai a uma altura considerável do chão, aumentando o impacto devido à energia potencial. No local foram dispostos alguns sacos de areia no sopé da estrutura com objetivo de amenizar o impacto da água e a erosão. Portanto, a contenção possui altura considerável, não tem sistema de drenagem do tipo barbacã e possui uma área de lazer do hotel acima da porção de solo contida pela estrutura. A estrutura, apesar de conter ferragem, apresenta risco de ruptura por estar apoiada em solo que diariamente perde sedimentos e por apresentar uma grande tensão ativa por trás da estrutura, sem o alívio da pressão hidrostática (Figura 61).

Figura 61: Drenagem em estrutura de contenção (a) ausência de drenos (b) presença de um único dreno



(a)



(b)

A contenção do Hotel Ocean Palace possui apenas 1,38 m de altura da fundação ao topo, ou seja, praticamente não há estabilização da parte enterrada com empuxo passivo e a pequena altura enterrada ajuda a energia das ondas a atingir mais facilmente o solo de apoio.

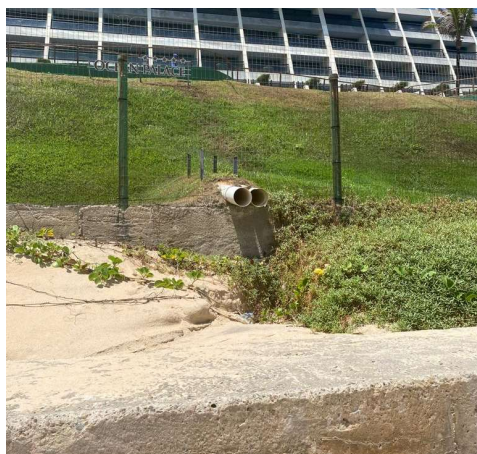
O impacto das obras rígidas é destacado ao final do muro de contenção instalado no Hotel Ocean Palace. A obra rígida finaliza diretamente em contato com as rochas do Grupo Barreiras, local onde já está alojada uma erosão acentuada, com formação de incisões basais, fissuras e ravinas (Figura 62).

Figura 62: Erosão a jusante de estrutura de contenção.



Ainda no Setor IV, a erosão por galerias de drenagem pluvial continua a acontecer. Existem diversas saídas de tubulações de esgoto/pluvial dos próprios hotéis que deságuam na porção de solo contida, aumentando ainda mais a parcela de empuxo ativo (Figura 63a). Devido a inexistência ou insuficiência da drenagem, a água tenta sair pelos interstícios encontrados. Em frente ao Hotel Ocean Palace, é possível ver o ressurgência dessa água na base da contenção em diversos pontos, retirando diariamente os sedimentos da base da contenção e deixando vazios, diminuindo a parcela de força que estabiliza a estrutura (Figura 63b).

Figura 63: Drenagem em estruturas de contenção (a) saída de água acima do aterro da estrutura de contenção (b) afloramento de água na base da contenção.



(a)



(b)

Contudo, o interesse dos empreendimentos privados é unicamente a proteção das construções atingidas pela erosão costeira, que afeta todo o ambiente praial e não exclusivamente do trecho em que as obras estão instaladas (BULHÕES, 2020). Assim, ações isoladas apenas aceleram e intensificam a erosão para os trechos vizinhos à jusante da deriva litorânea. Portanto, questionam-se os processos de licenciamento dessas obras: Como foi liberada a construção de obras que possuem um considerável

grau poluidor e vida útil extremamente reduzida? Onde estão as orientações para a instalação, monitoramento e fiscalização dessas intervenções? O problema se expande para além da esfera ambiental, atingindo a escala social, política e administrativa.

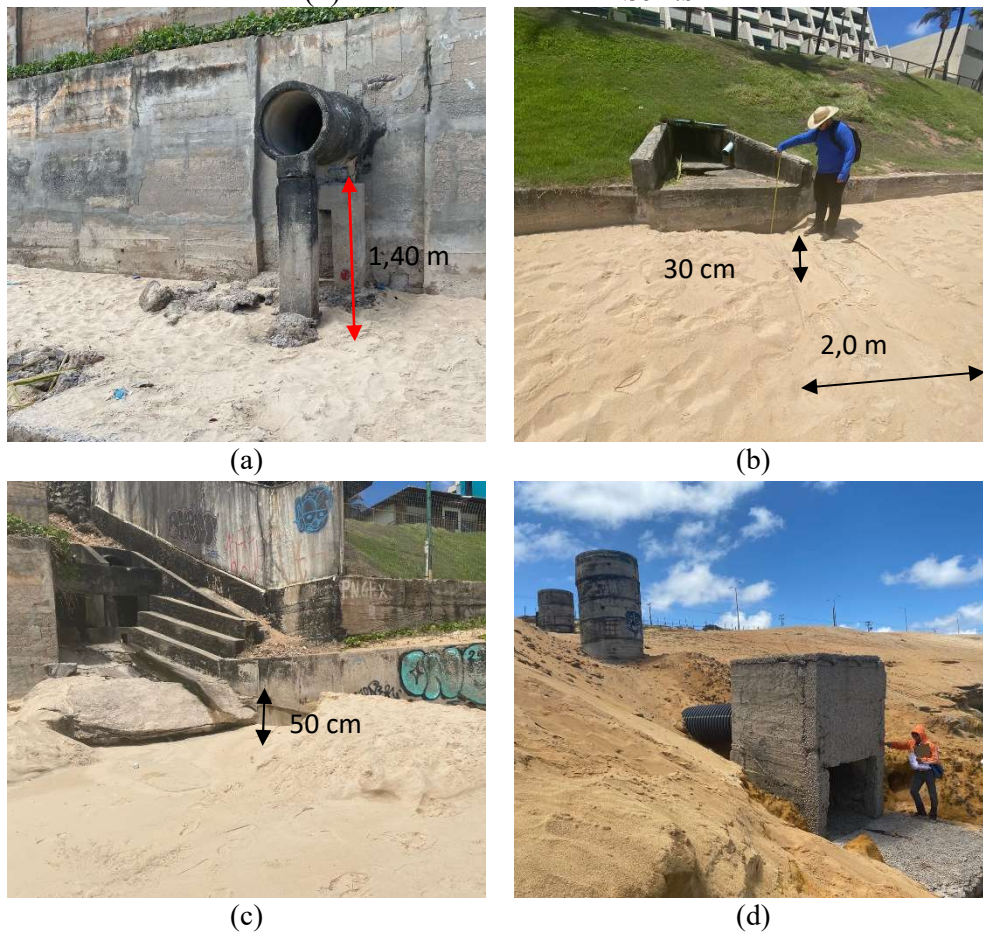
A construção de obras ineficientes é um problema gravíssimo que envolve perda de recursos, modificações e alterações do ambiente costeiro e retrabalhos em curtos prazos (GI-GERCO, 2018). Observa-se nos hotéis que existem diversas tentativas, realizadas em tempos diferentes, para contenção da erosão, com essas estruturas de contenção impondo-se umas às outras. A instalação de novas obras inclusive avança sobre a face praial, reduzindo a faixa disponível para uso recreativo, onde o ambiente praial já se encontra extremamente reduzido ou inexistente. Além disso, a linha de costa é constituída de vários tipos de obras (rochas granitoides, muros verticais, pré-moldados) que se não se comunicam e não trabalham em conjunto como obra de defesa costeira. Observa-se nos hotéis que existem diversas tentativas, realizadas em tempos diferentes, para proteção contra a erosão com estruturas de contenção sobrepostas umas às outras (Figura 64a). A instalação de novas obras tem avançado ainda mais em direção à praia e ao mar, diminuindo o ambiente de face praial que já está extremamente reduzido ou inexistente, como pode ser visto em frente ao Hotel Ocean Palace. A obra do Hotel Rifóles avança em direção ao mar cerca de 4,15 m ( Figura 64b).

Figura 64: Hotel Ocean Palace e com duas obras de contenção adjacentes executadas em tempos diferentes



A presença de bueiros de grandes dimensões na extensão da praia. Eles deságuam diretamente na areia da praia retirando os sedimentos do local e formando cavidades. Na Figura 65a o bueiro em frente ao Hotel Aram possui 1,40 m de altura em relação a areia da praia. Na Figura 65b o bueiro em frente ao Hotel Ocean Palace abre uma cavidade de 30 cm de altura de forma côncava em 2,0 m de largura. Na Figura 65c, entre o Hotel Aram e o Ocean Palace, o bueiro causa uma erosão de cerca de 50 cm. Na Figura 65d, tem-se uma grande saída de água pluvial proveniente da Via Costeira. Nesse último bueiro é possível ver a erosão que atinge os poços de visita por trás do bueiro, onde as estruturas estão com boa parte da sua altura exposta.

