



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

MICHEL RODRIGUES CAMARA

**ANÁLISE DE RECUO DE FALÉSIAS NO
LITORAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO
NORTE**

**Natal
2018**

MICHEL RODRIGUES CAMARA

**ANÁLISE DO RECUO DE FALÉSIAS NO
LITORAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO
NORTE**

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

Orientadora: Prof. Dr. Ada
Cristina Scudelari

**Natal
2018**

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

Camara, Michel Rodrigues.

Análise de recuo de falésias no litoral do Estado do Rio Grande do Norte / Michel Rodrigues Camara. - 2019.
129f.: il.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CTEC, Pós Graduação em Engenharia Civil, Natal, 2019.
Orientadora: Dra. Ada Cristina Scudelari.

1. Erosão costeira - Dissertação. 2. Checklist - Dissertação.
3. DSAS - Dissertação. I. Scudelari, Ada Cristina. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624

Elaborado por RAIMUNDO MUNIZ DE OLIVEIRA - CRB-15/429

MICHEL RODRIGUES CAMARA

**ANÁLISE DO RECUO DE FALÉSIAS NO LITORAL DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO NORTE**

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

Natal, ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa.Dra. Ada Cristina Scudelari
Orientadora

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro
Co-Orientador

Profa..Dra. Maria de Fátima Alves de Matos
Examinadora Interna

Prof..Dr. Ricardo Nascimento Flores Severo
Examinador Externo (IFRN)

"Um muro não nasce pronto, tem que ser
feito tijolo por tijolo." – Will Smith.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Profa. Dra. Ada Cristina Scudelari, pela confiança depositada, paciência e sua valorosa orientação, essencial para a conclusão desta pesquisa. A sua experiência e sabedoria tornou essa jornada mais acessível e o seu jeito positivo, divertido e energizante tornou a jornada mais prazerosa.

Ao meu co-orientador, professor Dr. Venerando Eustáquio Amaro, pelos ensinamentos, paciência, atenção, carinho e incentivos prestados. Mais uma vez sendo uma das pessoas mais importantes para minha evolução acadêmica e profissional.

A Profa. Dra. Maria de Fátima Alves de Matos, pelos trabalhos fornecidos os quais me ajudaram muito e pela enorme força desde o início dessa jornada na Pós-Graduação. Se antes eu já tinha grande admiração e respeito pela profissional, hoje sinto um imenso carinho pela pessoa.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRN, as suas experiências são bastante enriquecedoras e ajudam muitos alunos na conclusão de suas pesquisas.

Aos funcionários do Programa de Pós-graduação, em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Principalmente as secretárias bolsistas pela atenção e calma dispensados a todos aqueles que visitam a secretaria do Programa.

Aos novos amigos que fiz durante o Curso de Pós-Graduação. Obrigado pelas contribuições realizadas nesta dissertação, e na minha vida.

A Matheus Prudêncio nas incríveis orientações e conhecimentos doados referentes a ferramenta DSAS.

A minha família que são o meu alicerce e o meu bem maior, além da força, do amor e do apoio que sempre dedicaram a mim.

A CAPES, pela sua atuação no desenvolvimento da ciência brasileira.

Análise do Recuo de Falésias do Estado do Rio Grande do Norte

RESUMO

No Litoral do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, a erosão costeira gera diversos problemas, especialmente no município de Tibau do Sul, onde a movimentação turística e a intensa especulação imobiliária ocasionam diversos conflitos ambientais. Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento através de Processamento Digital de Imagens e Sistema de Informações Geográficas na análise multitemporal através da ferramenta DSAS (Sistema de Análises de Linha de Costa) em escala de 3 décadas, utilizando imagens de sensores remotos de resolução espacial de 30 metros e 5 metros para identificar as áreas que tiveram recuo erosivo de falésia no litoral do Estado do Rio Grande do Norte, mensurando o recuo e a descaracterização desses ambientes. Foram destacadas 5 áreas com recuos erosivos em falésias de até 101,1 metros pondo em risco áreas de forte ocupação urbana, infraestruturas diversas e vias de acesso. Em seguida, utilizando o mesmo método, foi realizado uma análise multitemporal em escala 1 década utilizando imagens de sensores remotos de resolução espacial de 1 metro no município de Tibau do Sul, identificando trechos que obtiveram recuo erosivo de até 1,99 metros. Posteriormente para identificação e caracterização dos processos erosivos atuantes na área de estudo, foi utilizado o *checklist* adaptado às feições costeiras existentes na área de pesquisa, ou seja, costa com falésias elaborado por Braga (2005). Por fim, fez se uma comparação das informações obtidas no *checklist* do mesmo autor em sua visita a campo em 2004 com os dados obtidos no *checklist* na atualidade, identificando as áreas que ainda estão em processo contínuo de erosão marinha e/ou pluvial como as áreas em que foi identificado um equilíbrio na dinâmica, mantendo-se estável. Além de outros trechos que antigamente apresentava apenas um tipo de erosão principal e atualmente dois tipos de erosão principais. Verificou-se que o *checklist* é uma ferramenta adequada na identificação de processos erosivos marinhos e pluviais, dinamizando de forma organizada a coleta e análise das informações referentes à área de atuação e características desencadeadoras da erosão costeira. Tais informações servem como subsídio para a gestão costeira nesses ambientes costeiros do litoral do Rio Grande do Norte.

PALAVRAS CHAVE: DSAS; *Checklist*; RN; Erosão Costeira.

Analysis of the Recession of Cliffs of the State of Rio Grande do Norte

ABSTRACT

On the Coast of the State of Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil, coastal erosion generates several problems, especially in the municipality of Tibau do Sul, where the tourist movement and the intense real estate speculation cause several environmental conflicts. Geoprocessing techniques were utilized through Digital Image Processing and Geographic Information System in the multitemporal analysis through the DSAS (Digital Shoreline Analysis System) tool in a scale of 3 decades, using images of remote sensors of spatial resolution of 30 meters and 5 meters to identify the areas that had erosive retreat of cliffs in the coast of the State of Rio Grande do Norte, measuring the retreat and the characterization of these environments. Five areas with erosive retreats were highlighted in cliffs of up to 101.1 meters, putting at risk areas of heavy urban occupation, diverse infrastructures and access roads. Then, using the same method, a 1-year multitemporal analysis was performed using remote sensing images of 1-meter spatial resolution in the city of Tibau do Sul, identifying stretches that obtained erosive retreat of up to 1.99 meters. Later, for the identification and characterization of the erosive processes in the study area, the *checklist* adapted to the coastal features in the research area was used, that is, coast with cliffs elaborated by Braga (2005). Finally, a comparison was made of the information obtained in the *checklist* of the same author in his field visit in 2004 with the data obtained in the *checklist* at the present time, identifying the areas that are still in continuous process of coastal and / or pluvial erosion as the areas in which a balance in the dynamics was identified, remaining stable. In addition to other stretches that formerly presented only one type of main erosion and currently two major types of erosion. It was verified that the *checklist* is an adequate tool in the identification of coastal erosive processes and pluvial, organizing in an organized way the collection and analysis of the information regarding the area of action and characteristics that trigger coastal and rain erosion. Such information serves as a subsidy for coastal management in these coastal environments of the Rio Grande do Norte coast.

KEYWORDS: DSAS; *Checklist*; RN; Coastal Erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Mapa de localização da área de estudo na primeira etapa da pesquisa, o litoral do Estado do Rio Grande do Norte – Brasil.	03
Figura 1.2.	Mapa de localização da segunda etapa da pesquisa, as falésias de Tibau do Sul ao sul do município de Natal/RN.	04
Figura 2.1.	Divisão das bacias Pernambuco, Paraíba e Potiguar.	06
Figura 2.2.	Estratigrafia Simplificada da Bacia Potiguar e da Plataforma de Natal, porção norte da Bacia Pernambuco-Paraíba, zona litorânea do Estado do Rio Grande do Norte.	08
Figura 2.3.	Estratigrafia Simplificada da Bacia Potiguar e da Plataforma de Natal, porção norte da Bacia Pernambuco-Paraíba, zona litorânea do Estado do Rio Grande do Norte.	09
Figura 2.4.	Mapa Geológico simplificado da área de estudo na linha de costa do Município de Tibau do Sul, litoral oriental do Rio Grande do Norte. A numeração (1), (2), (3), (4) indica onde as fotografias das falésias foram tiradas na linha de costa da área de estudo e são referentes as figuras 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8 respectivamente que mostrarão em detalhes a litologia dessas falésias.	10
Figura 2.5.	Perfil geológico da falésia no extremo norte da área, localizado na sede de Tibau.	11
Figura 2.6.	Segundo perfil litológico descrito das falésias de Tibau do Sul.	12
Figura 2.7.	Terceiro perfil litológico descrito das falésias, na Ponta do Canto, próximo à cidade de Pipa.	13
Figura 2.8.	Quarto perfil litológico descrito das falésias, próximo à cidade de Simbaúma, no extremo Sul da área de estudo	14
Figura 2.9.	Variação litológica horizontal da linha de costa: (A) próximo a Pipa; (B) a sul da sede de Tibau do Sul.	14

Figura 2.10.	Arenito de Praia na área de estudo. No “A” apresenta o arenito emerso na maré baixa, enquanto que no “B” observa-se as estruturas de baixo ângulo cruzada acanalada, tabular e plano-paralela.	15
Figura 2.11.	Limites da região de praia, de acordo com a classificação de Emery (1960).	16
Figura 2.12.	Depósitos Eluvial ou Gravitacional, geradores dos depósitos de Talus. (A) observa-se tanto os antigos na coloração esbranquiçada como o mais recente na coloração vermelho escuro, próximo à sede de Tibau do Sul. (B) é evidenciado um depósito recente na praia da Cancela, à Oeste da cidade de Pipa.	17
Figura 2.13.	Sequência de baías em forma de zeta no litoral oriental do RN.	19
Figura 2.14.	Linha de costa desde o município de Baía Formosa até o sul de Parnamirim.	22
Figura 2.15.	Principais falésias, beach rocks e praias intermediárias e refletivas no litoral sul oriental do Estado, em Baía Formosa e Tibau do Sul.	22
Figura 2.16.	Linha de costa desde o município de Nísia Floresta até o sul de Ceará-Mirim	23
Figura 2.17.	Principais falésias, beach rocks e praias intermediárias e refletivas no litoral sul oriental do Estado, Parnamirim	23
Figura 2.18.	Mapa apresentando a linha de costa desde o município de Ceará-Mirim até Pedra Grande.	24
Figura 2.19.	Principais falésias, beach rocks e praias intermediárias e refletivas no litoral sul oriental do Estado, Rio do Fogo e Touros.	24
Figura 2.20.	Linha de costa desde o município de Pedra Grande até Macau.	25
Figura 2.21.	Principais falésias, pontais, ilhas barreiras e praias refletivas no litoral sul setentrional do Estado, Macau.	25
Figura 2.22.	Linha de costa desde o município de Macau até Tibau.	26
Figura 2.23	Praias expostas com falésia viva com e campos de dunas barcanas e barcanóides e falésias mortas com vegetação.	26

Figura 2.24.	Mapa Geomorfológico simplificado da área de estudo na linha de costa do Município de Tibau do Sul, litoral oriental do Rio Grande do Norte. A numeração (1), (2), (3), (4) e (5) representam onde as fotos dessas paisagens foram tiradas dentro da área de estudo.	28
Figura 2.25.	Chapadões exumados ao Sul do litoral de Tibau do Sul/RN. A) localizado ao Sul da área de Estudo. B) localizado próximo a cidade de Pipa, porção central da área de estudo	29
Figura 2.26.	Falésias vivas (ativas). A) observa-se a planície de abrasão na base da falésia localizada próxima ao rio Catu. B) observa-se o terraço marinho entre a falésia viva e o mar na maré baixa.	29
Figura 2.27.	Ambas as falésias recuadas apresentando planície praial e cobertura vegetal densa.	30
Figura 2.28.	Uma região, entre dois trechos de costa marcada por falésias, onde a planície sublitorânea é caracterizada por um campo de dunas e paleodunas vegetadas que estão sendo separadas da planície praial por um cordão de dunas frontais vegetadas.	30
Figura 2.29.	Em ambas as figuras (A) e (B), extensas paleodunas com vegetação arbórea arbustivo sobre a falésia, enquanto que na base da mesma, dunas primárias de médio porte vegetadas e na planície praial, dunas embrionárias com vegetação incipiente.	31
Figura 4.1	Organograma da metodologia aplicada.	61
Figura 4.2	Imagem original, com baixo contraste entre as rochas da falésias e os corpos dunares. B) Imagem com processamento digital RGBI: R(3/2), G4, B1, I(5/2).	65
Figura 4.3	A) Imagem de satélite QUICKBIRD de 2013 com escala 1:2.000 do litoral de Tibau do Sul apresentando a borda da falésia B) Mapa da mesma área com escala de 1:500 apresentando o que é o transecto, a baseline e o método estatístico EPR através das linhas de costa.	67

Figura 4.4	Mapa do litoral de Tibau do Sul com escala de 1:500 apresentando o que é o transecto, a baseline e o método estatístico LRR através das linhas de costa.	68
Figura 5.1.	Mapa de localização da área de estudo com identificação das cinco áreas que tiveram recuo erosivo ao longo do litoral do RN-Brasil.	71
Figura 5.2.	Recuo da borda de falésias no município de Porto do Mangue entre os anos de 1984 até 2014.	72
Figura 5.3	Gráfico dos transectos que apresentaram as maiores e menores taxas de recuo da linha de borda da falésia em Porto do Mangue, entre os anos de 1984 e 2014.	73
Figura 5.4.	Gráfico da taxa de regressão linear de Porto do Mangue apresentando a equação de regressão linear de $y = -3.716x + 7614$. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa -3.71m/ano . O LR^2 foi de 0.98.	73
Figura 5.5.	Recuo da borda de falésias no município de Touros entre os anos de 1986 até 2014.	74
Figura 5.6.	Recuo da borda de falésias no município de Touros entre os anos de 1986 até 2014	75
Figura 5.7.	Gráfico da taxa de regressão linear de Touros apresentando a equação de regressão.	76
Figura 5.8.	Taxa de recuo da borda de falésias no município de Parnamirim entre os anos de 1986 até 2014	76
Figura 5.9.	Gráfico da taxa de LRR de Parnamirim (Barreira do Inferno) apresentando a equação de regressão linear de $y = -1.0693x + 2159.6$, taxa de -1.06m/ano e o LR^2 foi de 0.98..	77
Figura 5.10.	Área total de recuo da borda da falésia na porção Norte da Barreira do Inferno, município de Parnamirim entre os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986, 2004 e 2014.	77