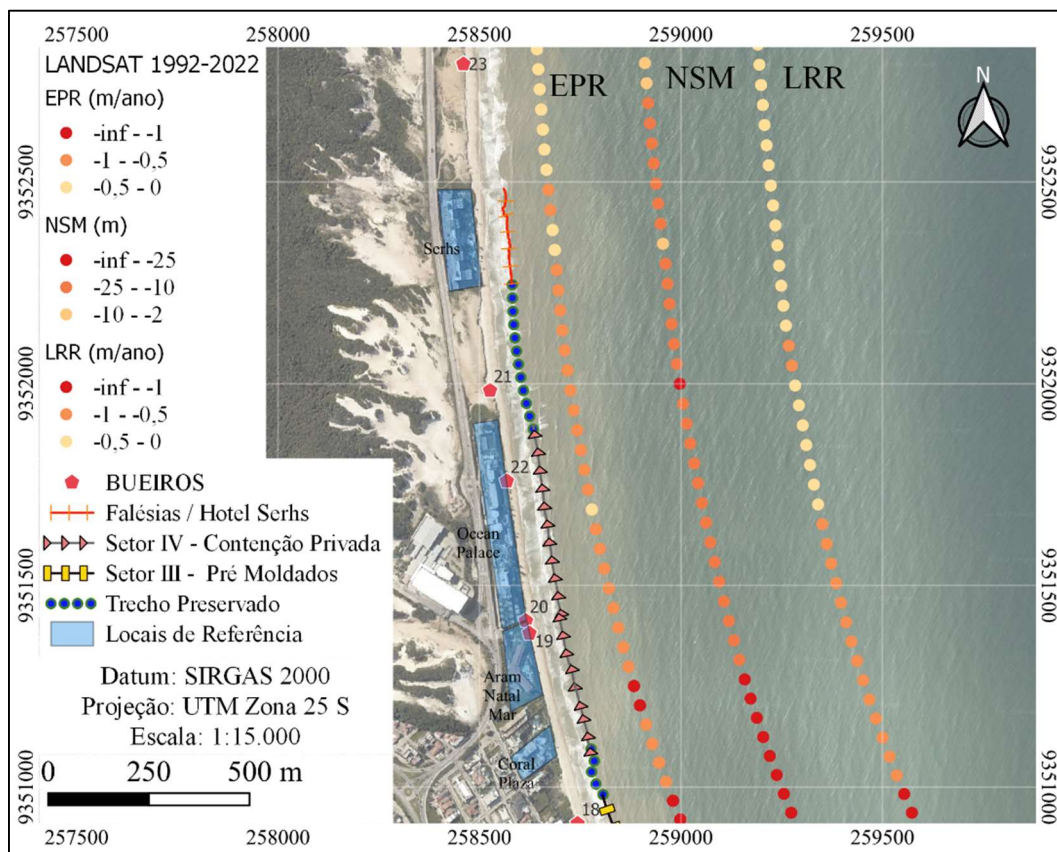
Figura 65: Bueiros de grande porte presentes na região de hotéis da Via Costeira (a) Hotel Aram; (b) Ocean Palace; (c) entre Aram e Ocean Palace; (d) entre Ocean Palace e *Serhs*



Essa exposição da região da Via Costeira é alarmante, pois os resultados indicaram que o processo erosivo tem se estendido intensamente de sul para norte, como corroborado por Amaro *et al.* (2014) e Matos *et al.* (2022). Uma vez que as alturas significativas de onda nessa localidade apresentam valores maiores (ALMEIDA *et al.*, 2015, GOMES 2017) e esse parâmetro está diretamente relacionado com a capacidade de transporte de sedimentos, os processos erosivos futuros na Via Costeira podem ser mais danosos do que aqueles que vem ocorrendo na praia de Ponta Negra.

Os resultados apontaram que o processo erosivo permanece com intensidade moderada até as intermediações do Hotel *Serhs*, ou seja, até onde a densidade de ocupações antrópicas é mais acentuada. Após esse trecho, a erosão é sutil, com taxas máximas de erosão são para médio prazo:  $EPR = -4,76$  m/ano,  $NSM = -31,13$  m e  $LRR = -1,63$  m/ano e para longo prazo:  $EPR = -1,37$  m/ano,  $NSM = -41,27$  m e  $LRR = -1,12$  m/ano (Figura 66).

Figura 66: Mapa de Balanço Sedimentos do Setor IV – Estruturas de Contenções Privadas



### 5.1.5 Setor V – Via Costeira

Para o Setor V na Via Costeira, a análise comparada no médio prazo baseada nas imagens do satélite Sentinel-2 mostrou valores altos de erosão presentes após trechos de pequenos promontórios, que servem como barreiras para o transporte longitudinal dos sedimentos. No Setor V as taxas de EPR atingem a ordem de -5,93 m/ano, enquanto o LRR de -1,44 m/ano e o NSM de -31,94 m. Para o mesmo trecho, na análise de longo prazo, as taxas de EPR são de -0,98 m/ano, LRR de -0,09 m/ano e NSM de -29,8 m/ano. Os demais trechos apresentam uma tendência de estabilidade, com alternância de zonas de deposição e acreção, em virtude do acervo de dunas ainda presente e da baixa ocupação antrópica nesse trecho.

O trecho da Via Costeira apresenta uma situação de maior estabilidade no presente, fato que pode ser justificado uma vez que o horizonte de dunas, que apesar interrompidas pela rodovia, ainda se faz presente ao longo da linha de costa (AMARO *et al.*, 2012; MUEHE, 2006). Além disso, os hotéis estão mais espaçados e nos trechos preservados ainda há vegetação nativa.

A formação de campos de dunas vegetadas e não vegetadas ladeando a Via Costeira, denominada Parque das Dunas, tornou-se unidade de conservação pelo Decreto n° 7.237/1977. O Parque das Dunas é considerado uma Zona de Proteção Ambiental (ZPA-2) pelo Plano Diretor da Cidade de Natal. No período de 1970 a 2003, Natal foi palco de discussões em torno da proteção ambiental e na defesa de territórios populares, tendo o projeto Parque das Dunas como uma importante referência (ATAÍDE *et al.*, 2022a). Além disso, o Decreto Municipal n° 2236/1979 criou a Área Especial de Controle de Gabarito (AECG) do entorno do Parque das Dunas que, por sua vez,

restringe a verticalização nessa área, preservando suas funções ambientais. Entretanto, o novo Plano Diretor, atualizado em 2022 pelo Projeto de Lei 009/2021, extinguiu a AECG do entorno do Parque das Dunas sem qualquer limitação de gabarito (ATAÍDE *et al.*, 2022b).

No novo Plano Diretor, as antigas Zonas Especiais de Interesse Turístico (ZET) passaram a se chamar Área Especial de Interesse Turístico e Paisagístico (AEITP). A Via Costeira é classificada como a AEITP-2 e o novo Plano Diretor favoreceu alterações nas prescrições dessas áreas, sendo permitido o uso das AEITP para uso misto e residencial multifamiliar, na modalidade condomínio multipropriedade, desde que se garanta o acesso público à praia. Além disso, passa a ser permitido desmembramentos dos lotes em lotes mínimos de 2.000 m<sup>2</sup> e taxa de ocupação de 60% (NATAL, 2021). No plano diretor de 2007, apenas era permitido uso hoteleiro com lotes mínimos de 20.000 m<sup>2</sup>, de modo que a área possuía uma baixa ocupação.

Assim, verifica-se um interesse focado na mercantilização do solo no setor da Via Costeira, desconsiderando a realidade ambiental de erosão costeira, tema que vem sendo discutido há décadas. Dessa forma, se não houver adequados planejamento e fiscalização de ocupação e uso do solo, com previsão de escoamento superficial de águas pluviais, de esgotamento sanitário, de manutenção de áreas verdes, todos os problemas vistos para a Praia de Ponta Negra irão ocorrer na Via Costeira e os esforços de recuperação praias com uma obra de engorda irão fracassar em um tempo inferior ao esperado.

A urbanização em massa e sem ordenamento na Via Costeira seria extremamente prejudicial a estabilidade da praia que atualmente ainda possui um acervo de dunas e vegetações naturais que protegem a região de um contexto erosivo, como visto no georreferenciamento. Áreas com ausência de vegetação e alta declividade, como é o caso da Via Costeira, correspondem aos setores de alta a muito alta suscetibilidade do solo à erosão (AMARO *et al.*, 2014; 2021a; 2021b).

## 5.2 Planejamento das Obras Costeiras

Na mitigação de processos erosivos em praias arenosas e na proteção das infraestruturas instaladas na orla marítima quanto ao colapso e/ou galgamento das estruturas pelos efeitos de sobrelevação marinho, que ocasiona as inundações marinhas, tradicionalmente tem sido construído dois tipos de estruturas: obras rígidas e flexíveis.

Entretanto, tais intervenções de engenharia comumente são planejadas com base em decisões anteriores, funcionais em ambientes praias distintos, desconsiderando as peculiaridades dos aspectos geomorfológico e hidrodinâmico local e, principalmente, relegando os possíveis efeitos negativos que tais intervenções possam causar tanto na face praias defrontante, quanto nos trechos de a montante e a jusante da zona de interesse, em decorrência do enrijecimento desta última. Além disso, as decisões adotadas são frequentemente inadequadas aos efeitos crescentes das alterações climáticas (VOUSDOUKAS *et al.*, 2016; 2018).

As infraestruturas rígidas de defesa costeira causam o enrijecimento do trecho praias, impedindo a restauração natural permitida pela interação dinâmica do sistema praias-dunas. Além do mais, mesmo que o trecho praias de interesse se favoreça com a defesa ocasional da estrutura rígida, os trechos de praias circunvizinhas acabam afetadas devido às alterações no transporte da célula sedimentar ao longo da deriva litorânea (FOTI, MUSUMECI E STAGNITTI, 2020).

O aterro hidráulico (engorda) na praia é acatado como um tipo de intervenção flexível (ou rígida suave), por favorecer um efeito de avanço da linha de praia no curto prazo, além da recomposição do perfil morfológico dito “natural” em antepraia, estirâncio e pós-praia pela adição de grande volume de areia. No entanto, os processos erosivos marinho e continental permanecem em operação, acompanhando a continuidade de ação dos agentes hidrodinâmicos e climáticos, ou seja, o aumento da largura da faixa praial é apenas temporário, necessitando contínuo monitoramento e periódicas reposições de grandes quantidades de sedimentos (FOTI, MUSUMECI E STAGNITTI, 2020). Como estratégia para reduzir tanto as atividades periódicas de manutenção do aterro hidráulico, quanto à perda de sedimentos, os depósitos de sedimentos podem ser combinados com obras de contenção, aderentes e destacadas, como recifes artificiais submersos e espigões, obras paralelas e ortogonais à linha de costa, com o intuito de readequarem o transporte sedimentar na deriva litorânea e redução da energia de ondas na linha de costa (FOTI, MUSUMECI E STAGNITTI, 2020).