Figura 5.11.	Área total de recuo da borda da falésia na porção Sul da Barreira do Inferno, município de Parnamirim entre os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986, 2004 e 2014.	78
Figura 5.12.	Área total de recuo da borda da falésia na porção Norte de Tibau do Sul, desde os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986 e 2014.	79
Figura 5.13.	Área total de recuo da borda da falésia na porção Sul de Tibau do Sul, desde os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986 e 2014.	79
Figura 5.14.	Recuo da borda de falésias no município de Tibau do Sul entre os anos de 1986 até 2014.	80
Figura 5.15.	Gráfico da taxa de LRR de Tibau do Sul apresentando a equação de regressão linear de $y = -2.4356x + 4921.5$, taxa de -2.436m/ano e o LR^2 foi de 0.97.	80
Figura 5.16.	Área total que sofreu recuo da borda da falésia em Baía Formosa, nos anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986 e 1994, 2004 e 2014.	81
Figura 5.17	Recuo da borda de falésias no município de Baía Formosa entre os anos de 1986 até 2014.	82
Figura 5.18.	Gráfico da taxa de LRR de Baía Formosa apresentando a equação de regressão linear de $y = -0.8645x + 1740.9$, taxa de -0.86m/ano e o LR^2 foi de 0.54.	82
Figura 5.19.	Imagens de um pequeno trecho, na escala de 1:4.000, das falésias de Tibau do Sul apresentadas pelo sensor Quickbird nos anos de 2003, 2008 e 2013 respectivamente.	83
Figura 5.20.	Gráfico da porcentagem da linha de costa com falésia que recuou ao longo de 10 anos, entre 2003 e 2013, em Tibau do Sul/RN.	84
Figura 5.21.	Mapa das áreas que apresentaram recuo de falésia, com os subtrechos que tiveram mais linha de costa recuada (C01 e C03) e os subtrechos que não tiveram recuo entre os anos de 2003 a 2013.	85

Figura 5.22.	Mapa das áreas que sofreram recuo de falésia, com os subtrechos que tiveram o maior recuo erosivo em sua linha de costa (N02, C03 e S02) entre os anos de 2003 a 2013.	86
Figura 5.23.	Gráfico da taxa de LRR de Tibau do Sul apresentando a equação de regressão linear de $y = -0.637x + 1298.7$, taxa de -0.63m/ano e o LR^2 foi de 0.98.	87
Figura 5.24.	Gráfico da porcentagem de transectos e suas constantes LR^2 obtidas através da Taxa de Regressão Linear.	87
Figura 5.25.	Definição dos sub-trechos. Fonte: Amaral (2001).	88
Figura 5.26.	A) Proteção de enrocamento de pedra (marroada) na base da falésia em 2004. B) Mesmo local apresentando ausência do enrocamento em 2018.	90
Figura 5.27.	A) Vista geral do sub-trecho N01 apresentando ausência de pequenas cavernas no sopé da escarpa, em 2004. B) Mesmo local apresentando ausência de cavernas e vegetação na base da falésia, em 2018.	90
Figura 5.28.	Grandes depósitos de Tálus recentes na cor vermelho escuro e depósitos antigos na cor rosa esbranquiçado, com blocos de rochas de diferentes tamanhos, provenientes de fluxo de grãos e fluxo gravitacional provocados pela erosão pluvial.	91
Figura 5.29.	A) Ravina no topo e face da falésia no sub-trecho N02, em 2004. B) Mesma ravina maior e mais erodida, em 2018.	92
Figura 5.30.	A) Ravina criada pelo dispositivo de drenagem no sub-trecho N02, em 2004. B) Mesma ravina maior e mais erodida, em 2018.	93
Figura 5.31.	A) Perfil praial no sub-trecho N03 apresentando boa extensão de praia, presença de bermas e forte vegetação na base e face da falésia, em 2004. B) Mesma área apresentando um aumento na intensidade de vegetação, em 2018.	94
Figura 5.32.	Forte desenvolvimento de bermas na faixa de praia próximo a Ponta do Madeiro, porção Sul do sub-trecho N03, em 2018.	95
Figura 5.33.	A) Vista geral do sub-trecho C01 apresentando boa extensão de praia, presença de bermas e forte vegetação na base e face da falésia, em 2004. B)	97

Mesma área apresentando uma diminuição na intensidade de vegetação na porção central da falésia, em 2018.

Figura 5.34.	A) Movimento de massa no final do sub-trecho C01 com depósito de talus de aproximadamente 1,5 m de altura na base da falésia, em 2004. B) Mesma área apresentando significativo recuo erosivo na borda da falésia e depósito de massa com mais de 8 metros de altura, em 2018.	98
Figura 5.35.	A) Planície de escoamento com ravinas e s no topo da falésia no sub-trecho S01, em 2004. B) Mesma área com ravinas mais longas e profundas, em 2018.	100
Figura 5.36.	A) Incisões em forma de pequenas cavernas na base da falésia, início do sub-trecho C02, em 2004. B) Mesma área com as incisões mais profundas, em 2018.	100
Figura 5.37.	– A) Passeio protegido com enrocamento no centro do sub-trecho C02, em 2004. B) Mesma área com a escada que dá acesso à praia danificada e ausência de enrocamento de proteção do passeio, em 2018.	101
Figura 5.38.	A) Obras de proteção costeira, em 2004. B) Mesma área com as obras de proteção erodidas nos muros mas ainda de pé, em 2018.	101
Figura 5.39.	A) Residência sendo construída na face da praia com enrocamento já instalado, em 2018. B) Residências e restaurantes com enrocamento recém instalado, em 2018.	102
Figura 5.40.	A) Base e face da falésia no sub-trecho C03, em 2004. B) Mesma área mantendo a mesma cobertura vegetal, em 2018.	103
Figura 5.41.	A) Planície de escoamento com ravinas no topo da falésia no sub-trecho C03, em 2004. B) Mesma área apresentando poucas mudanças devido ao processo erosivo pluvial, em 2018.	104
Figura 5.42.	A) Planície de escoamento com ravinas no topo da falésia no sub-trecho S01, em 2004. B) Mesma área com ravinas mais longas e profundas, em 2018	106

Figura 5.43.	A) Base das falésias com extensa faixa de praia e proteção natural de arenitos no sub-trecho S01, em 2004. B) Mesma área apresentando suaves mudanças, em 2018.	107
Figura 5.44.	A) Perfil praial apresentando proteção natural na base das falésias no sub-trecho S02, em 2004. B) Mesma área apresentando suaves mudanças, em 2018.	109
Figura 5.45.	A) Grande ravina no final de sub-trecho S02, em 2004. B) Mesma área apresentando aumento da ravina e consequente aumento do recuo da linha da borda da falésia, em 2018.	109
Figura 5.46.	A) Pequenos canais indicativos de erosão pluvial no sub-trecho S03, em 2004. B) Mesma área apresentando grande ravina, em 2018.	111
Figura 5.47.	A) Terraço de abrasão aflorando e incisões na base da falésia no sub-trecho S03, em 2018.	111
Figura 5.48.	A) Obras e estruturas danificadas devido a erosão no sub-trecho S03, em 2018. B) Estrutura de drenagem provocando erosão na base da falésia, em 2018.	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Resumo dos principais compostos químicos presentes nas amostras dos blocos e da camada fortemente cimentada. Fonte: Severo (2011).	32
Tabela 02	Coeficiente de permeabilidade em campo. Fonte: Severo (2005).	36
Tabela 03	Observações visuais de ondas. Fonte: Amaro et al. (2012).	44
Tabela 04	<i>Checklist</i> proposto. Fonte: Braga (2005).	52
Tabela 05	<i>Checklist</i> de nivelamento topográfico. Fonte: Adaptado de Nunes (2010).	54
Tabela 06	Fatores considerados na avaliação da vulnerabilidade e seus pesos iniciais	55
Tabela 07	Ficha dos pontos de interesse de Geodiversidade	56
Tabela 08	Ficha de caracterização ambiental. Fonte: Rabelo (2018).	58
Tabela 09	Ficha de descrição de amostras. Fonte: Rabelo (2018).	59
Tabela 10	Características de aquisição dos sensores e imagens ópticas que foram utilizadas para a análise multitemporal do litoral do RN.	62
Tabela 11	<i>Checklist</i> do sub-trecho N01	91
Tabela 12	<i>Checklist</i> do sub-trecho N02	93
Tabela 13	<i>Checklist</i> do sub-trecho N03.	95
Tabela 14	<i>Checklist</i> do sub-trecho C01.	98
Tabela 15	<i>Checklist</i> do sub-trecho C02.	102
Tabela 16	<i>Checklist</i> do sub-trecho C03.	105
Tabela 17	<i>Checklist</i> do sub-trecho S01	108
Tabela 18	<i>Checklist</i> do sub-trecho S02.	110
Tabela 19	<i>Checklist</i> do sub-trecho S03.	112

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS	XVI
1. INTRODUÇÃO	1
2. ASPECTOS FISIOGRAFICOS DA ÁRE DE ESTUDO	5
2.1 GEOLOGIA	5
2.1.1 <i>Geologia Regional</i>	5
2.1.2 <i>Geologia Local</i>	9
2.2. GEOMORFOLOGIA.....	17
2.2.1 <i>Geomorfologia Regional</i>	17
2.2.1 GEOMORFOLOGIA LOCAL	27
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	50
3.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL.....	50
3.2 <i>CHECKLIST</i> DE LINHAS DE COSTA.....	51
4. METODOLOGIA.....	60
5. APLICAÇÃO E RESULTADOS	71
5.1 APLICAÇÃO DO DSAS NAS FALÉSIAS DO RIO GRANDE DO NORTE	71
5.1.1 <i>Taxa de Recuo das Falésias em Porto do Mangue</i>	72
5.1.2 <i>Taxa de Recuo das Falésias de Touros</i>	74
5.1.3 <i>Taxa de Recuo das Falésias de Parnamirim</i>	75
5.1.4 <i>Taxa de Recuo das Falésias de Tibau do Sul</i>	78
5.1.5 <i>Taxa de Recuo das Falésias de Baía Formosa</i>	80
5.2 DSAS EM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL - TIBAU DO SUL	82
5.3 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS ATRAVÉS DE <i>CHECKLIST</i> DE FALÉSIA	88
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	113
REFERÊNCIAS	117

1. INTRODUÇÃO

A importância socioambiental dos setores costeiros pode ser evidenciada em diversos aspectos, como pela Biodiversidade, que abriga diversas espécies de fauna e flora, e igualmente pela Geodiversidade, que apresenta aspectos diferenciados, principalmente em relação às características geológicas e geomorfológicas (Rabelo, 2018).

Quanto às características geológicas e geomorfológicas, o ambiente costeiro é constituído por uma grande variedade de formas de relevo, reveladas nos aspectos de tamanhos e formas que variam desde praias suavemente inclinadas às falésias. Especialmente as falésias são fortemente influenciadas pela geologia das regiões costeiras, em particular, as feições estruturais e as litologias nas formações rochosas aflorantes na costa e sua resposta aos processos de erosão (Bird, 2008).

As formações rochosas de diferentes idades, desde o Pré-cambriano (aproximadamente 560 milhões de anos) até o Holoceno, afloram nas costas de todo o mundo, mas a maioria das falésias foi moldada durante o Pleistoceno e o Holoceno, principalmente, nos últimos 6.000 anos, quando o mar permaneceu próximo ao seu nível atual (Bird, 2016). Embora muitos autores tenham contribuído nas últimas décadas com o conhecimento de sua origem e formação (Emery e Kuhn, 1982; Guilcher, 1985; Trenhaile, 1987; Griggs e Trenhaile, 1994; Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010; Sunamura, 2015; Bird, 2016), as falésias começaram a ser estudadas mais assiduamente nas últimas três décadas, sobretudo, porque possuem um padrão de evolução específico e podem causar perdas irreversíveis de terras (Bianchi et al., 2003).

As falésias representam mais de 80% dos litorais do mundo (Emery e Kuhn, 1982) e correspondem ao setor onde quase um quarto da população global reside (Small e Nicholls, 2003). Historicamente, a ocupação humana em zonas costeiras com a presença de falésias esteve sempre à margem dos ordenamentos territoriais (Nunes Et al., 2009). Com o advento do turismo em massa, tais setores tiveram um desenvolvimento rápido e desorganizado, além de enfrentarem a aceleração dos processos erosivos.

As falésias estão presentes em diversos trechos do litoral do RN, desde o Município de Baía Formosa ao sul até o Município de Tibau na porção noroeste do litoral. Alguns trechos das falésias, sobretudo as localizadas no litoral oriental sul do RN, entre os municípios de Baía Formosa e Natal, vem sendo estudadas nas duas últimas décadas

por Amaral (2001), Severo (2005), Araújo (2006), Souza Júnior (2006), Souza Júnior (2013), Ribeiro (2015), Almeida (2017), Carvalho (2017) e Taquez (2017).

O processo erosivo atuante em falésias expõe ameaças às infraestruturas instaladas na orla, propriedades públicas e privadas, recursos recreativos, segurança pública e os principais corredores de transporte, nomeadamente ao longo da costa (Griggs et al., 2004). Devido ao crescente aumento da ocupação da orla, a erosão costeira é um problema global e merecedor de toda atenção, tendo em vista o aumento relativo do nível médio do mar decorrente do aquecimento global (Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010). Além disso, a erosão hídrica e a infiltração da cunha salina nos aquíferos costeiros, que comprometem o abastecimento da água em centros urbanos (Cai et al, 2009).

Os riscos resultantes para atividade humana devido à instabilidade geomorfológica inerente às costas com presença de falésias tornaram-se um problema de gestão de grande magnitude (Cai et al, 2009) exigindo, assim, a inserção por parte de cientistas e gestores do uso de novas ferramentas propiciadas pelas Geotecnologias para avaliar a geodinâmica das falésias, analisar a evolução temporal das formas de relevo e quantificar de modo preciso e acurado o recuo das bordas e os deslizamentos/desmoronamentos dessas encostas, em apoio à gestão costeira eficaz (Nunes et al., 2009).

A maioria dos estudos envolvendo a aplicação de Geotecnologias sobre falésias envolvem, principalmente, a quantificação do recuo e a determinação dos movimentos de massa para avaliação dos riscos e perigos a que estão associados. Em algumas situações podem exigir altos recursos, sobretudo nos estudos geotécnicos, devido ao alto nível de precisão que demandam, tornando-se assim, difícil na maioria dos casos o monitoramento efetivo (Nunes et al., 2009). Entretanto, abordagens associadas à inserção de ferramentas mais acessíveis, como, por exemplo, o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento têm sido amplamente usados na gestão dos riscos de áreas susceptíveis a erosão.