Assim, as novas obras costeiras planejadas para Ponta Negra e Via Costeira consistem no engordamento da praia, enrocamento de blocos pré-moldados e adequação do sistema de drenagem. O licenciamento ambiental do projeto de enrocamento foi separado das outras duas intervenções, sendo tramitado em processo a parte. Em março de 2023, o processo do enrocamento complementar encontrava-se com a Licença de Instalação e Operação emitida e a fabricação dos blocos pré-moldados no canteiro de obras que se localiza na Via Costeira já estava em execução. Já o processo de engorda juntamente com o processo de drenagem está na fase de Audiência Pública após elaboração do EIA-RIMA.

### 5.2.1 Laudo Pericial

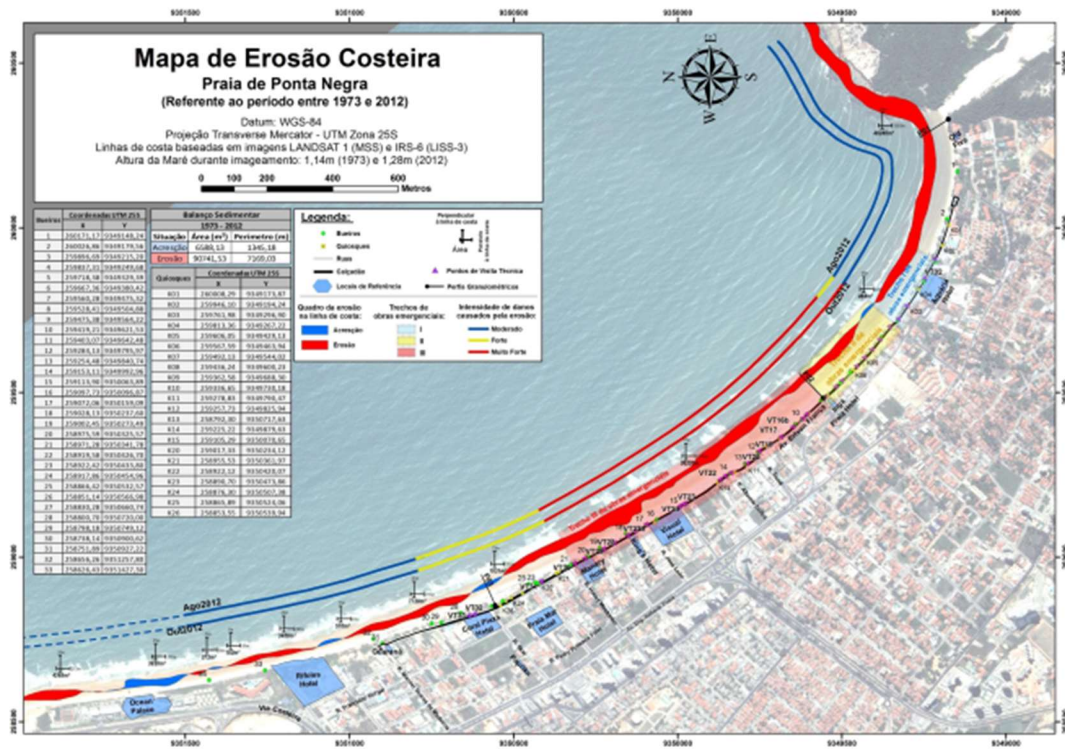
Em 2012, o Ministério Público do Estado do Rio Grande do Norte solicitou à Justiça Estadual a elaboração, por uma equipe de peritos, de um laudo técnico que descrevesse a situação da Praia de Ponta Negra e Via Costeira, com realização de levantamento dos aspectos morfodinâmicos da região. Essa necessidade de fazer o levantamento das características do ambiente praial é mencionada por GI-GERCO (2018) no primeiro passo do processo institucional a ser concretizado em uma obra de recuperação praial. Desse modo, o laudo tem o intuito de caracterizar a região, fazendo a primeira sondagem ambiental, social e econômica.

O Laudo Pericial, elaborado por Amaro *et al.* (2012) fez o levantamento multitemporal da evolução da linha de praia em um período de aproximadamente 40 anos (1976-2012) por meio de imagens digitais de sensoriamento remoto. O estudo utiliza imagens de resolução moderada com os sensores LANDSAT 1-MSS, LANDSAT 5-TM, LANDSAT 7-ETM e IRS-6-LISS-3 com resoluções de 80 m, 30 m, 30 m e 23,5 m, respectivamente. Esses levantamentos foram realizados para identificar a dinâmica costeira no período de 1973 a 2012. Nas imagens de alta resolução o estudo fez o levantamento de 2003 a 2011 utilizando os satélites IKONOS-2, QUICKBIRD E WORLDVIEW-2, com resoluções respectivas de 1,0 m, 2,0 m e 0,6 m.

É importante ressaltar que os processos de erosão e acreção fazem parte do balanço sedimentar de uma praia arenosa e são processos naturais. O ambiente praial tende a se estabelecer em equilíbrio com ciclos alternados de déficit e saldo de sedimentos que tendem a formar uma distribuição senoidal. Esse ciclo pode ser observado nos estudos do Amaro *et al.* (2012) realizados para a Praia de Ponta Negra. Embora a urbanização ainda não fosse tão presente, na década de 1976 a 1986, houve

balanço negativo na praia, o que mostra que mesmo sem intervenções antrópicas, o processo de erosão pode acontecer. Entretanto, o que se deve destacar é que nos anos sucessivos o saldo positivo de sedimentos não compensou a primeira década e posteriormente, por volta dos anos 2000, os processos erosivos se intensificaram ainda mais, de modo que no geral (1976 a 2012) o balanço sedimentar foi negativo (Figura 67).

Figura 67: Mapa de Erosão Costeira da Praia de Ponta Negra (1972 a 2012)



Fonte: Amaro et al. (2012)

Nessa perspectiva, o Amaro *et al.* (2012) apontou que não havia grandes expectativas de existir uma fase de acreção posterior que contrabalanceasse as perdas instaladas até aquela data, visto que existiu um processo erosivo instalado por cerca de 40 anos. Em virtude dessa preocupação, o estudo recomenda ações de monitoramento costeiro mais frequentes para subsidiar a gestão costeira.

O resultado desse estudo trouxe diversas observações para a erosão costeira da praia de Ponta Negra. A primeira delas é que de modo geral a praia vem sofrendo com o déficit sedimentar entre os anos de 1976 e 2012. A segunda é que a praia sofreu com processos erosivos de diferentes magnitudes a depender da região estudada. Sabe-se que as ações antrópicas têm um poder de influência no aporte de sedimentos e, no caso de Ponta Negra, as dunas frontais foram soterradas por edificações, sendo o aporte de sedimentos prejudicado. Os estudos mostram que o trecho com resultados mais negativos foram os das regiões de alta urbanização (Figura 68).

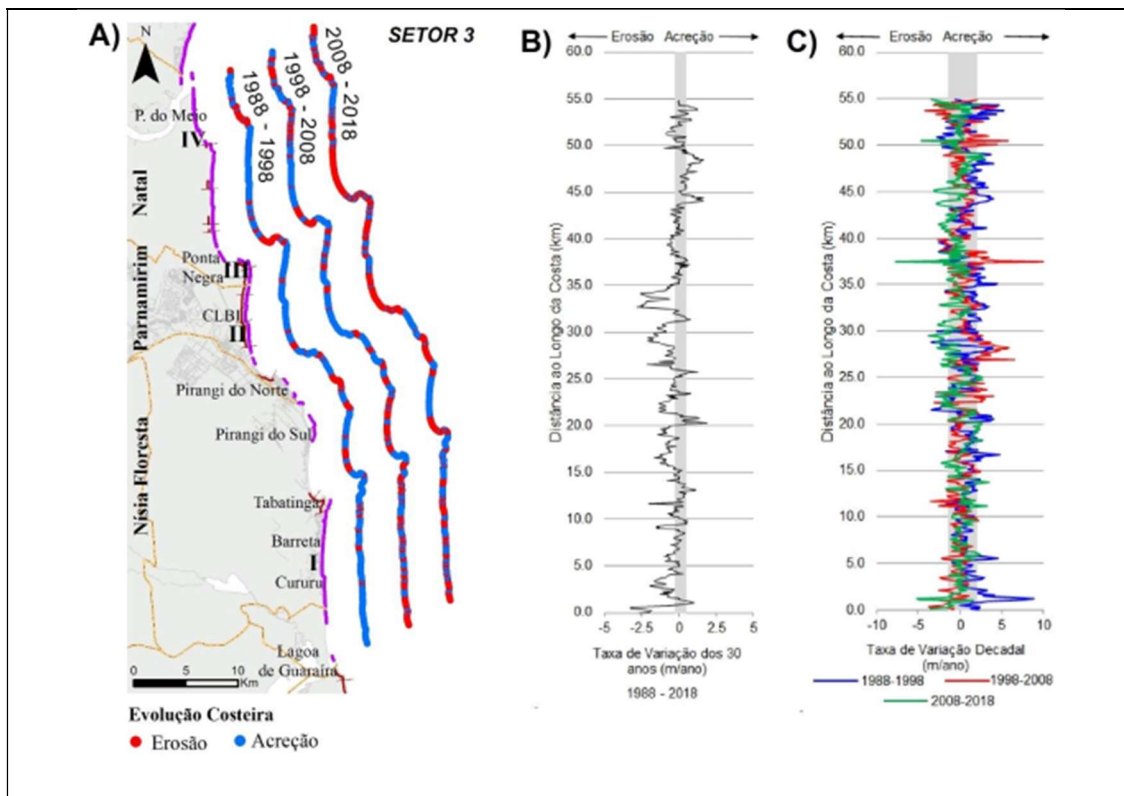
Figura 68: Classificação de danos da erosão na Praia de Ponta Negra



Fonte: Amaro *et al.* (2012)

Amaro *et al.* (2012) também realiza um prognóstico para esse processo erosivo, criando cenários para anos futuros até 2022. A resposta é sempre uma tendência erosiva. Esse prognóstico pode ser verificado no trabalho de Matos *et al.* (2022), no qual os autores avaliaram a evolução dos processos erosivos em boa parte do litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte no período de 1988 a 2018. Para o Setor 3 do estudo, em que estão inseridas as regiões de Ponta Negra e Via Costeira, os autores verificaram que o processo erosivo até o ano de 2008 era de menor intensidade e se concentrava mais nas proximidades do Morro do Careca. Entre 2008 e 2018, esse processo erosivo se intensificou e atingiu regiões adjacentes, as quais se encontravam em estado de equilíbrio. Essa intensificação pode ter sido ocasionada tanto pelas obras de enrocamento, obras estruturais rígidas que foram executadas nos anos de 2013 a 2015 que tornaram a praia com características mais reflexivas, como pelo processo de urbanização da praia que evoluiu ao longo desse período (Figura 69).

Figura 69: Mapa de evolução costeira do Setor 3. a) Erosão e acreção entre as décadas de 1988-1998/1998-2008 e 2008-2018 b) taxa de mudança longitudinal às praias de 1988 a 2018 c) taxas de mudança costeira para as três décadas.



Fonte: Matos et al. (2022)

### 5.2.2 Estudo de Viabilidade Técnica e Ambiental (EVTEA)

Em 2016, a empresa TETRA TECH apresentou o Estudo de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental (EVTEA) para subsidiar o processo de planejamento da obra da praia de Ponta Negra e Via Costeira. Como apontado no GI-GERCO (2018), esse estudo é a etapa seguinte após a caracterização diagnóstica da região. O estudo tem o objetivo de fazer uma avaliação dos benefícios sociais, econômicos e ambientais de diferentes soluções, em busca da alternativa mais viável e é de extrema importância para o sucesso do processo de recuperação praias, pois apresenta um conjunto de informações utilizadas nas etapas posteriores.

TETRA TECH (2016) aponta duas concepções para defesa costeira da Praia de Ponta Negra: a primeira delas consiste no engordamento artificial da praia, sem inserção de obras rígidas. A segunda prevê a combinação da alimentação praias com a implantação de quebra-mares costeiros paralelos à linha de costa. Dentre essas concepções, aponta três alternativas. A alternativa A consiste na alimentação com areia mais grossa que a nativa. A alternativa "B", alimentação com areia mais fina que a nativa e a C consiste na mesma alimentação que a B, porém com inserção de quebra-mares. Ao comparar as alternativas A e B, o volume de sedimentos com a areia mais fina (1.982.175 m<sup>3</sup>) é quase o dobro da solução com os sedimentos mais grossos (1.004.018 m<sup>3</sup>). Para se obter o perfil desejado com sedimentos mais finos é necessário um volume maior pois a areia inserida é mais vulnerável a ser transportada pelas ondas

atuantes no local, uma vez que a energia de onda é maior e está associada a um perfil de equilíbrio com sedimento mais grosso.

TETRA TECH (2016) elabora uma matriz multiparâmetro para encontrar a alternativa mais viável considerando a influência da declividade, vida útil, disponibilidade de material, volume de material, método executivo e custos. Nessa análise, a alternativa A apresentou-se mais vantajosa para os conceitos técnicos. Essa alternativa consistia em ampliar a faixa de areia em 38 metros, com sedimento obtido em jazida de 7 a 9 km da praia (área 2 e *jet probe* 11, 12 e 13) e com custo estimado em R\$ 46.249.588,19 (Tabela 4).

Tabela 4: Comparação de soluções para a recuperação praial de Ponta Negra e Via Costeira/RN mencionadas no EVTEA

	<b>Alternativa A</b>	<b>Alternativa B</b>	<b>Alternativa C</b>
<b>Custo</b>	R\$ 46.249.588,19	R\$ 42.749.663,19	R\$ 75.758.663,19
<b>Distância da jazida (km)</b>	7 a 9 km	1,5 a 2 km	1,5 a 2 km
<b>Diâmetro D50 (mm)</b>	0,75mm (mais grossos que os sedimentos nativos)	0,41mm (mais fino que o sedimento nativo)	0,39mm (mais fino que o sedimento nativo)
<b>Perfil do talude imerso</b>	1V:30H	1V:45H	1V:45H
<b>Extensão do aterro (m)</b>	4.000	4.000	4.000
<b>Transporte de sedimentos (mil m<sup>3</sup>/ano)</b>	100 a 200	100 a 300	0 a 200
<b>Jazida</b>	Área 2	Área 3	Área 3
<b>Desvantagem</b>	Aumento da declividade praial	Vida útil reduzida com necessidade de novas intervenções em curto intervalo de tempo.	Obra física de grande envergadura
	Mudança da característica textural natural da praia	Pouca disponibilidade de sedimento de granulação fina para futuras atividades de reconstrução	Maior impacto ambiental marinho
<b>Observação</b>	Transporte de sedimentos que mais se aproxima da condição natural da praia		Alternativa B + 27 quebra-mares espaçados entre si em 80m e com comprimento de 60m.

Aponta também que além do engordamento seria necessária a adequação dos muros aderentes e do sistema de drenagem para manter a eficiência da proteção costeira.

Nesse sentido, o documento sugere a extensão do muro em 2000 m até o limite norte da Área de Influência Direta, assim como o redimensionamento do sistema de drenagem, investigando interferências com o sistema de esgotamento sanitário e compatibilização das vazões de cada galeria.

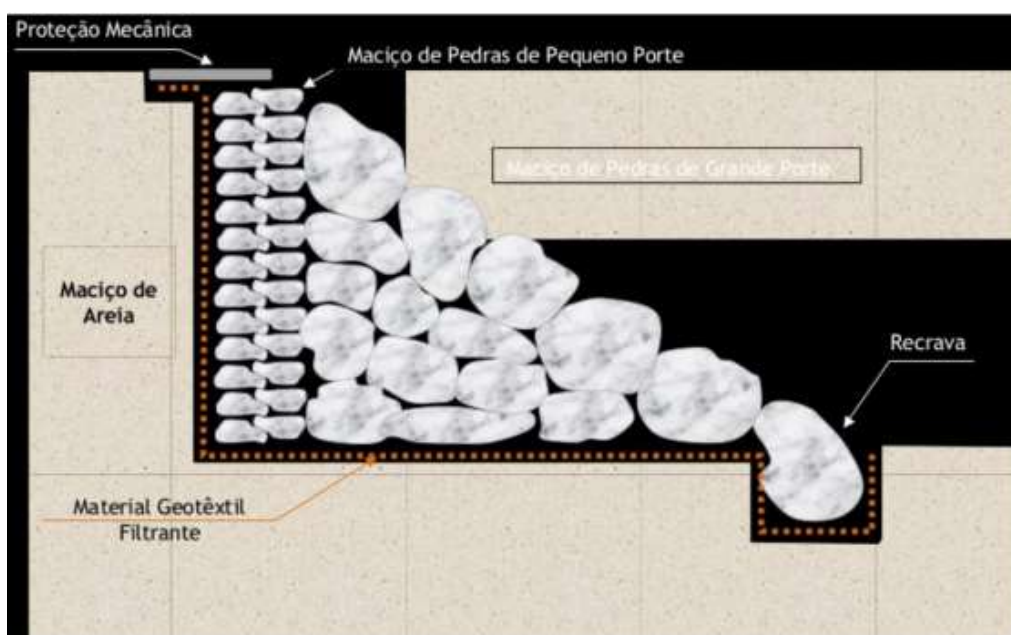
### 5.2.3 Projeto Básico e Projeto Básico Ambiental do Enrocamento Complementar

Uma vez que os danos à infraestrutura da praia já eram significativos nesse período, a Prefeitura do Natal decidiu prosseguir com os trâmites administrativos para a obra de enrocamento de forma separada, a fim de agilizar as ações de proteção costeira. Nesse sentido, a Prefeitura do Natal realizou licitação para elaboração do Projeto Básico dessa ação de enrocamento de forma separada ao projeto de engordamento.

VELOX (2018), empresa autora do projeto básico do enrocamento complementar, sugere a inserção de uma estrutura igual a existente (rochas granitoides) e não realiza estudos de outras soluções.

Com relação ao peso dos blocos de rocha a serem utilizados no enrocamento, o projeto básico e o EVTEA trazem estudos relacionados ao tema. A Integral (2019) ao analisar as documentações relata que há uma grande divergência entre o peso dos blocos do manto protetor da estrutura (carapaça) calculados por diferentes documentos. Enquanto TETRA TECH (2016) estima o peso dos blocos entre 1,3 e 2,3 TF, VELOX (2018) estima a necessidade de blocos com peso entre 1,995 e 3,325 TF. Esse ponto é de suma importância, uma vez que o peso dos blocos irá definir a estabilidade da contenção. Ao inserir blocos com peso abaixo do mínimo estabelecido, ocorrerá movimentação desses blocos ao serem atingidos pela energia das ondas e será exposto o núcleo da estrutura com rochas de menor granulometria e menor peso (Figura 70). Assim, o sistema entrará facilmente em colapso. Esse problema aconteceu na primeira obra de enrocamento da praia de Ponta Negra, a qual necessita de manutenções periódicas de custos elevados.

Figura 70: Detalhe Construtivo da estrutura de enrocamento de rochas



Fonte: TETRA TECH (2016)

Ressalta-se a necessidade nesse ponto do conhecimento dos dados oceanográficos. A altura de onda nesse ponto é crucial para determinar a sua energia e assim o peso dos blocos de rocha. Uma vez que não há uma uniformização de medição desse parâmetro, assim como a existência de diferentes métodos de cálculo, os resultados são discrepantes. Assim, não há um embasamento para estabelecer com definição esses resultados.