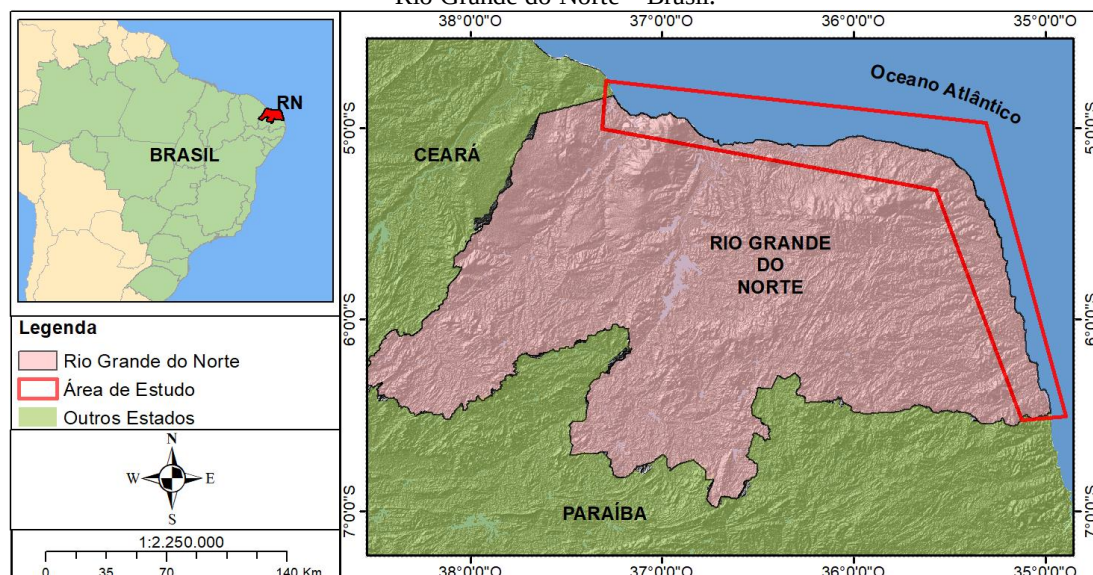
A partir das técnicas de Sensoriamento Remoto e do Geoprocessamento, é possível melhorar o gerenciamento costeiro das falésias, fornecer informações simples e semi-quantitativas para análises dos riscos associados à erosão (Nunes et al., 2009). Essas tecnologias vêm sendo amplamente aceito na comunidade científica para quantificar taxas de modificações na linha de praia durante décadas (Amaro et al., 2012). As séries temporais de fotografias aéreas e imagens de satélites, por exemplo, têm permitido

documentar as alterações costeiras, a dinâmica de uso e ocupação da orla, além de possibilitar a construção de banco de dados dos registros históricos de processos erosivos da zona costeira. (Kirk, 1975; Al-Tahir e Ali, 2004; Boak e Turner, 2005; Dahdouh-Guedes et al., 2006; Amaro et al. 2012).

Tendo em vista tais possibilidades, o objetivo deste trabalho foi empregar técnicas de Sensoriamento Remoto, de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Geoprocessamento através da ferramenta DSAS em imagens ópticas de resolução espacial média para identificar as principais áreas do litoral do Estado do Rio Grande do Norte (RN) com presença de falésias e assim quantificar a taxa de recuo entre o período de 1984 a 2014. Em seguida, utilizar o mesmo método em imagens ópticas de alta resolução espacial nas falésias do município de Tibau do Sul/RN entre o período de 2003 a 2013, e por fim, realizar um caminhamento em toda linha de costa do mesmo município, aplicando o mesmo *checklist* e os mesmos métodos desenvolvidos por Braga (2005) para identificação dos processos erosivos instalados na região costeira de Tibau do Sul atualmente e posteriormente, fazer uma comparação com os resultados obtidos pelo mesmo autor dos processos erosivos na área de estudo em 2004 com o intuito de analisar as mudanças ao longo dos 14 anos, entre 2004 e 2018.

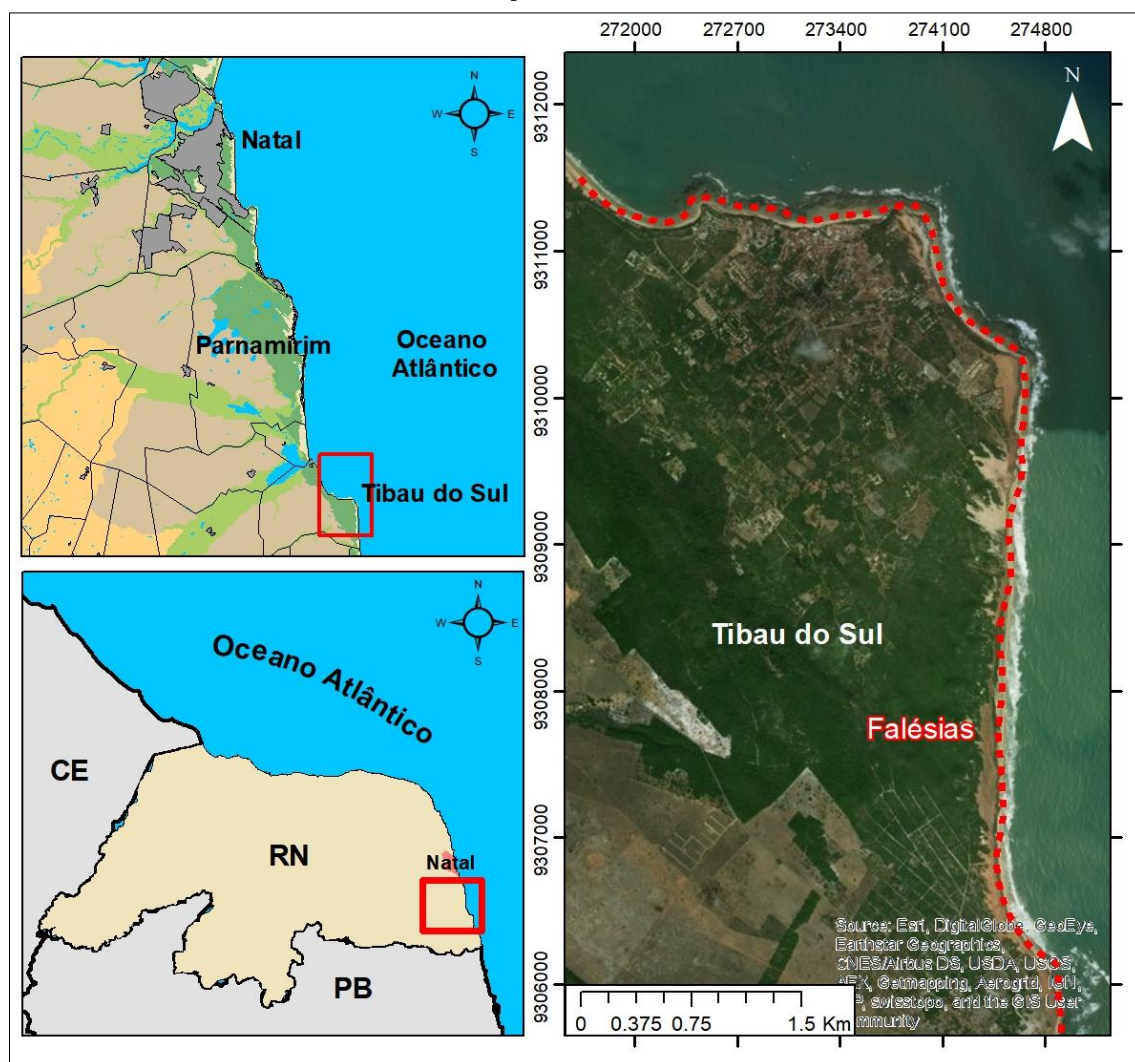
Na primeira etapa da pesquisa, a área de estudo engloba todo o litoral do RN, onde através de processamento digital de imagem e análise multitemporal serão observadas todas as falésias que estão sofrendo recuo ao longo das 3 últimas décadas (Figura 1.1).

Figura 1.1 - Mapa de localização da área de estudo na primeira etapa da pesquisa, o litoral do Estado do Rio Grande do Norte – Brasil.



Na segunda etapa da pesquisa, a área de estudo está localizada no município de Tibau do Sul e situa-se aproximadamente 60 km ao sul de Natal (Figura 1.2). Trata-se de uma zona costeira, que possui cerca de 16 km de extensão. É uma região predominantemente formada por falésias, com altitudes chegando até a 40 metros em relação ao nível do mar.

Figura 1.2 - Mapa de localização da segunda etapa da pesquisa, as falésias de Tibau do Sul ao sul do município de Natal/RN.



2. ASPECTOS FISIOGRAFICOS DA ÁRE DE ESTUDO

Nesse capítulo será apresentado o contexto geológico e geomorfológico regional da área de estudo que abrange todo o litoral do Rio grande do Norte, estudado na primeira etapa do trabalho e o contexto geológico e geomorfológico local pertinente à linha de costa do município de Tibau do Sul, referente a segunda etapa dessa pesquisa.

2.1 GEOLOGIA

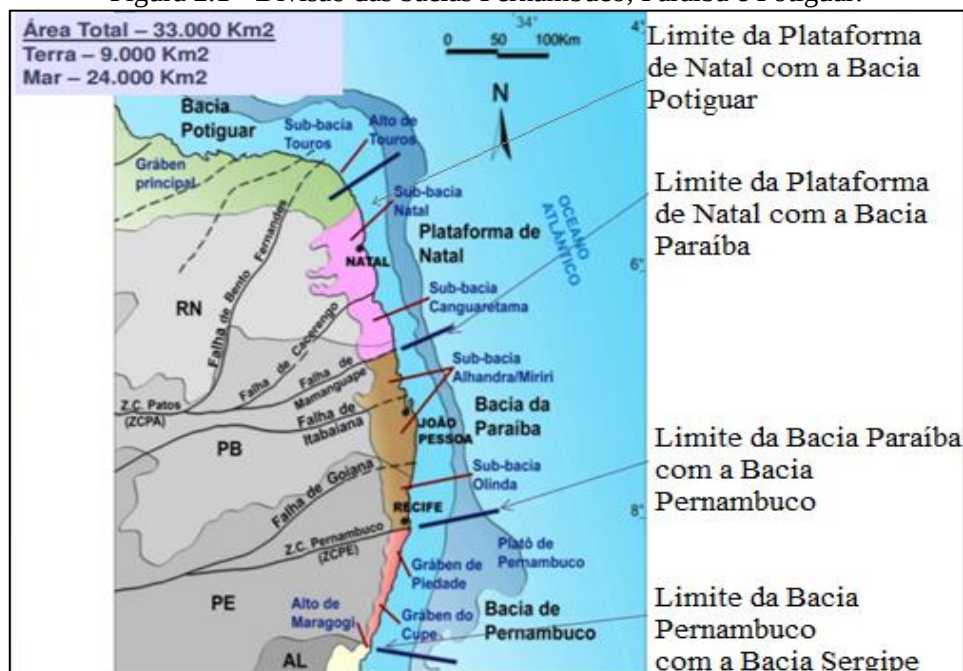
2.1.1 Geologia Regional

As falésias, objeto de estudo dessa pesquisa, estão inseridas no contexto geológico de duas grandes bacias sedimentares, a Bacia Potiguar que abrange todo o litoral setentrional do RN e a Bacia Pernambuco-Paraíba, que por sua vez, envolve todo o litoral oriental do mesmo Estado. Para Souza (1982) e Matos (1987, 1992), ambas as bacias se situam no extremo Leste da Margem Continental Brasileira, ocupando grande parte do Estado do Rio Grande do Norte e uma porção do Estado do Ceará, Pernambuco e Paraíba.

Bacia Pernambuco-Paraíba

A Bacia de Pernambuco-Paraíba é composta por três blocos distintos, o de Pernambuco, também conhecido como o bloco da Bacia do Cabo, ao sul, o bloco da Paraíba ao centro e o bloco da Plataforma de Natal ao norte. Esta bacia possui uma extensão total de 33.000 km², onde 9.000 km² situa-se na porção emersa, enquanto que os restantes 24.000 km² na porção submersa e seus limites se dão com a Bacia Potiguar a norte no Alto de Touros e com a Bacia Sergipe-Alagoas a sul, pelo Alto de Maragogi, assim afirmam Mabesoone & Alheiros (1988). Este trabalho focou no bloco da Plataforma de Natal, onde se insere a área de estudo, englobando todo litoral oriental do RN (Figura 2.1).

Figura 2.1 - Divisão das bacias Pernambuco, Paraíba e Potiguar.



Fonte – Adaptado de Mabesoone & Alheiros (1988).

A faixa localizada desde o Alto de Mamanguape, marcado pela falha de mesmo nome, até o norte da cidade de Natal, englobando as sub-bacias Canguaretama e Natal e sua plataforma adjacente, é denominado de Plataforma de Natal, de acordo com Barbosa & Lima Filho (2006) e Barbosa (2007) e é interpretada por Feitosa & Feitosa (1986), Feitosa Et al., (2002), Lana & Roesner (1999a, 1999b), Souza (2006), Barbosa Et al., (2003) e Barbosa (2004), como uma área diferenciada que, pelo menos no início de sua evolução, teve ligação com a Bacia Potiguar.

Ao norte da Falha de Mamanguape, que marca o flanco sul do Alto de Mamanguape e onde começa a Plataforma de Natal, até as proximidades da cidade de Natal, ocorrem depósitos carbonáticos depositados diretamente sobre o embasamento. A porção superior desses depósitos (de idade no Campaniano-Maastrichtiano) consiste em estratos carbonáticos de plataforma rasa, com forte influência de siliciclastos detríticos, cujas principais litologias são calcários com siliciclastos, arenitos calcíferos, margas e folhelhos, como foi citado por Campanha (1979), Campanha & Saad (1999), Mabesoone Et al., (1991), Mabessone & Alheiros (1993), Mabesoone & Silva (1991), Damasceno Et al., (1984, 1986), Lana & Roesner (1999a, 1999b), Hessel & Barbosa (2005a, 2005b) e Barbosa Et al., (2005, 2005b).

Lana & roesner (1999a, 1999b), dividiram a coluna sedimentar da Plataforma de Natal em 3 partes: (i) uma basal cuja idade pode alcançar o Turoniano, com influência

continental; (ii) uma intermediária, alcançando o eo-campaniana com menor influência marinha e componentes marinhos; e, (iii) uma superior que alcança o Maastrichtiano, esta última, Barbosa (2007), caracteriza por arenitos calcíferos, margas e calcários com siliciclastos. Lana & Roesner (1999a, 1999b) afirmaram ainda que seria possível interpretar esses depósitos das sub-bacias Canguaretama e Natal como uma extensão da Formação Jandaíra (Figura 2.3).