Após a não aprovação do projeto básico pelo IDEMA, nova empresa é contratada para complementar o projeto básico. Integral (2020) define outro modo construtivo como melhor alternativa para a estrutura de contenção: blocos pré-fabricados do tipo rígido seguida por blocos pré-fabricados tipo anéis vazados. Integral (2020) sugere que exista um misto de aplicação dessas duas tecnologias, visto que o trecho de aplicação é heterogêneo.

Nesse ponto, é válido ressaltar que se a obra de engordamento praiial não for realizada com celeridade, o novo enrocamento intensificará o processo erosivo onde será instalado, pois reduzirá o perfil praiial. Assim, é urgente a reposição dos sedimentos para que as ondas não atinjam as estruturas de contenção e possuam uma área de espraçamento para dissipar a energia.

#### 5.2.4 Projeto Básico de Drenagem de Águas Pluviais

O projeto de drenagem foi necessário dado que os pontos de deságue na Praia de Ponta Negra intensificam o processo erosivo. Para emissão da licença prévia para que a obra de enrocamento fosse executada antes da obra de engordamento, o IDEMA solicitou que ambos os projetos básicos (enrocamento e drenagem) fossem executados para que a licença ambiental fosse analisada em conjunto.

A LR Engenharia (2019) elaborou o projeto básico de drenagem para a Praia de Ponta Negra com o objetivo de reprojeter 14 pontos de deságue. O projeto contempla 14 descidas pluviais na área da nova infraestrutura do enrocamento, desde a descida pluvial existente entre o Hotel Ocean Palace e o Hotel Aram Natal Mar (Via Costeira) e a Rua Tivoli.

O estudo discute três alternativas (Quadro 2) e a primeira foi a escolhida, a qual pretende implantar um sistema de galerias novas em tubos de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), dissipadores de energia projetados como caixas de controle de vazão em cada um dos pontos de deságue, construção de bocas de lobo especiais com drenos de fundo e construção de caixas de coleta de lixo feitas em ferro.

Quadro 2: Comparação das alternativas para o sistema de drenagem de Ponta Negra/RN

	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
<b>Solução</b>	14 dissipadores de energia projetados como caixas de controle de vazão	Construção de 3 lagoas de Acumulação e Infiltração nos pontos baixos das bacias de contribuição.	Construção de três emissários submarinos com 500m.
<b>Vantagem</b>	Menor Custo	Diminuir a vazão na praia	Eliminação de boa parte dos dissipadores de energia.

<b>Desvantagem</b>	Permanência dos 14 pontos de deságue diretamente na praia	Maiores Custos (desapropriação de terrenos, construção das lagoas);	Maiores custos de implantação e manutenção;
		A água ainda se encaminharia para a praia em chuvas	Complexa execução técnica;
		Necessidade de dissipador em extravasores para chuvas excepcionais	Necessidade de estudo ambiental aprofundado

O projeto também apresenta lacunas pois não investiga as interferências do sistema de drenagem com o sistema de esgotamento sanitário, assim como não prevê uma melhor distribuição da área de contribuição das bacias nos pontos de deságue para que eles passassem a receber um volume de água mais equilibrado. Observa-se que enquanto existem bacias que recebem influência de uma área de 0,82 Ha, outras recebem de uma área de 18,82 Ha (Tabela 5).

Tabela 5: Bacias de contribuição e dissipadores de energia (Ponta Negra/RN)

<b>Bacia</b>				<b>Dissipador de energia</b>	
<b>Nome</b>	<b>Superfície (há)</b>	<b>Volume de um dia (m³)</b>	<b>Vazão máxima (m³/s)</b>	<b>Nome</b>	<b>Rua</b>
<b>Bacia 1</b>	4,91	4730,16	525,37	Dissipador 1	Via Costeira - Entre o Hotel Ocean Palace e o Hotel Aram Natal Mar
<b>Bacia 2</b>	7,11	6849,58	760,77	Dissipador 2	Rua José Américo de Carvalho
<b>Bacia 3</b>	0,82	789,96	87,74	Dissipador 3	Rua Manoel Soares de Medeiros
<b>Bacia 4</b>	4,71	4537,48	503,97	Dissipador 4	Rua Moacir da Cunha Melo
<b>Bacia 5</b>	2,53	2434,33	270,71	Dissipador 5	Rua Skal
<b>Bacia 6</b>	3,24	3121,32	346,68	Dissipador 6	Rua Pastor Beauttenmuller
<b>Bacia 7</b>	2,46	2369,89	263,22	Dissipador 7	Rua Halley Mestrinho
<b>Bacia 8</b>	18,82	18130,67	2013,74	Dissipador 8 e 9	Rua José Leão de Oliveira e Rua Cláudio Gomes Texeira
<b>Bacia 9</b>	2,12	2042,35	226,84	Dissipador 8 e 9	Rua Altermar Dutra
<b>Bacia 10</b>	2,18	2100,15	233,26	Dissipador 10	Rua Altermar Dutra
<b>Bacia 11</b>	1,18	1136,78	126,26	Dissipador 11	Rua Tivoli
<b>Bacia 12</b>	0,83	799,59	88,81	Dissipador 12	Av. Erivan França
<b>Bacia 13</b>	0,98	944,1	104,86	Dissipador 13	Av. Erivan França

<b>Bacia 14</b>	2,41	2321,72	257,87	Dissipador 14	Av. Erivan França
<b>Total</b>	<b>54,3</b>	<b>52308,08</b>	<b>5810,1</b>		

Fonte: Adaptado de LR Engenharia (2019)

Ademais, o deságue das galerias continua sendo na face praial e o projeto prevê apenas a inserção de dissipadores de energia que atenuam a ação erosiva da água. Destaca-se aqui uma fragilidade no projeto de engorda, uma vez que serão mantidos na praia elementos que atuam na retirada de sedimentos diariamente. As águas pluviais retiram sedimentos, intensificando a erosão, além de ocasionar o solapamento das estruturas de contenção e da infraestrutura em geral. Esse projeto de drenagem também não contempla todas as descidas de águas pluviais na extensão da obra de engordamento, assim como não leva em consideração as descidas de água dos empreendimentos privados. O projeto de drenagem, portanto, se apresenta de forma muito superficial com soluções literárias e não reais.

### 5.2.5 Projeto Executivo do Enrocamento Complementar

O projeto consiste na construção de uma contenção marítima executada em módulos de blocos de dimensões 0,80 m x 0,80 m x 1,60 m feitos em concreto pré-moldado de 20 MPa de com encaixe travado horizontalmente do tipo macho e fêmea, assentado com juntas verticais desencontradas, sem uso de rejuntamento e armação. A altura da contenção é de 5,60 m, largura horizontal de 4,00 m e comprimento de 1.231,00 m (Figura 71). Em março/2023, os blocos já estavam sendo fabricados no canteiro de obras localizado ao lado do Sehrs Natal Gran Hotel, Via Costeira e o transporte dos blocos é realizado pela praia.

Figura 71: Planta de localização da obra de contenção de blocos pré-moldados de concreto.



Fonte: Premier (2021)

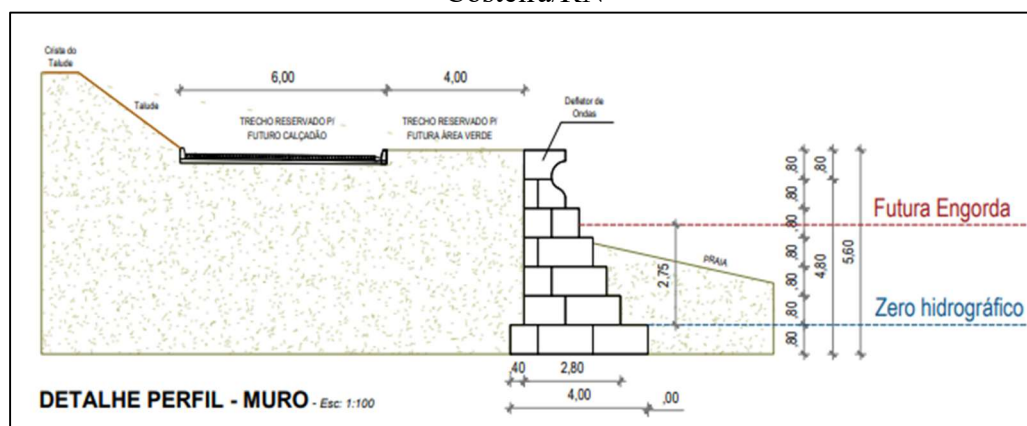
Premier Engenharia Ltda. (2021) aponta que essa tecnologia tem diferenciais pois oferece um menor prazo de execução, garantia de 10 anos, baixo transtorno na execução da obra, menor custo, fiscalização simples. A empresa também aponta como benefício a dispensa de manutenção, informando que como os blocos de concreto não possuem ferragem a manutenção é zero. Entretanto, não existe obra de engenharia que

não necessite de manutenções, principalmente em uma obra costeira que está constantemente sob ação da energia das ondas. Nessa perspectiva, pode-se analisar o trecho já executado de forma emergencial em Ponta Negra com a mesma tecnologia. A estrutura já apresenta sinais de recalque e diversas fissuras e trincas em seus blocos de concreto pré-moldado.

O projeto executivo determina que o peso dos blocos deve ser maior ou igual a  $2.300 \text{ kg/m}^3$  e deverá ser feito um controle tecnológico de acordo com as Normas Brasileiras ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 14931. A execução do projeto foi dividida em nove trechos e sua execução deveria ser realizada por trechos, desde a fundação até a superestrutura, com reaterro antes da abertura do novo trecho. Premier Engenharia Ltda. (2021) aborda a possibilidade de utilização de agregados (areia e brita) reciclados triturados e peneirados, oriundos de resíduos da construção civil. Afirma também que a fundação dos blocos deverá ser construída abaixo do nível 0,00 m hidrográfico para impedir o transporte sedimentar transversal sob a fundação e não haver desestabilização da estrutura. Sua estrutura de escada ajuda a dissipar a energia das ondas e evitar o turbilhonamento que causa erosão da areia e descalça a estrutura (Figura 72).

Uma vantagem desse sistema em relação ao enrocamento de pedras é que é uma estrutura acessível a limpeza e não acumula lixo nem matéria orgânica. Isso ajuda no problema de saúde pública, evitando a presença de ratos, baratas e insetos. Já a desvantagem é que a própria formação dos blocos de rocha de forma heterogênea, ajuda a dissipar melhor a energia das ondas.

Figura 72: Perfil do muro da obra de contenção da praia de Ponta Negra e Via Costeira/RN

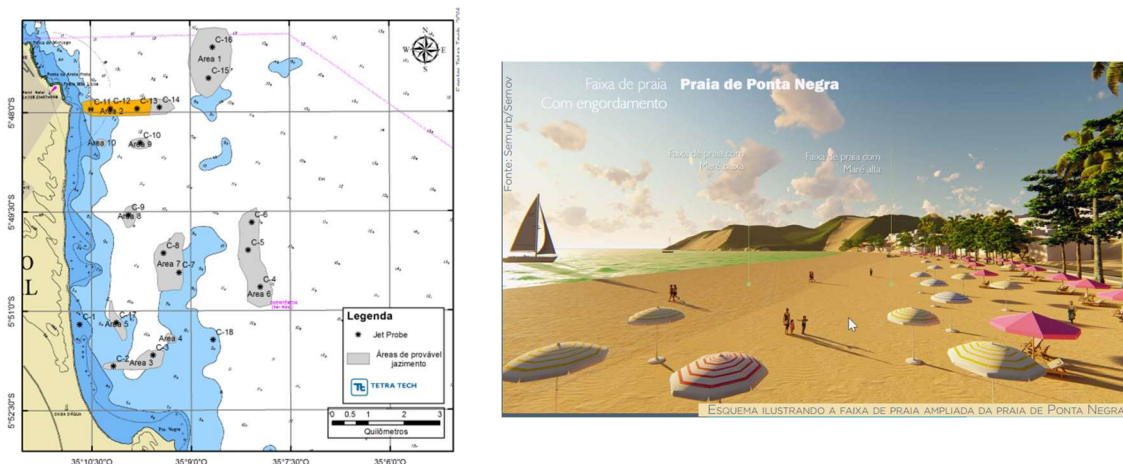


Fonte: Premier (2021)

### 5.2.6 Estudo e Relatório de Impacto Ambiental

O EIA-RIMA foi elaborado por TETRA TECH (2022) e teve seu foco na obra de engorda e na obra de drenagem, uma vez que o enrocamento foi tramitado em processo a parte. Com relação a obra de engordamento praiar, TETRA TECH (2022) afirma que para o estudo foram considerados: o NMM utilizado foi de 2,75 m, o volume total aproximado de sedimento necessário é de  $1.004.000 \text{ m}^3$ , que será distribuído em segmentos praias de 200 m. A distância média de transporte da draga é de cerca de 7 km a 9 km, a extensão da berma a partir do ponto de ancoramento é de 38 metros que após ciclos de tempestade (o ciclo de adaptação dura um ano completo) se estabilizará entre 10 m e 23 m. A obra seria finalizada em um total de 240 dias ou 8 (oito) meses ininterruptos (Figura 73).

Figura 73: Processo de recuperação praial (a) jazida de exploração (b) configuração final da praia de Ponta Negra



Fonte: Tetra Tech (2016)

Fonte: Fonte: Tetra Tech (2022)

Considerando que o volume de 1.004.000 m<sup>3</sup> foi calculado no EVTEA por TETRA TECH (2016), é preciso verificar nos projetos básicos e executivos se o volume de sedimentos está defasado, pois tem-se um intervalo de 06 (seis) anos desde o estudo e ao mesmo tempo uma praia que vivencia um processo erosivo diário com altas taxas de TLS (CHACÓN, 2013, ARAÚJO, 2015, VELOX, 2018).

O projeto de drenagem não foi modificado pelo EIA-RIMA, permanecendo o que foi proposto pela empresa LR Engenharia (2019). Desse modo, as águas pluviais ainda serão lançadas na superfície praial, caracterizando um ponto de fragilidade para a obra de engordamento e do muro de contenção.

Outra informação relevante abordada por TETRA TECH (2022) no RIMA, a respeito da obra de enrocamento complementar, é que dos 2,0 km de muro de contenção propostos para esse projeto (final do enrocamento de rochas granitoides ao final do Hotel *Serhs*), cerca de 812,00 m, que contemplam as contenções privadas dos Hotéis do final de Ponta Negra e início da Via Costeira, já é considerado um trecho com estrutura construída, restando a necessidade de execução de apenas 1.195,80 m (Figura 74). Todavia, as contenções dos hotéis não estão de acordo com o padrão necessário para uma boa comunicação com a obra de engordamento e de drenagem, permanecendo assim, mais uma fragilidade para a recuperação de Ponta Negra.

Figura 74: Trechos de construção do enrocamento complementar da praia de Ponta Negra e Via Costeira/RN



Fonte: TETRA TECH (2022)

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As praias de Ponta Negra e Via Costeira estão em estado de erosão intensa nas últimas décadas, como indicam os dados georreferenciamento comparados desde a década de 1980, e os projetos de recuperação tal como apresentados publicamente até o presente deixarão falhas relevantes que afetarão diretamente a vida útil da obra de contenção e de aterro hidráulico. Os trâmites administrativos para recuperação da orla marítima das praias de Ponta Negra e Via Costeira ocorrem de maneira demorada e se mostra ainda incompleta, como mostram os documentos oficiais da Prefeitura de Natal apresentados até o momento. Ainda há muitas lacunas no processo de recuperação, como a incondicional necessidade de integração dos projetos das três obras de recuperação das praias: obras de contenção, aterro hidráulico e sistema de drenagem pluvial.

Portanto, os projetos ainda não agregam o contexto evolutivo da praia, em estágio erosivo, e as soluções apontadas ainda se mostram deficitárias e/ou até inadequadas. O projeto do sistema de drenagem pluvial não soluciona todos os pontos de fluxo de água e o deságue ainda alcança a face praial, acelerando a retirada de sedimentos; não se verifica a interferência do sistema de esgotamento sanitário ainda interligado em muitos pontos ao sistema de drenagem pluvial. O projeto de enrocamento não abrange toda a extensão da linha de costa, permanecendo as contenções privadas dos hotéis, construídas à revelia do projeto de aterro hidráulico oficialmente planejado, o que prejudica intensamente a estabilidade sedimentar da praia atual e do futuro trecho aterrado. O projeto de engorda não trata, até o presente de uma obra de fechamento do aterro hidráulico, cuja função é a retenção de sedimentos continuamente remobilizados pelo clima de ondas e transportados pela corrente de deriva litorânea, o que pode reduzir demasiadamente o tempo de vida útil do aterro hidráulico.

Toda a delonga no planejamento das obras de recuperação prejudica o projeto na medida em que as variáveis da dinâmica natural da praia se tornam defasadas como, por exemplo, a definição do volume de sedimentos a ser repostos no trecho estabelecido para o aterro hidráulico, visto que a praia está em constante processo de erosão, como comprovado na análise da evolução da linha de costa, intensificada pelas obras de engenharia rígida instaladas de 2012 até o presente.

Qualquer processo de recuperação de praia eficiente carece de execução baseado em uma logística funcional, integrando todos os tomadores de decisões, e a ausência desse procedimento favorece o surgimento de muitas falhas e omissões na definição de pontos relevantes para o bom funcionamento da obra de recuperação. A procrastinação do processo reunida a alguns projetos insuficientes na abordagem de dados impede resultados satisfatórios. No contexto das praias de Ponta Negra e Via Costeira, os projetos têm suscitado divergências entre órgãos de execução e de fiscalização, o que gerou atrasos no fluxograma do planejamento.

Os resultados destacaram que o emprego de metodologias tradicionais para defesas costeiras não pode ser aplicado de forma indiscriminada, desconsiderando aspectos da geomorfologia e hidrodinâmica local e, sobretudo, sob as condições de energização da frequência e intensidade dos efeitos das alterações climáticas sobre as orlas marítimas, ou seja, desconsiderando a não-estacionariedade dos processos costeiros naturais. Portanto, em praias arenosas submetidas à intensa erosão, tornam-se evidentes e urgentes novas abordagens baseadas na gestão integrada da zona costeira, que ampliem a resiliência desse ambiente aos efeitos da emergência climática nas orlas

marítimas, quais sejam: o aumento do NMM, o aumento da frequência e magnitude das ondas e dos eventos extremos de precipitação.

Além disso, até o presente não foram apresentadas políticas de fiscalização e monitoramento do ambiente praias para antes e após o aterro hidráulico, assim como quais são as políticas de educação ambiental para a população em geral. Essa ausência permite que modificações indevidas sejam realizadas nos aterros e taludes, vindo a acentuar ainda mais o processo erosivo. Um plano de fiscalização e educação ambiental para conscientização da população local quanto às obras de recuperação deveria ter sido proposto no EIA-RIMA, sobretudo quanto ao uso e ocupação do solo na orla marítima.