Bacia Potiguar

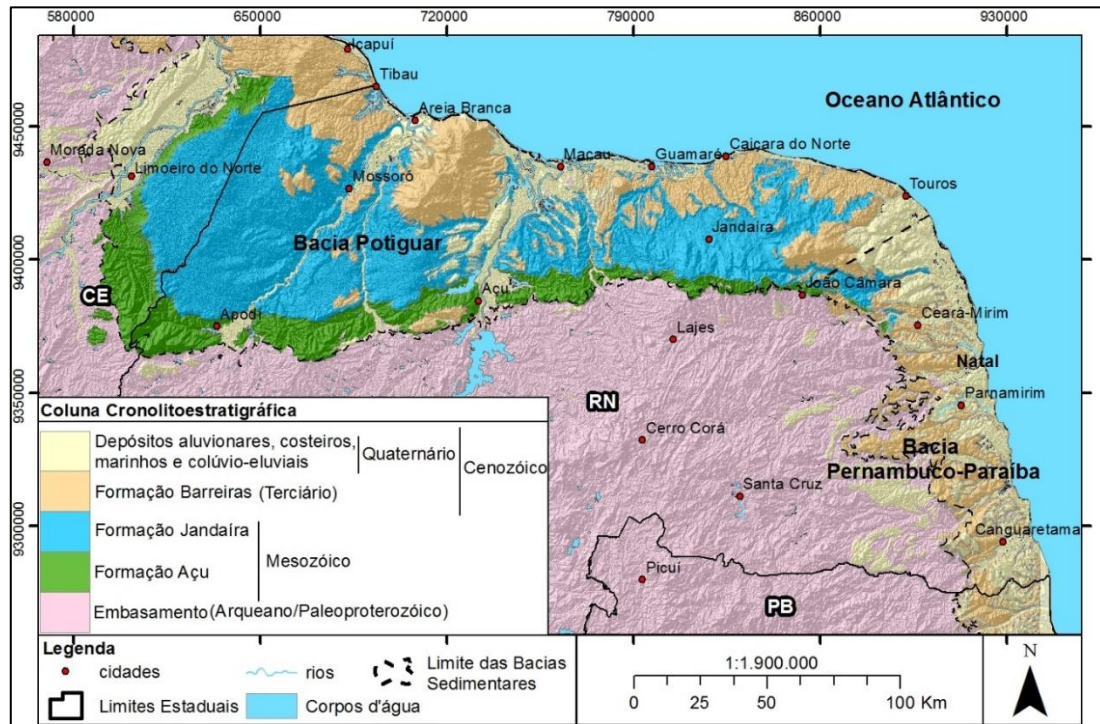
Em relação à Bacia Potiguar, que envolve todo o litoral setentrional do RN, para Bertani Et al., (1990) e Araripe & Feijó (1994), esta possui uma evolução estrutural marcada por tectônica do tipo *pull apart* em sua porção submersa, e um sistema de rifte do tipo intracontinental na porção emersa, mesclando elementos tanto das zonas tectônicas equatoriais, quanto daquelas do Atlântico Sul, constituindo-se uma das regiões mais sismicamente ativas do Brasil de acordo com Matos (1987, 1992), Assumpção (1992), Cremonini (1995) e Oliveira Et al., (1997).

As rochas sedimentares da Bacia Potiguar, conforme Souza (1984) e Bertani Et al., (1990), estão associadas a três sequências deposicionais principais: uma continental, uma transicional e outra marinha. A sequência continental é resultante da fase rifte de idade Neocomiano a Barremiano (Cretáceo inferior); a sequência transicional de idade Aptiano/Eoptiano (Cretáceo médio), a sequência drifte de idade Albiano a Maastrichtiano/Campaniano, e ainda, um sistema marinho regressivo, de idade Maastrichtiano/Campaniano a Plioceno/Paleoceno/Terciário. Araripe & Feijó (1994), e mais recentemente Pessoa Neto Et al., (2007), organizaram os litotipos dessa bacia desde o Neocomiano até o Terciário em três unidades principais, ordenadas da base para o topo, como: Grupos Areia Branca, Apodi e Agulha.

A litoestratigrafia da Bacia Potiguar é caracterizada por estreita faixa da seção sedimentar pós-aptiana que capeia o embasamento, recoberta por arenitos fluviais albo-cenomanianos da Formação Açu. Sousa Et al., (2007), por sua vez, declara que se encontram sobrepostos pela plataforma carbonática, de idade turoniana-neocampaniana, representada pela Formação Jandaíra. Esta formação ocorre desde a porção emersa da bacia até a plataforma continental, sua espessura máxima é estimada em 600 m, e as mínimas estão localizadas nos extremos leste e oeste da bacia, confirma Souza (1984) apud Cassab (2003). Em superfície, a Formação Jandaíra é sobreposta por rochas siliciclásticas relacionadas à Formação Barreiras, que na zona litorânea ocorre recoberta

por sedimentos quaternários informalmente denominados de “pós-Barreiras” (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Estratigrafia Simplificada da Bacia Potiguar e da Plataforma de Natal, porção norte da Bacia Pernambuco-Paraíba, zona litorânea do Estado do Rio Grande do Norte.

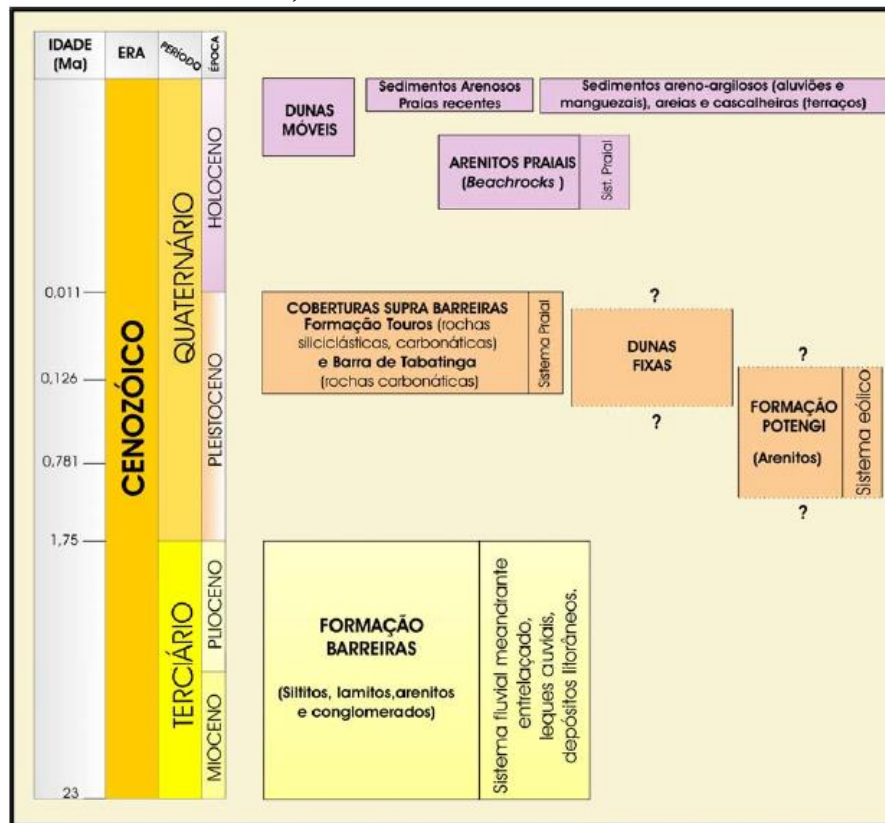


Fonte - Adaptado de Farias (1987).

No litoral oriental potiguar ocorrem rochas do embasamento cristalino, rochas mesozóicas e cenozóicas. Entretanto, apenas as unidades cenozóicas afloram na área mapeada. Com base na bibliográfica disponível foi estabelecido um cenário estratigráfico que esboça as relações espaciais entre as unidades estratigráficas e traz interpretações paleoambientais sobre cada unidade.

Araújo (2006), explica que durante o Cenozóico foram depositadas rochas siliciclásticas de grande expressão regional, envolvendo argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados da Formação Barreiras; arenitos denominados de Supra-Barreiras; arenitos da Formação Potengi; arenitos de praia (*beachrocks*); dunas pleistocênicas e atuais; depósitos de praias recentes; depósitos de planície flúvio-marinha e estuarinas, manguezais e aluviões (Figura 2.3)

Figura 2.3 - Estratigrafia Simplificada da Bacia Potiguar e da Plataforma de Natal, porção norte da Bacia Pernambuco-Paraíba, zona litorânea do Estado do Rio Grande do Norte.



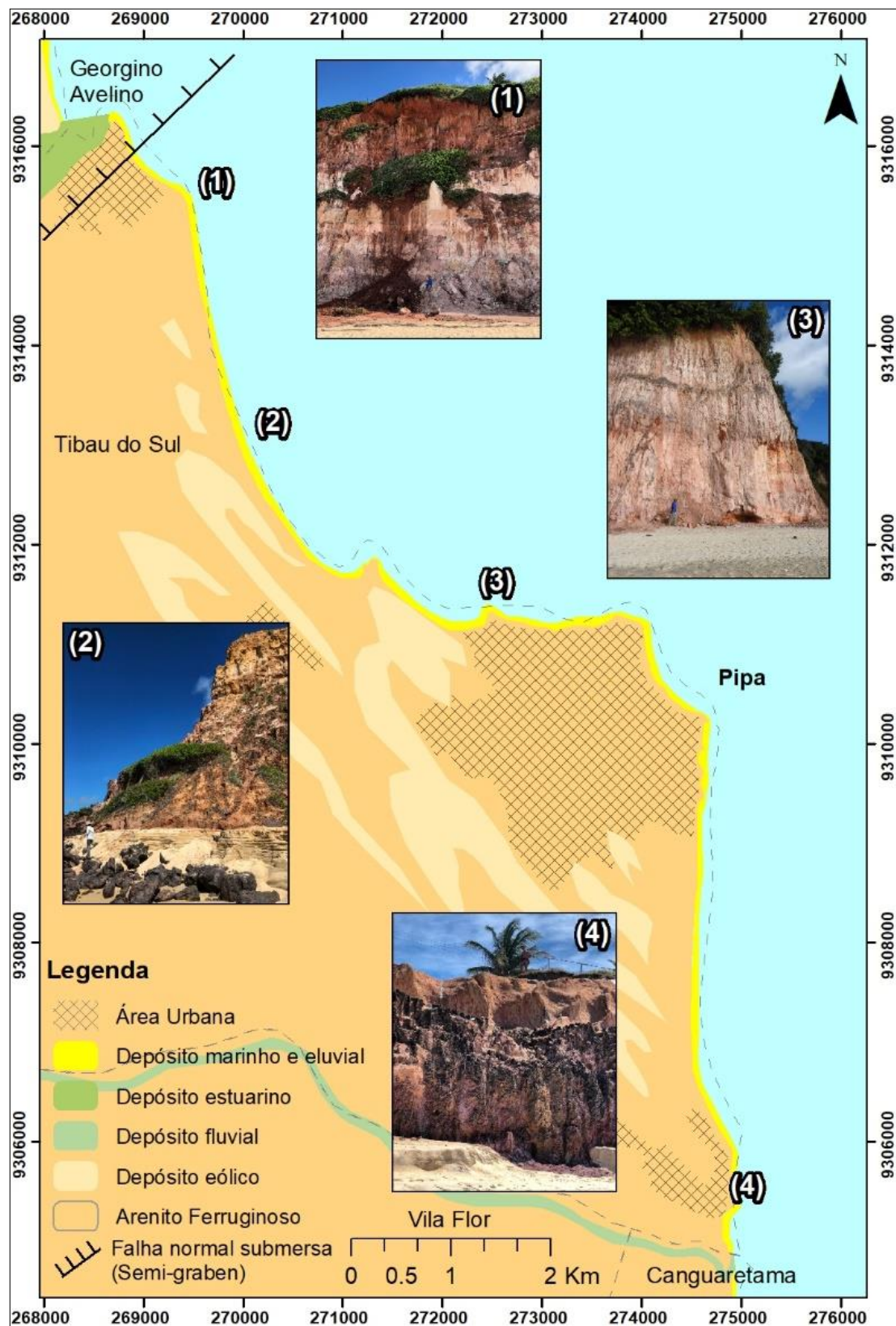
Fonte - Adaptado de Araújo (2006).

2.1.2 Geologia Local

A geologia local abrange, especificamente, toda a linha de costa do Município de Tibau do Sul. A paisagem costeira da área em estudo, segundo Amaral (2001), Braga (2005) e Pierri (2008), é composta pelos seguintes elementos geológicos: depósitos marinhos inconsolidados e os consolidados, que constituem as praias arenosas e os arenitos de praia respectivamente; arenitos ferruginosos que compõem as falésias ativas ou inativas; depósitos eólicos que constituem as dunas móveis e as fixas; depósitos fluviais, que formam o vale do rio Catu (conhecido também como rio Simbaúma); e, o depósito estuarino lagunar de Guaraíras. Porém, também foram identificados depósitos eólicos de paleodunas e depósitos eluviais (gravitacionais) formando os talus na base das falésias.

A área de estudo se localiza em feição estrutural do tipo *horst*, constituída por rochas sedimentares que variam desde o Terciário Superior até o Holoceno, limitada pelo semigráben submerso no Estuário de Guaraíras, ao norte, e pelo depósito fluvial do rio Catu ao sul (Figura 2.4).

Figura 2.4 - Mapa Geológico simplificado da área de estudo na linha de costa do Município de Tibau do Sul, litoral oriental do Rio Grande do Norte. A numeração (1), (2), (3), (4) indica onde as fotografias das falésias foram tiradas na linha de costa da área de estudo e são referentes as figuras 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8 respectivamente que mostrarão em detalhes a litologia dessas falésias.

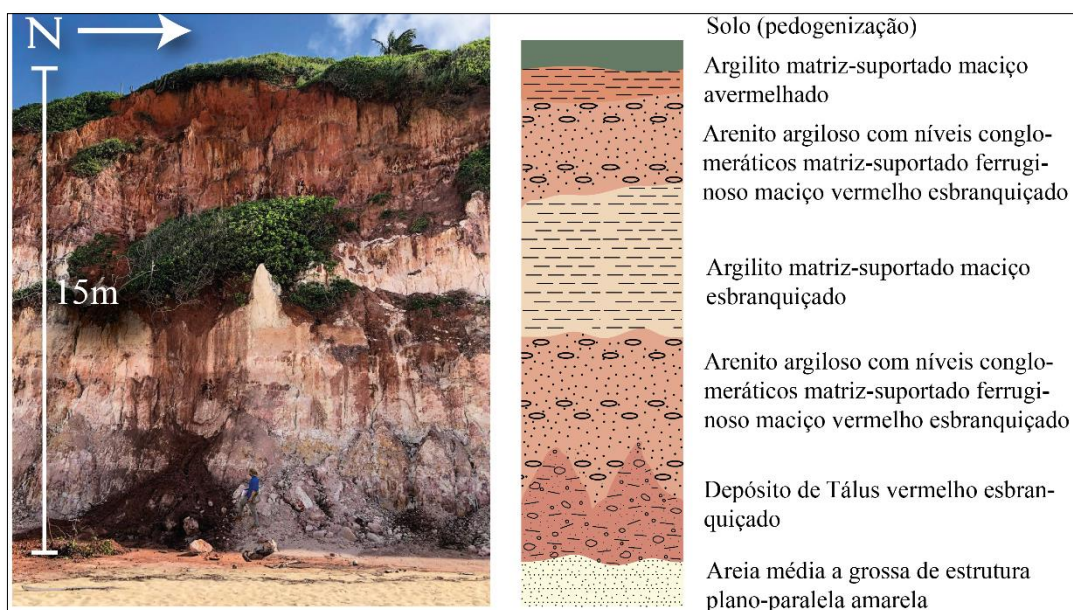


Formação Barreiras

Ao longo da costa brasileira, desde o Estado do Rio de Janeiro até a baixada amazônica, Mabesoone (1966), encontrou sucessões contínuas de depósitos sedimentares terrígenos atribuídos à Formação Barreiras ou apenas “o Barreiras”. As rochas da Formação Barreiras foram depositadas por um sistema fluvial entrelaçado, associado a leques aluviais e depósitos litorâneos, explicam Alheiros et. al., (1988) e Alheiros & Lima Filho (1991).