Os métodos de geoprocessamento, baseados em visitas ao campo desde o Morro do Careca até o Hotel *Serhs*, permitiram a atualização do mapeamento e evolução da linha de costa. Mapas de caracterização dos diferentes setores destacaram áreas com modificações antrópicas: muros de contenções; enrocamento de rochas granitoides; contenção com blocos pré-moldados; degradação de áreas naturais; pontos de lançamento de água pluvial na face praias. Pelo menos até as intermediações do Hotel *Serhs*, a presença de uma linha de costa sem modificações é escassa. Um ponto relevante é que a construção de uma infraestrutura como o enrocamento nos trechos naturais (falésias e dunas), como entre o Hotel Ocean Palace e o Hotel *Serhs*, provavelmente atrairá a ocupação por comerciantes locais e turistas que irão modificar a paisagem natural e acentuar a erosão em locais que ainda possuem uma certa estabilidade. Esse incidente já ocorre nos trechos ao final do calçadão e início da nova estrutura de blocos pré-moldados, como descrito no Setor III. Portanto, faz-se necessária uma fiscalização mais notável e atuante.

Outro ponto intrigante é a alteração do Plano Diretor da cidade de Natal, que flexibilizou as restrições de ocupação do solo na orla marítima, criando abertura para urbanização de espaços que possuem boa parte de sua estrutura natural (fauna, flora e geomorfologia) em ambiente de estabilidade, como setores das praias da Via Costeira. Essa região necessita monitoramento efetivo para que não seja uma repetição de ações deletérias ocorridas na praia de Ponta Negra.

Os resultados contribuem para orientar o processo de planejamento de recuperação das praias de Ponta Negra e Via Costeira, de modo a servir de base para tomadas de decisões futuras. Ressalta-se que os dados meteoceanográficos e o estudo da linha de costa devem possuir um monitoramento contínuo para que os estudos da região costeira possam ter um maior embasamento técnico.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. R. R. C.; SILVA, D. F.; CRUZ, R. S.; TAVARES, A. C. F. Determinação da Vulnerabilidade Costeira em Praias Arenosas ao Sul de Alagoas – Brasil: Subsídio para Delimitação de Áreas de Proteção em Zonas Costeiras. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 21, n. 3, p. 179-192, 2021a. DOI 10.5894/rgci-n388

ALMEIDA, L. R.; AMARO, V. E.; MARCELINO, A. M. T; SCUDELARI, A. C. Avaliação do Clima de Ondas na Praia de Ponta Negra (RN, Brasil) utilizando o SMC-Brasil e sua contribuição para a gestão costeira. **Revista de Gestão Integrada da Zona Costeira**. V. 15, n. 2, p. 135-151, 2015.

ALMEIDA, L. P.; OLIVEIRA, I. E. DE; LYRA, RODRIGO; DAZZI, R. L. S.; MARTINS, V. G.; KLEIN, A. H. DA F. Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (*CASSIE*): shoreline management module. **Environmental Modelling & Software**, [S.L.], v. 140, p. 105033, jun. 2021b.

AMARAL, R. F. **Contribuição ao Estudo da Evolução Morfodinâmica do Litoral Oriental Sul do Rio Grande do Norte, entre Ponta de Búzios e Baía Formosa**. 1999. 252p. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

AMARO, V. E.; CARVALHO, R. C.; MATOS, M. F. A.; INGUNZA, M. D. P. D.; SCUDELARI, A. C. Avaliação da suscetibilidade do solo à erosão nas falésias do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 22, nº1, p. 03-25, 2021a. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1887/386386522>

AMARO, V. E.; GOMES, L. R. S.; LIMA, F. G. F; 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**. V. 38, n. 1, P. 1-25, Jun. 2014. DOI: 10.1080/01490419.2014.904257

AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C.; NEVES, C. F.; TABOSA, W. F.; LIMA, Z. M.; SANTOS Jr, O. F.; FERREIRA, A. T. S.; SANTOS, A. L. S.; BUSMAN, D. V. **Lauda Pericial – Item B: Indicação das obras emergenciais de contenção e reparação dos equipamentos públicos e de segurança dos frequentadores da Praia de Ponta Negra**. 254f. Natal. 2012.

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**, Caicó, v. 7, nº 2, p. 179-192, 2021b. DOI:10.21680/2447-3359.2021v7n2ID22034

ARAI, M. A Grande Elevação Eustática do Mioceno e Sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP**. São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, out. 2006. DOI: <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300002>

ARAÚJO, D. J. C. **Transporte longitudinal de sedimento na zona costeira de Natal**. 2015. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2015.

ARAÚJO, I. R. G.; GOMES E. R.; GONÇALVES, R. M.; QUEIROZ, H. A. A. Estimativa do Índice de Vulnerabilidade à Erosão Costeira (IVC) para o Litoral do Piauí, Brasil. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 20, n. 1, p. 105-118, 2019. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1260>.

ATAIDE, R. M. C.; SILVA, A. F. C.; BRASIL, A. B.; LEONCIO, E. M. C. G.; ANDRADE, S. A.; CAVALCANTI, S. M. O. L.; SILVA, R. O novo plano diretor de Natal: dois passos para trás e o que mais? In: **Reforma Urbana e Direito à Cidade: Natal**. 1 ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, v.14, p. 113-128, 2022a

ATAIDE, R. M. C.; LEONCIO, E. M. C. G.; ANDRADE, S. A.; SILVA, R. A extensão universitária e a luta pelo direito à cidade na revisão do Plano Diretor de Natal In: **Gestão Urbana, Projetos e Política Territorial**. 1 ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, v.1, p. 288-319, 2022b.

BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F. H. R.; TATUMI, S. H.; YEE, M.; GIANNINI, P.C.F. 2004. Geologia e Geomorfologia do Quaternário Costeiro do Estado do Rio Grande do Norte. **Geologia USP**. São Paulo, vol. 4, n. 2, p. 1-12, out. 2004.

BARROS, J. D.; FURTADO, M. L. S.; COSTA, A. M. B.; MARINHO, G. S.; SILVA, F. M. Sazonalidade do vento na cidade de Natal/RN pela distribuição de Weibull. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, nº 2, Edição Especial, p. 78-92, jul./dez. 2013.

BARROS P. L. A. **Obras de Contenção: Manual Técnico**. Jundiaí/Sp: Maccaferri, 2006.

BEZERRA, F.; AMARO, V.; VITA-VINZI, C.; SAAD, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 14, n. 1, p. 61–75, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(01\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(01)00009-8)

BORUFF, B.J.; EMRICH, C.; CUTTER, S. L. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. **Journal of Coastal Research**. Florida, v. 21, n. 5, p. 932 -942, 2005. DOI:10.2112/04-0172.1

BIRD, E. C. F. **Coastline changes**. New York, NY: Wiley and Sons, 1985.

BULHÕES, E. Erosão costeira e soluções para a defesa do litoral. In MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 655-688. ISBN: 978-65-992571-0-0.

BUSMAN, D. V.; AMARO, V. E.; PRUDÊNCIO, M. C. Comparison of Prognostic Models in Different Scenarios of Shoreline Position on Ponta Negra Beach in

Northeastern Brazil. **International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering** v. 8, n. 3, p. 170-174, 2014. ISNI:0000000091950263

BUSMAN, D. V. AMARO, V. E. SOUZA FILHO, P. W. M. Análise Estatística Multivariada de Métodos de Vulnerabilidade Física Em Zonas Costeiras Tropicais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v. 17, n. 3, 2016. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i3.912>

CAI, F., XIANZE, S.; LIU, J.; LI, B. LEI, G. Coastal erosion in China under the condition of global climate change and measures for its prevention. **Progress in Natural Science**, v. 19, n. 4, p. 415-426, abr. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.05.034>

CÂMARA, M. R. **Análise de recuo de falésias no litoral do Estado do Rio Grande do Norte**. 2019. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2019.

CÂMARA, I., HOLANDA, T., COSTA, M. Erosão e gestão costeira em praias protegidas por recifes no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 24, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i1.2189>.

CAVALCANTI, E. P., SILVA, B. B., SILVA, V. P. R., CHAVES FILHO, J. B. (2020). Variabilidade da Velocidade do Vento e Influências Oceânicas: Uma Abordagem Para Fins de Geração de Energia Elétrica no Nordeste do Brasil. **Anuário Do Instituto De Geociências**, v. 43. n. 1, p. 273-285, 2020. DOI: [https://doi.org/10.11137/2020\\_1\\_273\\_285](https://doi.org/10.11137/2020_1_273_285).

CECCARELLI, T. S. **Paradigmas para os projetos de obras marítimas no contexto das mudanças climáticas**. 125f. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

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. p.1041.

DOODY, P., FERREIRA, M., LOMBARDO, S., LUCIUS, I., MISDORP, R., NIESING, H., SALMAN, A., SMALLEGANGE, M. **Living with coastal Erosion in Europe: Sediment and space for sustainability**. Luxembourg, 21f., mai. 2004. Disponível em: [http://ec.europa.eu/environment/iczm/pdf/brochure\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/iczm/pdf/brochure_en.pdf)

FERNANDES, R., CAVALCANTE, M., CUNHA, G., PINTO, A., FRANÇA, C., Silva, J. M. C. I., NASCIMENTO, L., DIAS, N. S., OLIVEIRA, J. F. Geoprocessamento Aplicado A Análise De Erosão Costeira No Delta Do Piranhas-Açu, Rio Grande Do Norte. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 460-479, jul/set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020460-479>

FIRMINO, L. A. C, BULHÕES, E. M. A. Aspectos Das Ondas Oceânicas Em Áreas De Erosão Costeira: Litoral Do Espírito Santo, Brasil. **Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia**, v. 55, n. 113, p. 23-44, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18055/Finis13499>

FOTI, E. MUSUMECI, R. E. STAGNITTI, M. Coastal Defence Techniques and Climate Change: A Review. **Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali**, v. 31, p. 123–138, mar. 2020. <https://doi.org/10.1007/s12210-020-00877-y>

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção Muros de Arrimo**. Notas de Aula: Departamento de Estruturas e Fundações. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>. Acesso em: 25 de abril de 2023.

GRUPO DE INTEGRAÇÃO DO GERENCIAMENTO COSTEIRO – GIGERCO/CIRM. **Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira** – Brasília/DF, 111 p. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/destinacao-de-imoveis/arquivos/2018/guia-de-diretrizes-de-prevencao-e-protecao-a-erosao-costeira.pdf/view>

GONÇALVES, R. M.; AWANGE, J.; KRUEGER, C.P.; HECK, B.; COELHO, L. S. A comparison between three short-term shoreline prediction models. **Ocean & Coastal Management**, v. 69, p. 102-110, dec. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.07.024>.

HAPKE, C. J.; REID, D.; RICHMOND, B. M.; RUGGIERO, P.; LIST, J. National assessment of shoreline change: Part 3: Historical shoreline change and associated coastal land loss along sandy shoreline of the California Coast. **U.S. Geological Survey Open-file Report**, 79f, 2006-1219. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/2006/1219/of2006-1219.pdf>

IBGE. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/biomass/#/home>

INTEGRAL ENGENHARIA E SOLUÇÕES AMBIENTAIS. **Resposta a Informação Técnica N° 134/2020/NAOP Enrocamento Da Praia De Ponta Negra**. Natal, 2020.

KUDRYAVTSEV, S.; SHIN, E.C.; KIM, S.H.; HAKAM, A.; ISTIJONO, B.; YOO, C.; ZHUSSUPBEKOV, A. Erosion Problems of Shoreline and Counter Measurement By Various Geomaterials. **MATEC Web of Conferences**, v. 265. Jan. 2019. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926501010>.

MACIEL, A. B. C. **Praia de Ponta Negra: uma abordagem da paisagem costeira de 1970 a 2010**. Natal/RN. 2011. 171f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.

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, n. 1, Jan./Mar. 2022. DOI: 10.20502/rbg.v23i1.1953.

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**. v. 21, n. 1, 2020. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1507>

MCLACHLAN, A.; BROWN, A. **The Ecology of Sandy Shores**. New York: Academic Press, 2006.

MEDEIROS, E. C. S., PANTALENA, A. F., MIOLA, B., LIMA, R. S., SOARES, M. O. Percepção ambiental da erosão costeira em uma praia no litoral do Nordeste do Brasil (Praia da Taíba, CE). **Revista De Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n.3, p. 471-482, 2014. DOI:10.5894/rgci488

MESQUITA, A. R. Sea Level Variations Along the Brazilian Coast: A Short Review. **Journal of Coastal Research**. Itajaí, v. 35, p. 21-31, 2003. <https://www.jstor.org/stable/40928745>

MENEZES, A. F.; PEREIRA, P. S.; GONÇALVES, R. M.; ARAÚJO, T. C. M.; SOUSA, P. H. G. O. Análise Da Vulnerabilidade À Erosão Costeira Através De Geoindicadores Nas Praias De Piedade E Paiva (PE), Brasil. **Geociências**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 455-465, 2018. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/12859/12452>

MOTA, L. S. O. SOUZA, R. M. Vulnerabilidade À Erosão Costeira E Riscos Associados À Ocupação: Estudo De Caso Do Município De Aracaju/Sergipe, Brasil. RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. **Territorium**, v. 25, n. 1, 2018, 89-102. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_25-1\\_7](https://doi.org/10.14195/1647-7723_25-1_7)

MOTTA, P. R. NETTO, L. R. BASTOS, E. B. PEREIRA, T. G. BULHÕES, E. M. R. Distribuição E Transporte De Sedimentos Costeiros Exemplos Em Arraial Do Cabo, RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 19, n. 2, 2018. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1277>

MORRIS, R L., KONLECHENER, T. M. GHISALBERTI, M., SWEARER, S. E. Rebecca L. From grey to green: Efficacy of Eco-Engineering Solutions for Nature-Based Coastal Defence. **Global Change Biology**, v. 24, n. 5, p.1827–1842. mai. 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14063>

MUEHE, D. **O Sistema Praial: formas, termos, processos e medição. Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. P. 27-55. ISBN 978-65-992571-0-0

MUEHE, D. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira Para Fins De Gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 35-44, dez. 2001. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v2i1.6>

NASCIMENTO, L., BITTENCOURT, A., SANTOS, A., & DOMINGUEZ, J. Potencial De Prejuízos Econômicos Em Função Da Densidade De Urbanização E Da Sensibilidade À Erosão Costeira Na Costa Do Cacau - Bahia. **Revista Brasileira De**

**Geomorfologia**, v. 14, n. 4, p.261-270, out./dez. 2013. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/175/344>

NATAL. **LEI COMPLEMENTAR N ° 208 DE 07 DE MARÇO DE 2022**. Natal: Câmara Municipal de Natal, 2021.

NEUMANN, V. H., J. A. BARBOSA, M. V. N. SILVA, A. N. SIAL, AND M. LIMA-FILHO. Sedimentary development and isotope analysis of deposits at the Cretaceous/Paleogene transition in the Paraíba Basin, NE Brazil. **Geologos**, v. 15, n. 2, p.103–113, 2009.

NEVES, C. F. MUEHE, D. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira**. Parcerias Estratégicas. Brasília-DF. n. 27, p. 217-295, Dez. 2008.

NOBRE, C. A. **Mudanças climáticas e o Brasil: Contextualização**. Parcerias Estratégicas. Brasília-DF. n. 27, P. 7-17, Jun. 2008.

NORDSTROM, K. F. 2014. Living with shore protection structures: a review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 150 (A), p. 11–23. Out. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.11.003>

PIERRI, G. C. S. **Análise De Risco a Erosão Costeira na Região de Tibau do Sul/RN, Através de Mapeamento Geoambiental e Análises Morfodissemica**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica e Geodinâmica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

PREMIER ENGENHARIA LTDA. **Projeto para construção da obra de contenção costeira e estabilização de linha de costa de concreto ou similar em trecho da orla da praia de Ponta Negra – Natal – RN**. Recife, PE. 2021.

RIBEIRO, F. **Caracterização das Correntes da Plataforma Continental Interna da Praia de Ponta Negra**. 2014. 54f. Monografia (Bacharelado em Oceanografia). Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

SMC-BRASIL. **Projeto SMC-Brasil: recuperação de praias: documento temático**. Brasília, DF: MMA, 2018.

REIS, C. M. M.; FEITOSA, A. P. C.; REIS, A. L. Q. Uso de Geoindicadores Como Alternativa Para Estudo Da Erosão Costeira No Litoral da Paraíba. **OKARA: Geografia Em Debate**, João Pessoa, v. 13, n. 1, p. 194-215, 2019.

SANTOS JÚNIOR, O. F.; COUTINHO, R. Q.; SEVERO, R. N. F. Propriedades geotécnicas dos sedimentos da formação barreiras no litoral do Rio Grande do Norte. **Geotecnia** (Lisboa), v. 134, p. 87-108, 2015. Disponível em: <https://spgeotecnia.pt/uploads/jgeot201513405.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2020.

SCUDELARI, A. C.; NEVES, C. F.; AMARO, V. E.; SANTOS, O. F. Ponta Negra Beach, Natal, Brazil: A Roll and Rock Story. **Journal of Coastal Research**, Edição Especial, n. 75, p. 815-819, 2016. DOI:10.2112/SI75-164.1

SCHIPPER, M. A.; de VRIES, S.; RUESSINK, G., de ZEEUW, R. C.; RUTTEN, J.; VAN GELDER-MAAS, C.; STIVE, M. J. F. Initial spreading of a mega feeder nourishment: observations of the sand engine pilot project. **Coastal Engineering**, v. 111, p. 23–38, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.10.011>.

SILVA, C. H. S.; LIMA, I. M. M. F.; Evolução geomorfológica recente da falésia de Itapari, São José de Ribamar-MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.06, p. 1859-1874, 2017.

SILVA, F. J. O. **Análise da vulnerabilidade de Natal/RN frente às mudanças climáticas**. 2012. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

SOUSA, N. M. B. **Obras Marítimas de Acostagem: O caso do Porto de abrigo da ilha do Porto Santo**. 179f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade da Madeira, Portugal, 2011.

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**. v. 17, p. 11-23, 2005. DOI: 10.7154/RDG.2005.0017.0001.

TETRA TECH. **Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental e Respectivos Projetos da Obra de Contenção da Erosão na Praia de Ponta Negra, Natal (RN)**. Natal, 2016.

TETRA TECH. **Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental - Projeto De Recuperação da praia de Ponta Negra - Obras de Contenção da Erosão Costeira**. São Paulo. 2022.

VEDANA, J., CANTO, M. P., SCHVAMBACH, A. Relação da intensidade e direção do vento com a maré meteorológica. **Metodologias e Aprendizado**, v. 4, p. 73-81, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21166/metapre.v1i.1455>

VELOX – CONSTRUÇÕES E INCORPORAÇÕES LTDA. **Projeto Básico e Plano Básico Ambiental para complementação do enrocamento aderente na Praia de Ponta Negra**. Olinda, PE. 2018.

VITAL, H., 2006, **Erosão e Progradação no litoral do Rio Grande do Norte**, in: Muehe, D., ed., **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, p.156-172.

VOUSDOUKAS M. I.; VOUKOUVALAS, E.; ANNUNZIATO, A.; GIARDINO, A.; FEYEN, L. Projections of Extreme Storm Surge Levels Along Europe. **Climate Dynamics**. V. 47, p. 3171–3190, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3019-5>

VOUSDOUKAS, M. I., MENTASCHI, L., VOUKOUVALAS, E., VERLAAN, M., JEVREJEVA, S., JACKSON, L.P., FEYEN, L. Global Probabilistic Projections of Extreme Sea Levels Show Intensification of Coastal Flood Hazard. **Nature Communications**. V. 9 (2360), 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w>

WILLIAMS, A. T.; RANGEL-BUITRAGO, N.; PRANZINI, E.; ANFUSO, G. The Management of Coastal Erosion. **Ocean & Coast Management**, v. 156, p. 4–20, abr. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.022>.