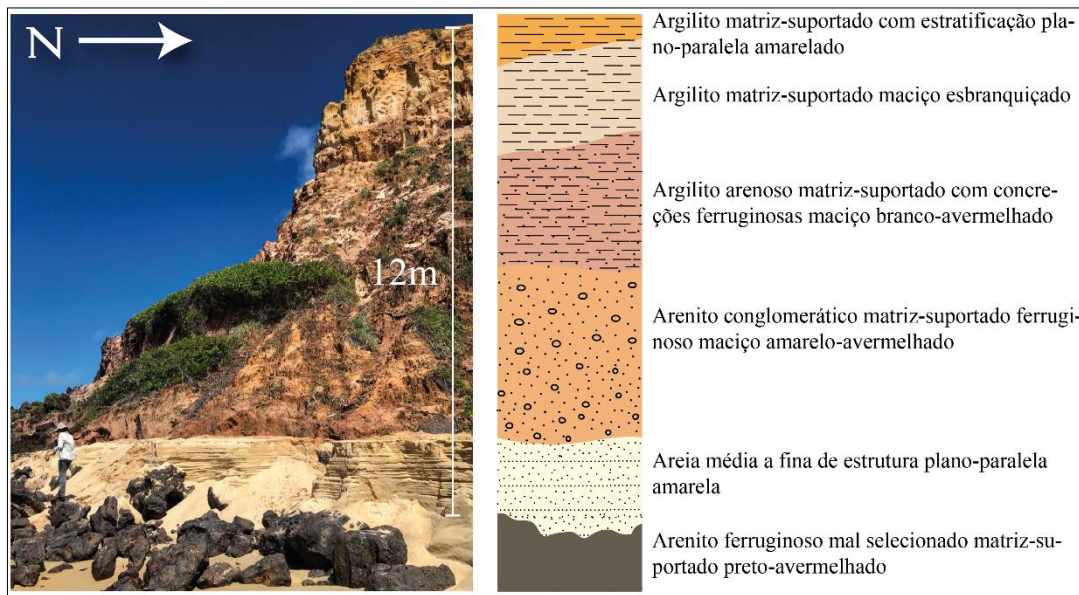
Na área de estudo, foram identificadas variações litológicas, tanto vertical como horizontalmente, das rochas sedimentares que compõem o Barreiras e constituem as falésias na linha de costa de Tibau do Sul. O primeiro perfil de falésia descrito, representado como (1) no mapa geológico (figura 2.4), se encontra no extremo Norte da área, localizado na praia da sede do município. Observa-se na base um arenito argiloso ferruginoso com níveis conglomeráticos, sotoposto à um argilito esbranquiçado maciço, sotoposto a outro arenito argiloso ferruginoso com níveis conglomeráticos e sobre eles argilito maciço avermelhado. No topo foi observado solo de espessura fina e um processo de pedogenização avançado, além de depósitos holocênicos marinhos constituído pelos sedimentos da praia de granulometria média a grossa e o depósito eluvial, formando o talus na base da falésia, o mais recente de cor vermelho escuro, porém, os mais antigos estão da cor esbranquiçado (Figura 2.5)

Figura 2.5 – Perfil geológico da falésia no extremo norte da área, localizado na sede de Tibau.



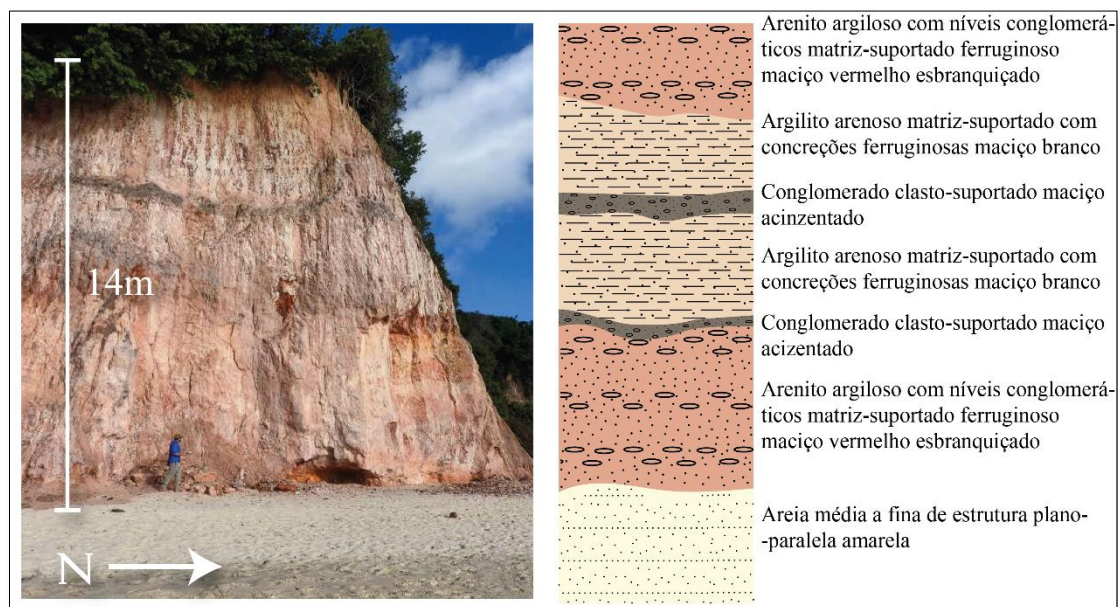
O segundo perfil (2) encontra-se entre a sede do município e a cidade de Pipa, como observado no mapa geológico (Figura 2.4). A base é constituída por arenito conglomerático ferruginoso amarelo-avermelhado, sotoposto ao argilito arenoso com concreções ferruginosas e sobre esse, o argilito esbranquiçado maciço, já no topo da falésia, o argilito amarelado apresentando estratificação plano-paralela. Também foi identificado o arenito ferruginoso mal selecionado preto-avermelhado na base da falésia junto dos sedimentos de granulometria média e estratificação plano-paralela que constituem a praia (Figura 2.6).

Figura 2.6 – Segundo perfil litológico descrito das falésias de Tibau do Sul.



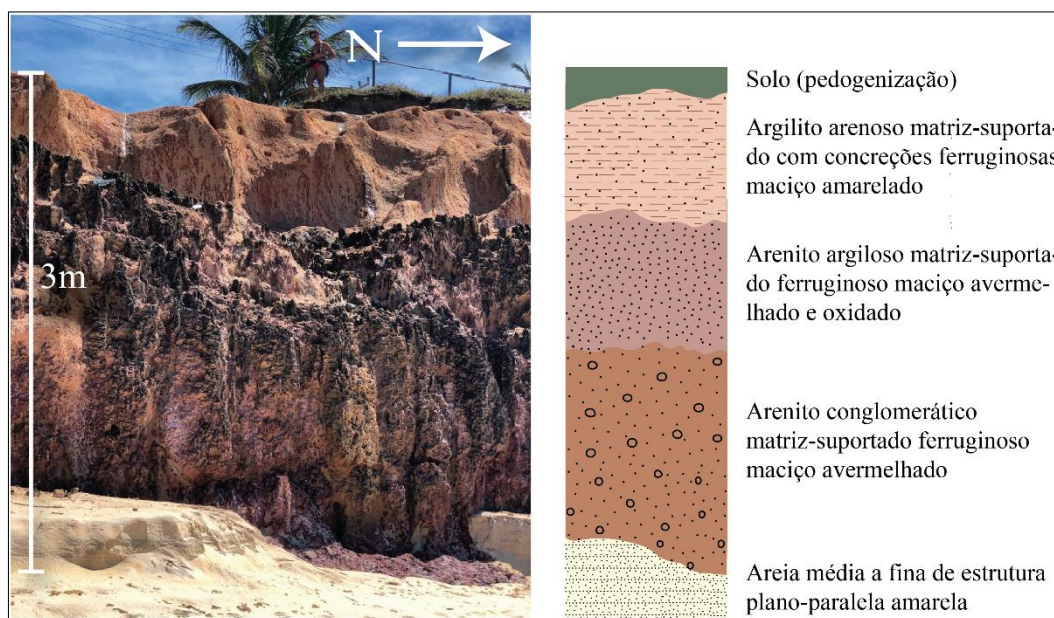
Já o terceiro perfil descrito, está localizado a oeste de Pipa, na Ponta do Canto, vide mapa geológico da figura 2.4. A base é composta por Arenito Argiloso ferruginoso com níveis conglomeráticos, sotoposto à uma fina camada de Conglomerado clasto-suportado e sobre essa, se tem um Argilito Arenoso esbranquiçado com concreções ferruginosas. Novamente outra fina camada de Conglomerado clasto-suportado e sobre essa, Argilito Arenoso esbranquiçado com concreções ferruginosas e por fim, no topo, Arenito Argiloso ferruginoso com níveis conglomeráticos. Nessa praia, a granulometria da areia é média também possui estrutura plano-paralela (Figura 2.7).

Figura 2.7 – Terceiro perfil litológico descrito das falésias, na Ponta do Canto, próximo à cidade de Pipa.



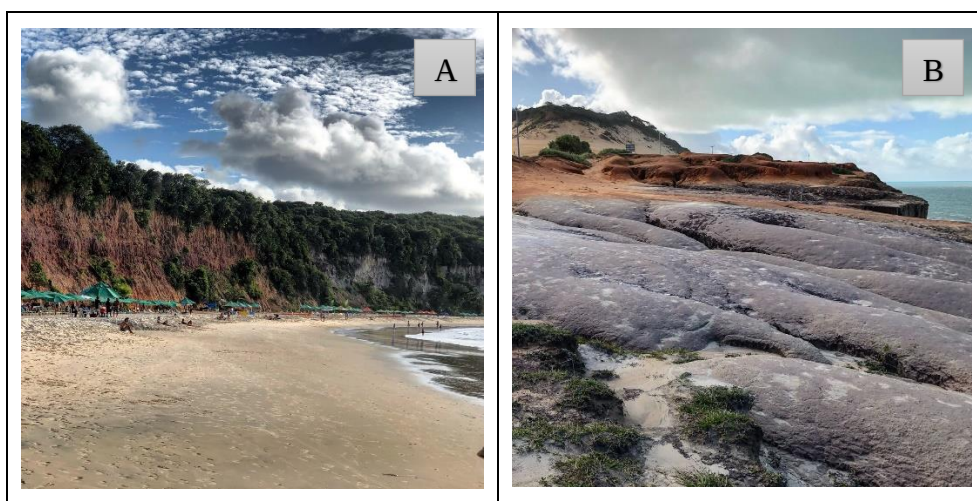
O quarto e último perfil (4) descrito encontra-se na comunidade de Simbaúma, próxima ao rio Catu no extremo Sul da área de estudo, vide o mapa geológico (Figura 2.4). Foi identificado um arenito conglomerático ferruginoso em sua base, alterando para um arenito argiloso ferruginoso e posteriormente para um argilito arenoso com concreções ferruginosas. Essa variação granodescedente e diminuição do teor de óxido de Ferro, indica que a energia do antigo depósito sedimentar fluvial foi diminuindo e o paleoambiente variou de oxidante para redutor. Na mesma imagem também se observa os sedimentos praias com granulometria média a fina nesse ponto, mantendo a típica estrutura plano-paralela para esse tipo de depósito marinho (Figura 2.8).

Figura 2.8 – Quarto perfil litológico descrito das falésias, próximo à cidade de Simbaúma, no extremo Sul da área de estudo



Além da grande variação litológica no sentido vertical como observado nos perfis acima, indicando diversos momentos de aumento e baixa de energia nesse antigo depósito do período Terciário que formou os sedimentos terrígenos do Barreiras, além de breves momentos de altíssima energia – indicado pelos depósitos de conglomerados depositados em finas camadas – que pode ser associado a épocas de tempestade, foi observado também variação litológica horizontal. Essa variação horizontal confirma o fato dos arenitos e argilitos do Barreiras serem depositados através de diferentes sistemas, fluviais meandantes a entrelaçados, leques aluviais e até estuarinos a lagunares (Figura 2.9).

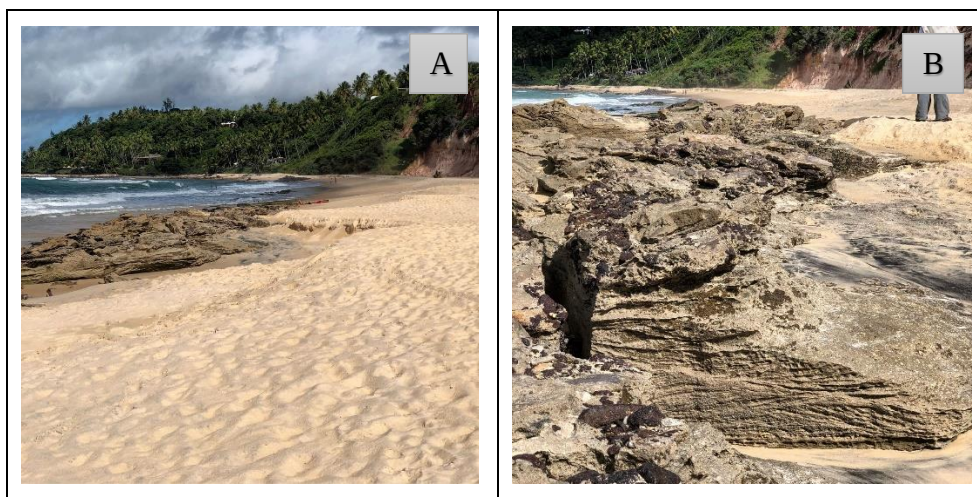
Figura 2.9 – Variação litológica horizontal da linha de costa: (A) próximo a Pipa; (B) a sul da sede de Tibau do Sul.



Depósito Marinho do Holocênico (Arenitos de Praia e a Depósito de Praia)

Na porção norte da área de estudo, na costa em que se encontra a sede do município e a Barra de Tibau do Sul, foi identificado um arenito na preamar da praia, possuindo um corpo geometricamente alongado paralelo a linha de costa, composto por arenito com matriz quartzosa e cimentação carbonática, com estruturas de baixo ângulo, plano-paralelas, cruzadas tabulares e acanaladas, intercaladas. Esse tipo de rocha é caracterizado como Arenito de Praia ou *beachrocks*, de acordo com Branner (1904), Mabesoone & Coutinho (1970), dentre outros (Figura 2.10).

Figura 2.10 – Arenito de Praia na área de estudo. No “A” apresenta o arenito emerso na maré baixa, enquanto que no “B” observa-se as estruturas de baixo ângulo cruzada acanalada, tabular e plano-paralela.

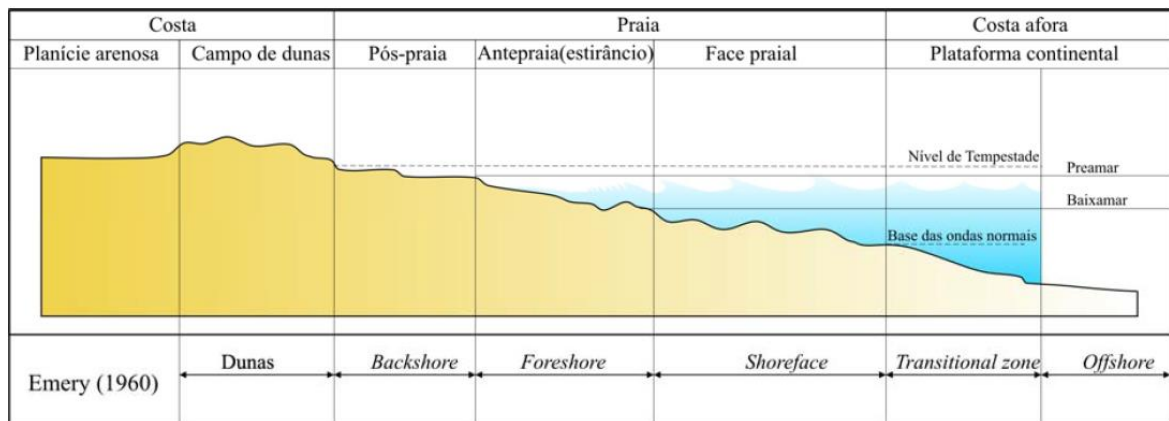


De acordo com Amaral (2001), esse corpo de arenito de praia possui 8 km de extensão, possuindo uma descontinuidade de 200m ao longo da foz do estuário de Guaraíras, porém voltando a aflorar novamente mais a norte, prolongando-se até a praia de Barreta.

Os depósitos de praia abrangem uma faixa estreita paralela à linha de costa, compreendendo as zonas de pós-praia (*backshore*), estirâncio (*foreshore*) e face praial (*shoreface*) (Figura 2.11). São constituídos por areias quartzosas, minerais pesados (em quantidade expressiva), além de fragmentos de rochas e bioclastos, afirma Nogueira et. al., (1990). A grande peculiaridade observada é que nas porções mais ao Norte de cada baía em zeta, onde as praias são mais retilíneas, a granulometria da areia varia de media a grossa, enquanto que nas porções mais ao Sul, onde a praia é mais curvilínea, a

granulometria altera entre média a fina, exceto na praia de Simbaúma, posto que a mesma deve receber esporadicamente uma carga de sedimentos provenientes do rio Catu que se localiza mais ao Sul da mesma área, através da deriva litorânea. Em algumas localidades como nos pontais ou promontórios, observa-se a ausência da praia, encontrando apenas a planície de abrasão ou terraço marinho. Nos locais onde há presença de areia de praia, nota-se indicadores de erosão costeira.

Figura 2.11 - Limites da região de praia, de acordo com a classificação de Emery (1960).



Fonte - Barros (2001).

Depósitos Eólicos do Holoceno

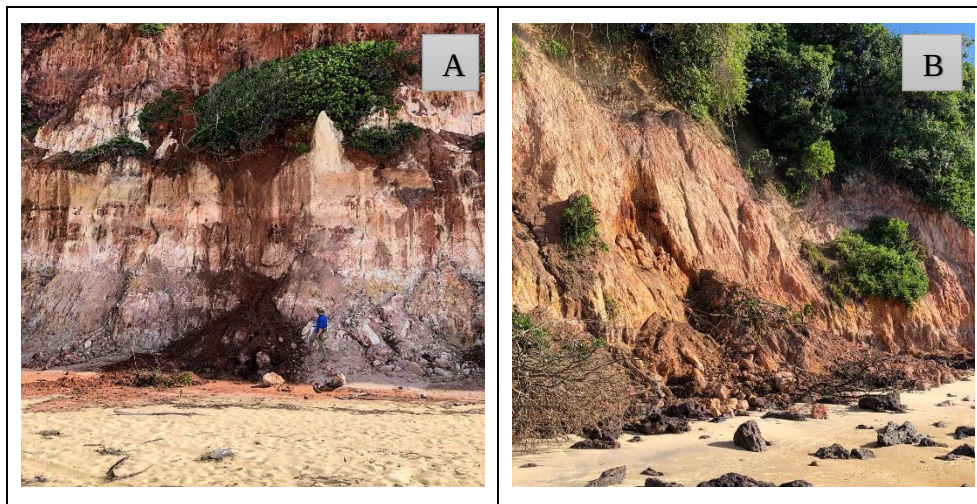
Os depósitos eólicos são os que constituem os complexos dunares, citados por Amaral (2001), Braga (2005) e Piérri (2008), e paleodunares observados em campo. De acordo com Nogueira (1975) e Lucena (1993), os depósitos eólicos caracterizados como complexos paleodunares são fixados pela vegetação mais densa do tipo arbóreo arbustivo, são constituídos por areias quartzosas de coloração amarela a vermelha com presença de argila, diferente dos depósitos eólicos mais recentes que possuem uma coloração mais esbranquiçada, não possuem argila e são carentes de vegetação ou possuem uma vegetação rasteira do tipo reestinga. Porém, ambos depósitos eólicos possuem boa seleção granulométrica e diâmetro dos grãos na faixa de areia média.

Depósito Eluvial (Depósito Gravitacional)

Melo (1980) afirmou que esse depósito é constituído por material formado por areias brancas a ferruginosas, de granulação fina a média, tendendo a siltosa ou mesmo grossa, de acordo com a área fonte. Ladeira e Santos (2005), Pontelli e Paisani (2005) e Gobbi e Ladeira (2011), descreveram o depósito eluvial como blocos com a presença de material rudáceo mal selecionado, observado no contato da escarpa com a planície. Isto é característico de fluxos torrenciais como depósitos de corrida de lama e

depósitos de fluxos de detritos e tem sua ocorrência limitada pelo relevo e energia de transporte conforme observado na área de estudo. Quase em toda a falésia que percorre o Município de Tibau do Sul, é observado esses depósitos antigos, menos frequentemente os recentes também, não só nas áreas de maior pressão antrópica como também nas áreas mais preservadas (Figura 2.12).

Figura 2.12 – Depósitos Eluvial ou Gravitacional, geradores dos depósitos de Talus. (A) observa-se tanto os antigos na coloração esbranquiçada como o mais recente na coloração vermelho escuro, próximo à sede de Tibau do Sul. (B) é evidenciado um depósito recente na praia da Cancela, à Oeste da cidade de Pipa.



2.2. GEOMORFOLOGIA

2.2.1 Geomorfologia Regional

A zona sedimentar costeira do Estado do Rio Grande do Norte perfaz uma extensão de 410 km de costa, constituída predominantemente por praias arenosas (72%) e falésias ativas da Formação Barreiras (26%), sendo em geral subdividida em dois setores distintos, em função da direção preferencial da linha de costa: O Litoral Oriental, de direção Norte-Sul, e o Litoral Setentrional, de direção Este-Oeste, afirma Vital (2006).

Estão distribuídas dentro dos vinte e três municípios pertencentes a zona costeira do Rio Grande do Norte, tabuleiros costeiros, falésias, planícies costeiras e campos de dunas que se configuram como elementos importantes do relevo nessa região, com a planície fluvial restringindo-se a desembocadura dos principais rios. Vital (2006) ressalta que uma característica marcante do litoral do Estado é a presença de linhas de recifes de arenitos (beachrocks), aproximadamente paralelas à linha de costa que, alteram o padrão de arrebentação das ondas.

Nas características do relevo desta unidade, Cestaro et al. (2007) destaca a planície marinha, dunas e planícies de deflação, terraços marinhos e falésias como principais feições geomorfológicas. Sendo que no litoral oriental, Melo (1980) destaca principalmente a ocorrência da planície marinha e dos terraços marinhos seguidos de falésias e terraços fluviais; e no litoral setentrional enfatiza a presença além da planície marinha e das dunas móveis.

Segundo o Prates et al. (1981), as dunas móveis possuem cores claras, ocupando uma faixa variável 1,5 a 3 km de largura. Localmente recobrem depósitos arenosos de cores vermelho e castanho e arenitos da Formação Barreiras, como pode ser observado nos municípios de Tibau, Touros e Natal.

Quanto à formação das planícies marinhas e planícies de deflação e terraços marinhos, Barreto et al. (2004) destaca que estas feições são pouco desenvolvidas ou inexistentes, o que denota mais tendência à erosão que à sedimentação, conforme evidenciado pela presença constante de falésias de rochas mais antigas. Barreto et al. (2004) ainda destaca que este processo ocorre não somente da Formação Barreiras, mas também de depósitos de paleopraias quaternárias, na forma de terraços de construção marinha, e de paleodunas. O retrabalhamento de sedimentos praias por processos eólicos é marcante, a amplitude de marés é de mesomaré (2 a 4 m) e, segundo Bezerra et al. (1998) e Bezerra et al. (2001), a tectônica quaternária tem sido ativa na região.

Planície Costeira

A unidade planície costeira, proposta por Cestaro et al., (2007), está composta por praias marinhas, dunas e planícies interdunares, como unidades naturais que reúnem aspectos ao mesmo tempo semelhantes e distintos que interagem diretamente. Além das falésias que demarcam o limite entre a planície costeira do tabuleiro costeiro e interagem diretamente com essas unidades.

As planícies costeiras se constituem como superfícies relativamente planas, baixas e posicionadas rente ao mar formadas basicamente por sedimentos marinhos e fluviais. Muehe (2001) caracteriza de forma geral estas planícies, no nordeste e sudeste do Brasil, como estreitas e limitadas pelos tabuleiros da Formação Barreiras, o caso do Rio Grande do Norte, ou pelas escarpas cristalinas. Já de acordo com as informações extraídas do projeto RADAM, no Rio Grande do Norte Prates et al. (1981) afirmam que as planícies costeiras são constituídas por coberturas arenosas, compostas por restingas e praias, que estão situadas nas bases das falésias, no contato com os tabuleiros costeiros ou ao pé de dunas mais antigas que

disfarçam o contato com os tabuleiros. Esses materiais arenosos constantemente retrabalhados formam pequenas dunas.

O Litoral Oriental é limitado ao sul pela praia do Sagi, município de Baía Formosa (divisa do RN com PB) e ao norte pelo Cabo Calcanhar, município de Touros. Este setor apresenta-se com 166 km de extensão, e representa 41% do litoral do RN, assim distribuídos: 101 km (61%) de praias arenosas planas e estreitas, e 65 km (39%) de falésias ativas, quando os tabuleiros costeiros da Formação Barreiras chegam até o mar.

A principal assinatura morfológica apresentada pelo setor oriental é a seqüência de baías em forma de *zeta*. Diniz (1998) e Amaral (1999), caracterizam um tipo muito particular de evolução, com erosão associada à padrões de refração e difração de ondas muito específicos, explicada como oriunda de processos de erosão diferencial dos sedimentos do Grupo Barreiras, em presença de uma direção persistente de aproximação de ondas. Essa configuração da costa em *zeta* é mais observada a sul de Natal, onde os efeitos da estruturação neotectônica são mais pronunciados (Figura 2.13).

Diniz (1998), Bezerra Et al., (1999, 2001) afirmam que o litoral Oriental ao Norte de Natal, por sua vez apresenta um relevo mais plano, sem desníveis pronunciados e falésias vivas, predominando as praias extensas e os campos de dunas parabólicas ou *blowouts* controladas pela vegetação. Nesse setor a influência da neotectônica é também menos pronunciado.

Figura 2.13 - Sequência de baías em forma de zeta no litoral oriental do RN.



Fonte - Adaptado de Google Earth, 2016.

Já o Litoral Setentrional é limitado a este pelo Cabo Calcanhar, município de Touros e a oeste pela praia de Tibau, município de Tibau (divisa entre os estrados do RN e CE). Este setor apresenta-se com 244 km de extensão, e representa 59% do litoral do RN, assim distribuídos: 194 km (80%) de praias arenosas, 10 km (4%) de praias lamosas, restritas as desembocaduras dos rios Piranhas-Açu, e 40 km (16%) de falésias ativas, Vidal (2006).

Este autor ainda enfatiza que os ventos por sua vez geram uma deriva litorânea que durante todo o ano transporta sedimentos no sentido de leste para oeste, o que está diretamente relacionado a formação de dunas predominantemente barcanas e barcanóides; havendo esporadicamente a evolução de dunas barcanas para domo e que esse setor faz parte da Plataforma de Touros e representa um alto estrutural da Bacia Potiguar, onde a presença de sistemas de ilhas barreiras é restrita a este setor entre a Ponta do Mel e a Ponta dos Três Irmãos.

Tabuleiros Costeiros

Os Tabuleiros Costeiros do RN limitando-se a oeste e sul com as rochas cristalinas e os calcários da Depressão Sertaneja e a leste e norte com a planície costeira, algumas vezes terminando abruptamente, formando falésias de até 15 m de altura. Apresentam relevo predominantemente plano a suavemente ondulado com pequenas declividades entre 0 a 5%. Esta unidade ocupa uma área de 31.410 km².

O relevo dos tabuleiros é tabular, sendo esculpida em rochas sedimentares, em geral pouco litificadas e dissecadas por uma rede de canais com baixa a moderada densidade de drenagem e padrão dendrítico. Conforme Prates, Gatto e Costa (1981), a sua denominação foi baseada na predominância de formas tabulares, identificadas pelos habitantes da região nordestina e consagrada pela literatura geográfica brasileira. E segundo o relatório do RADAMBRASIL (1981), o relevo é monótono, não apresentando variadas cotas altimétricas, que se corroboram entre os 90 e os 160 metros de altura. Para Gomes (2008), a configuração do relevo se ondula e ganha altitude a oeste e sul do Estado, onde se choca com a Formação Jandaíra.

Para Diniz e Oliveira (2016), os tabuleiros potiguares, foram construídos numa base sedimentar permeável, favorecendo o processo de infiltração e diminuição da erosão resultante do escoamento superficial. Isso é possível a partir de uma base friável na construção de rochas. A erosão, por sua vez, se concentra nas rampas suaves que

bordejam esses tabuleiros e nas escarpas acentuadas, que recuam lateralmente (formas dissecadas de relevo tabular).

Diniz (1998), Bezerra Et al., (1999, 2001), explicam que a alternância de altos e baixos estruturais do tipo *horst* e *grabens* produziu tabuleiros com até 200 m de altitude, compostos pela Formação Barreiras. Na zona litorânea, os tabuleiros produzem falésias de até 15 m de altura, que geralmente desaparecem nas áreas dos baixos estruturais.

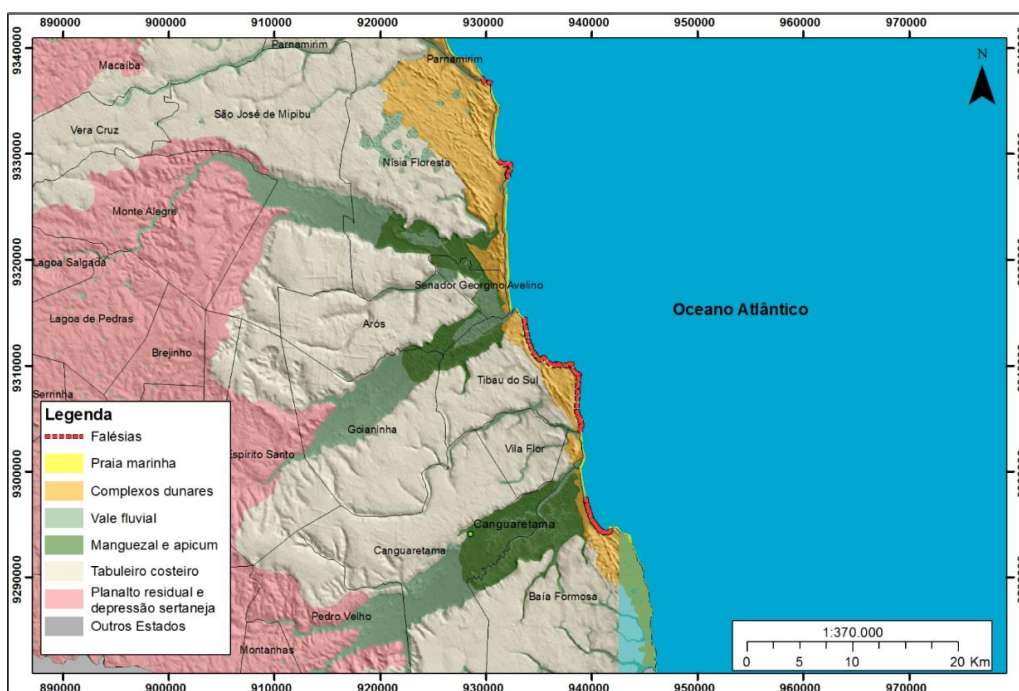
Classificação Geomorfológica da Linha de Costa

De acordo com a classificação geomorfológica da linha de costa proposta por Vital (2006), a linha de costa norte-rio-grandense foi subdividida em 52 compartimentos, desde o sul do Estado (divisa com Paraíba) para norte (divisa com Ceará). Nesse trabalho foi realizado um resumo do contexto geomorfológico do litoral em cinco grandes áreas que abrangem toda a linha de costa Potiguar, com o enfoque nas falésias ora expostas (Figuras 2.14, 2.16, 2.18, 2.20 e 2.22).

Na região que aborda o litoral inserido nos municípios de Baía Formosa, Canguaretama, Tibau do Sul, Senador Georgino Avelino, Nísia Floresta e o sul de Parnamirim (figura 2.14), é caracterizada por praias intermediárias semi-abrigadas à retaguarda de recife de arenito e precedendo campos de dunas parabólicas, praias dissipativas expostas com campos de dunas parabólicas, praias refletivas expostas com falésia viva do Grupo Barreiras, além de praias refletivas expostas com falésia viva coberta por campos de dunas parabólicas (Figura 2.15).

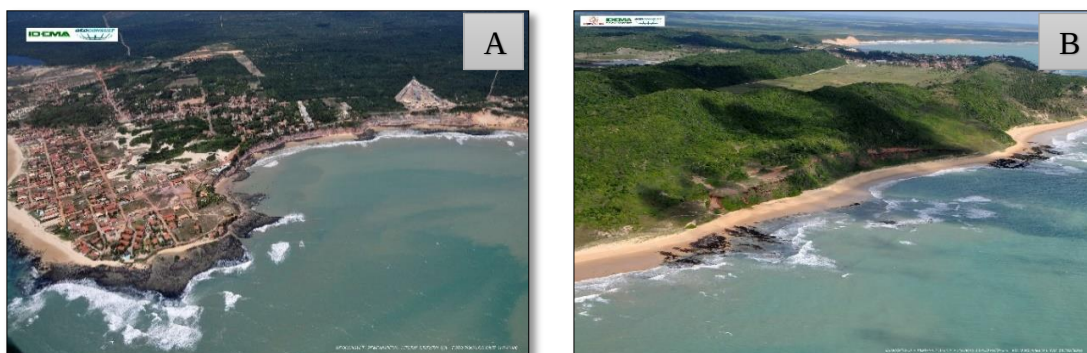
Também foram identificadas praias intermediárias semi-abrigadas à retaguarda de recife de arenito e associadas à desembocadura dos rios Cunhau e Curimatau com resquícios de manguezal e campos de dunas parabólicas e praias intermediárias expostas, em planície de maré arenosa com dunas frontais e campos de dunas parabólicas, na sua maioria fixas.

Figura 2.14 - Linha de costa desde o município de Baía Formosa até o sul de Parnamirim.



Fonte - Base de dados: CPRM, 2006; IDEMA, 2007; INPE, 2008.

Figuras 2.15 A e B - Principais falésias, beach rocks e praias intermediárias e refletivas no litoral sul oriental do Estado, em Baía Formosa e Tibau do Sul.

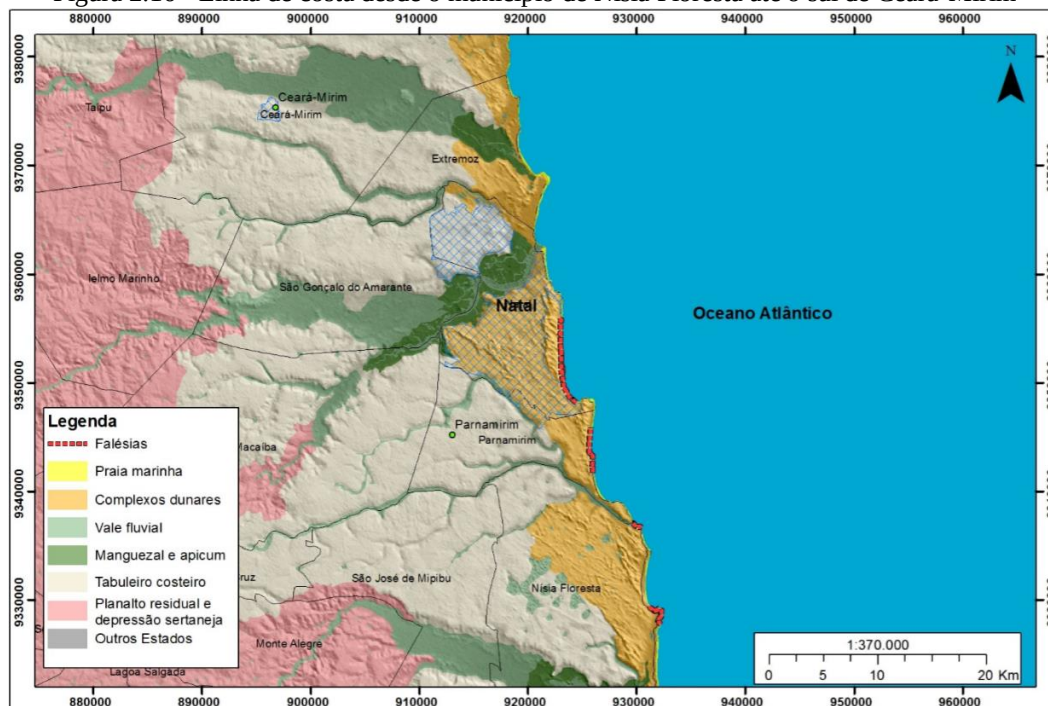


Fonte - IDEMA, 2008.

Já a região que vai do município de Nísia Floresta, Parnamirim, Natal, Extremoz até o sul de Ceará-Mirim (Figura 2.16), é caracterizada por praias intermediárias com dunas frontais exposta, em planície de maré arenosa com campos de dunas parabólicas e praias intermediárias exposta precedendo falésia do Grupo Barreiras coberta por campos de dunas parabólicas (Figura 2.17). Praias Intermediárias semi-abrigada à retaguarda de recife de arenito precedente de campos de dunas parabólicas e associado a desembocadura do rio Ceará Mirim e precedendo falésias do Grupo Barreiras e associada a desembocadura do rio Potengi. Praias dissipativas expostas com dunas frontais e precedendo campos de dunas parabólicas e praias refletivas expostas com

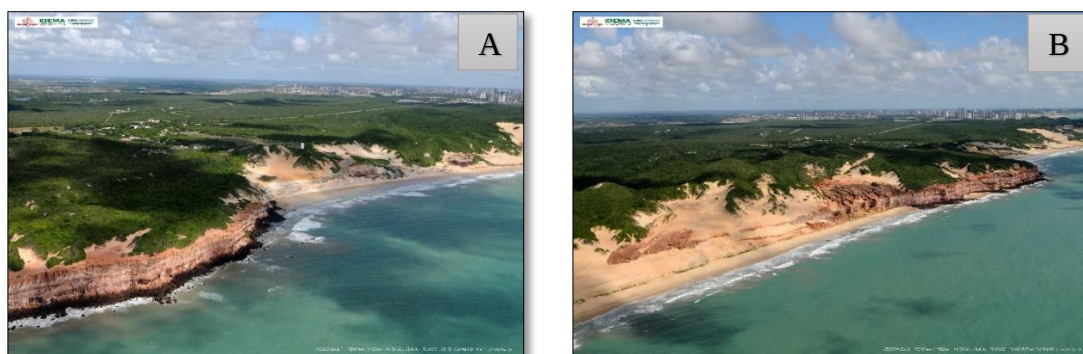
falésia viva do Grupo Barreiras coberta por campos de dunas parabólicas e Praia refletiva exposta com falésia viva do Grupo Barreiras associada a desembocadura do rio Pirangi.

Figura 2.16 - Linha de costa desde o município de Nísia Floresta até o sul de Ceará-Mirim



Fonte - Base de dados: CPRM, 2006; IDEMA, 2007; INPE, 2008.

Figuras 2.17A e B - Principais falésias, beach rocks e praias intermediárias e refletivas no litoral sul oriental do Estado, Parnamirim.



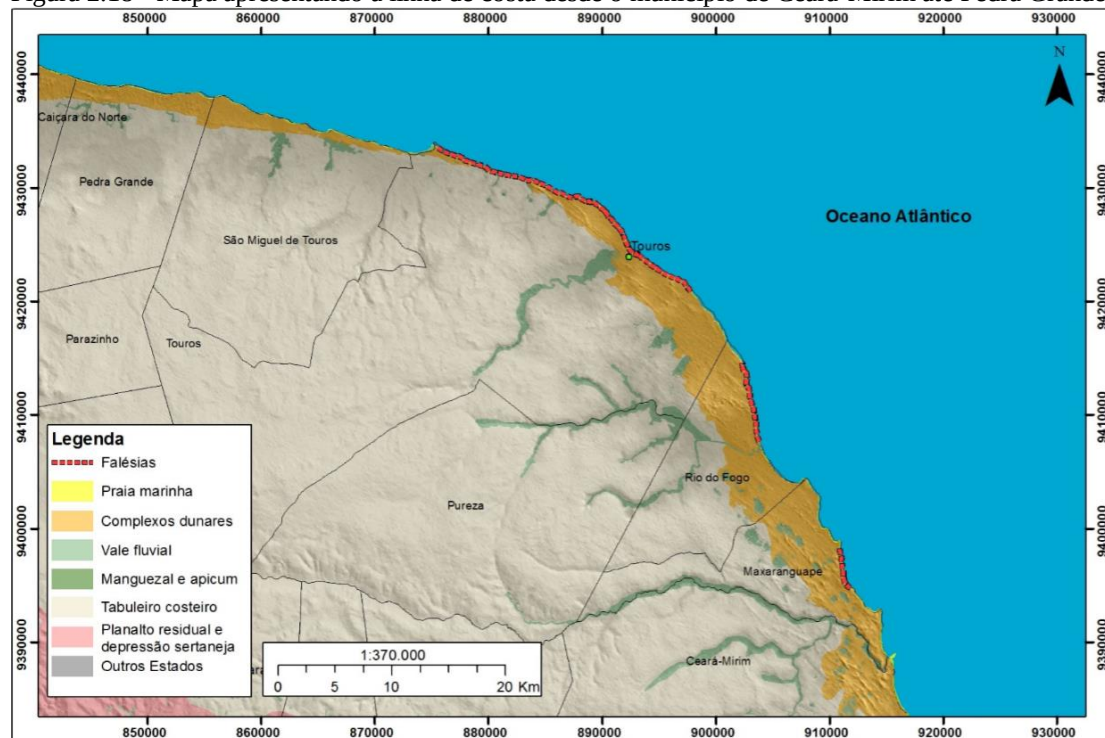
Fonte - IDEMA, 2008.

Enquanto que a região costeira entre os municípios de Ceará-Mirim, Maxaranguape, Rio do Fogo, Touros, São Miguel do Gostoso e Pedra Grande (Figura 2.18), é caracterizado por praias intermediárias expostas precedendo campos de dunas barcanas e barcanóides, praias intermediárias expostas de cordão litorâneo estreito, praia expostas com recifes de coral na plataforma interna (Baixo de Maracajau), precedente de campos de dunas parabólicas e associada à desembocadura do rio Maxaranguape e praias expostas com recifes de coral na plataforma interna (Baixo de Maracajau), e cordão

litorâneo estreito precedendo falésia do Grupo Barreiras com campos de dunas parabólicas.

Praias refletivas expostas com falésia viva coberta por campos de dunas parabólicas, praias refletivas semi-abrigadas à retaguarda de recife de arenito e de recife de coral na plataforma interna (Baixo da Sioba), precedendo falésia do Grupo Barreiras com campos de dunas parabólicas). Além de praias intermediárias semi-abrigadas à retaguarda de recife de arenito e cordão litorâneo estreito precedente de campos de dunas parabólicas (Figura 2.19).

Figura 2.18 - Mapa apresentando a linha de costa desde o município de Ceará-Mirim até Pedra Grande.



Fonte – Base de dados: CPRM, 2006; IDEMA, 2007; INPE, 2008.

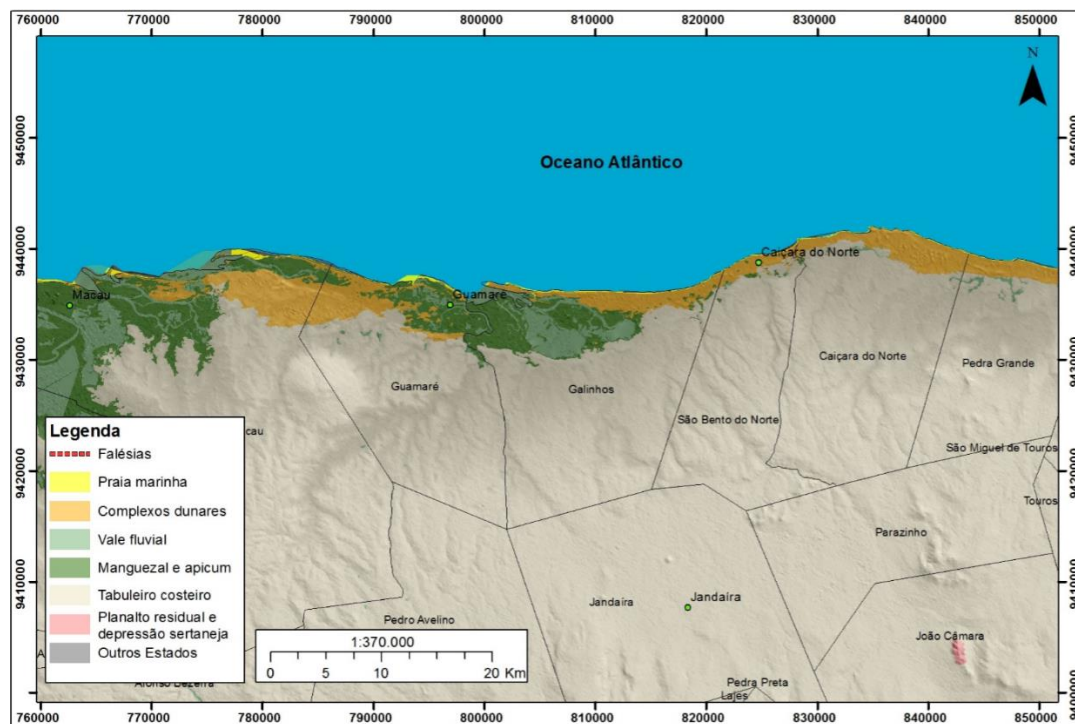
Figuras 2.19A e B - Principais falésias, beach rocks e praias intermediárias e refletivas no litoral sul oriental do Estado, Rio do Fogo e Touros.



Fonte - IDEMA, 2008.

Chegando no litoral setentrional do potiguar, na faixa litorânea de Pedra Grande, Caiçara do Norte, São Bento do Norte, Galinhos, Guamaré e Macau (Figura 2.20), as praias intermediárias com dunas frontais exposta e localmente falésia precedida de praia, associada a pontais e precedendo manguezais e campos de dunas barcanas e barcanóides (Figura 2.21), praias intermediárias com dunas frontais exposta, associada a pontais e precedendo manguezais e campos de dunas barcanas e barcanóides, praias intermediárias com dunas frontais semi-abrigadas à retaguarda de recife de arenito, associada a pontais e precedendo manguezais e campos de dunas barcanas e barcanóides e praias intermediárias com dunas frontais expostas precedendo campos de dunas barcanas e barcanóides.

Figura 2.20 - Linha de costa desde o município de Pedra Grande até Macau.



Fonte – Base de dados: CPRM, 2006; IDEMA, 2007; INPE, 2008.

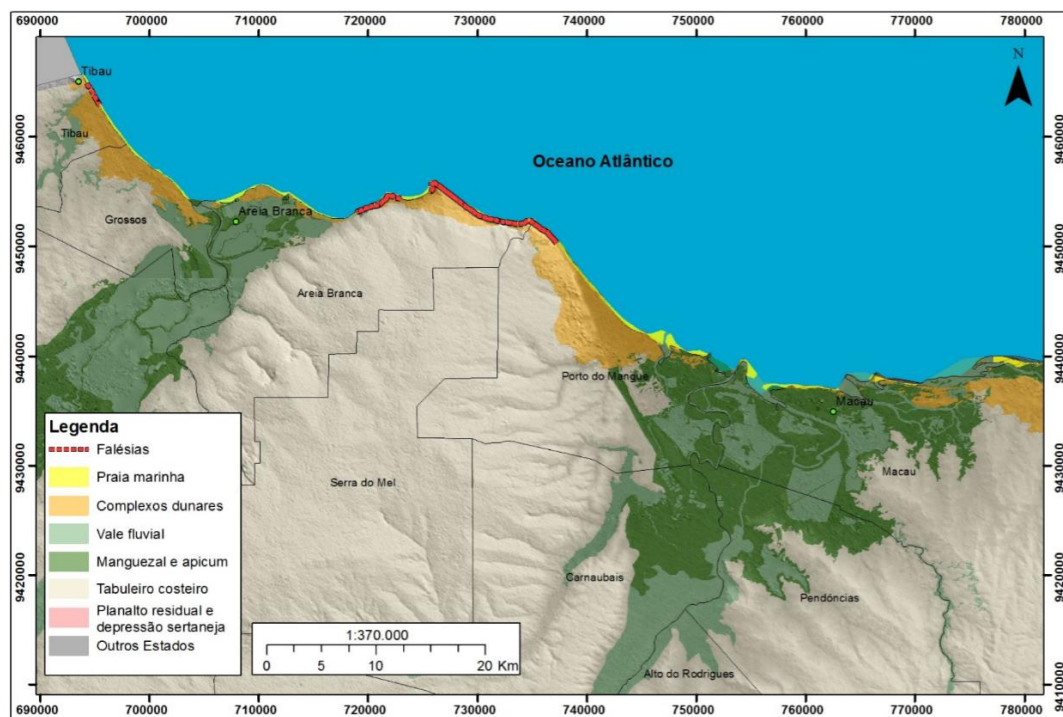
Figuras 2.21A e B - Principais falésias, pontais, ilhas barreiras e praias refletivas no litoral sul setentrional do Estado, Macau.



Fonte - IDEMA, 2008.

Para finalizar, no litoral dos municípios de Macau, Porto do Mangue, Areia Branca, Grossos e Tibau, compondo o extremo oeste do RN (Figura 2.22), foram identificados praias intermediárias expostas e com dunas frontais, precedendo campos de dunas barcanas e barcanóides, praias intermediárias expostas associadas a desembocadura do rio Apodi precedendo campos de dunas barcanas e barcanóides, praias intermediárias expostas associadas a desembocadura do rio Açu, com pontais e precedendo manguezais e campos de dunas barcanas e barcanóides. Praias expostas com falésia viva com e campos de dunas barcanas e barcanóides (Figura 2.23), além de praias intermediárias semi-abrigadas à retaguarda de recife de arenito precedendo campos de dunas barcanas e barcanóides.

Figura 2.22 - Linha de costa desde o município de Macau até Tibau.



Fonte – Base de dados: CPRM, 2006; IDEMA, 2007; INPE, 2008.

Figuras 2.23A e B - Praias expostas com falésia viva com e campos de dunas barcanas e barcanóides e falésias mortas com vegetação.



Fonte - IDEMA, 2008.

2.2.1 Geomorfologia Local

A geomorfologia local, assim como na geologia local supracitada, compreende toda a linha de costa do Município de Tibau do Sul. A área de estudo inclui-se na região nordestina ou litoral das barreiras, propostos por Silveira (1964), caracterizada pela constante presença dos depósitos sedimentares da Formação Barreiras, que formam uma superfície plana a subplana, conhecida como tabuleiro costeiro, dissecada pela drenagem atual e suavemente inclinada para o oceano. Os afloramentos da Formação Barreiras terminam próximos ao mar, em falésias muitas vezes ativas (vivas) e separam a região costeira da sublitorânea. As planícies costeiras de cristas praiais e em baías em forma de *zeta* são pouco desenvolvidas ou inexistentes, o que denota mais tendência à erosão que à sedimentação, conforme evidenciado pela presença constante de falésias de rochas mais antigas, cita Barreto Et al., (2004).

A paisagem costeira da área em estudo, segundo Amaral (2001), Braga (2005) e Pierri (2008), é composta pelos seguintes elementos geomorfológicos: Praias Arenosas com suas baías em forma de *zeta*, Terraços Marinhos, Falésias Ativas, Dunas, Chapadas, Tabuleiro Costeiro, o pequeno vale do rio Catú (Simbaúma) e o Sistema Estuarino Lagunar de Guaraíras. Porém, também foram identificados Paleodunas, Depósitos de Talus na base das Falésias, Falésias Passivas e até planícies sublitorâneas com ausência de Falésias, como pode ser observado no mapa da Figura 2.24 apresentando essa variação paisagística morfológica nas figuras que estão com suas respectivas localizações marcadas no mapa, desde às praias na sede de Tibau do Sul, ao Norte do município, passando próximo de Pipa e até o Sul, no litoral da comunidade de Simbaúma.

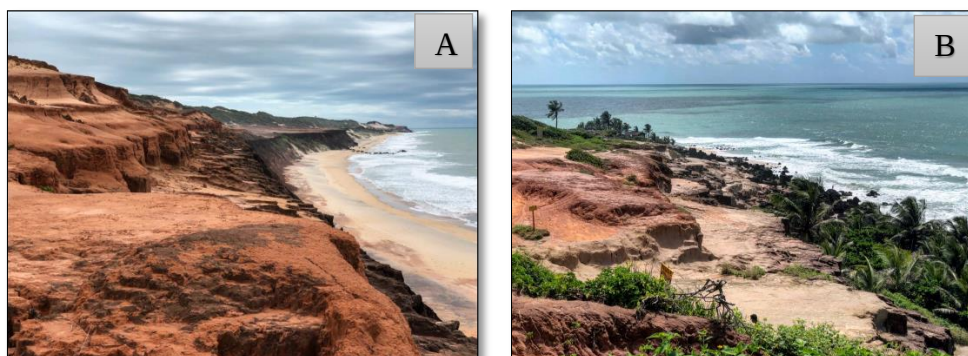
2.24 - Mapa Geomorfológico simplificado da área de estudo na linha de costa do Município de Tibau do Sul, litoral oriental do Rio Grande do Norte. A numeração (1), (2), (3), (4) e (5) representam onde as fotos dessas paisagens foram tiradas dentro da área de estudo.



Chapadões

São áreas onde a superfície dos Tabuleiros Costeiros encontra-se exumada, próximas às bordas ou topo das Falésias. Amaral (1999) e Scudelari & Freire (2005) explicam que através da incidência constante de ventos, processos de lixiviação e atividades antrópicas, estas áreas da superfície dos Tabuleiros perderam seu recobrimento natural e encontra-se exposta aos processos intempéricos (Figura 2.25).

Figura 2.25 – Chapadões exumados ao Sul do litoral de Tibau do Sul/RN. A) localizado ao Sul da área de Estudo. B) localizado próximo a cidade de Pipa, porção central da área de estudo



Falésias

As falésias, junto à linha de praia, representam uma queda abrupta no relevo, demonstrando a ação erosiva sobre a superfície dos Tabuleiros Costeiros, cita Ab'Saber (2001). Na paisagem costeira estudada, as falésias podem se apresentar recuadas ou vivas. As falésias vivas estão em contato direto com o mar, contam com a presença do terraço marinho e a planície de abrasão entre as mesmas e o mar, quando a maré está baixa (Figura 2.26). Nos momentos de maré cheia, as falésias ficam em contato direto com o mar. Já as falésias recuadas contam com a presença de dunas vegetadas e moveis, planície praial e terraços marinhos entre as mesmas e o mar, e estão cobertas por vegetação (Figura 2.27).

Figura 2.26 – Falésias vivas (ativas). A) observa-se a planície de abrasão na base da falésia localizada próxima ao rio Catu. B) observa-se o terraço marinho entre a falésia viva e o mar na maré baixa.



Figura 2.27 – Ambas as falésias recuadas apresentando planície praial e cobertura vegetal densa.



Estas costas dominadas por falésias podem ainda gradar lateralmente para campos de dunas e terraços na planície sublitorânea, estando muitas vezes estes elementos interdigitados (Figura 2.28).

Figura 2.28 – Uma região, entre dois trechos de costa marcada por falésias, onde a planície sublitorânea é caracterizada por um campo de dunas e paleodunas vegetadas que estão sendo separadas da planície praial por um cordão de dunas frontais vegetadas.



Dunas e Paleodunas

As dunas se apresentam na paisagem costeira como pequenas dunas em formação na porção emersa das praias, chamadas de dunas embrionárias. Dunas de porte pouco mais elevado e com vegetação incipiente, recobrimdo os Terraços Marinhos ou localizadas no sopé das falésias, chamadas dunas primárias e dunas de maior porte em processo de cavalgamento sobre as falésias ou já recobrimdo a planície dos Tabuleiros Costeiros como grandes dunas parabólicas e blow-out, chamadas de paleodunas. Essas grandes dunas apresentam vegetação arbóreo arbustivo em sua porção exposta à ação dos ventos predominantes e na porção protegida, ante-duna. Amaral (2001) e Pierre (2008) citam que a vegetação de maior porte são exemplares de Mata-Atlântica, Caatinga e Cerrado (Figura 2.29).

Figura 2.29 – Em ambas as figuras (A) e (B), extensas paleodunas com vegetação arbórea arbustivo sobre a falésia, enquanto que na base da mesma, dunas primárias de médio porte vegetadas e na planície praial, dunas embrionárias com vegetação incipiente.



Praias Arenosas em Baías com forma de Zeta

Na área de estudo, a principal baía em forma de *zeta*, se inicia na Ponta da Pedra do Moleque ao Sul da praia de Pipa e termina na desembocadura da Laguna de Guaraíras. O início da baía ocorre em uma zona com orientação Leste-Oeste e com ondas incidentes em alto ângulo com a costa, provenientes de Sudeste. Ao término da baía, na praia central de Tibau do Sul, a costa possui uma orientação norte/nordeste – Sul/Sudeste com as ondas de Sudeste incidindo com baixo ângulo em direção à costa.

Segundo Amaral (2001), esta feição é caracterizada por processos de erosão diferencial das rochas da Formação Barreiras, em presença de uma direção persistente de aproximação das ondas na costa.

Terraços Marinheiros

Foi localizado terraços marinhos numa porção superior à praia atual, entre o perfil da praia e a base da falésia, denunciando uma maior altura do nível relativo do mar, com deposição marinha recente, provavelmente relacionada ao último estágio interglacial. Segundo Suguio et. al., (1985), esta feição representa um importante indicador de paleonível relativo do mar.

2.3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Os aspectos geotécnicos das rochas da Formação Barreiras que constituem as falésias do RN foram adquiridos a partir de estudos no município de Tibau do Sul, área de estudo da segunda etapa do referente trabalho. Foram analisados os aspectos de constituição mineralógica e a caracterização geotécnica dos sedimentos.

2.3.1 Caracterização química e mineralógica

Severo (2011) analisou um perfil da Formação Barreiras através da coleta de sedimentos em quatro camadas que compõem o perfil geotécnico da falésia da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul– RN. As Amostras foram denominadas de camada de topo - B1, camadas do meio - B2, camada fortemente cimentada (localizada à profundidade em torno de quatorze metros abaixo do topo da falésia) e camada da base - B3. Na tabela 1 é apresentado um resumo dos principais compostos químicos que compõem as camadas de onde foram retirados os blocos indeformados e a camada fortemente cimentada.

Tabela 01 – Resumo dos principais compostos químicos presentes nas amostras dos blocos e da camada fortemente cimentada. Fonte: Severo (2011).

AMOSTRA	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Outros (%)	Perda fogo (%)	K _r	K _i
Topo - B1	41,8	24,0	13,5	0,4	4,9	15,4	2,18	2,96
Meio - B2	37,1	19,4	25,5	0,2	4,7	13,1	1,77	3,25
Camada cimentada	30,1	15,2	39,7	0,8	2,7	11,5	1,26	3,37
Base - B3	40,0	22,4	18,3	0,2	6,4	12,7	1,99	3,04

Severo (2011) observou que os principais compostos químicos presentes nas amostras dos solos das quatro camadas analisadas são o óxido de silício (quartzo), óxido de alumínio e óxido de ferro. A camada fortemente cimentada apresenta o óxido de ferro em maior proporção, seguida da camada do meio, base e em menor concentração na camada de topo da falésia. Nesse caso as camadas do meio, fortemente cimentadas, e base são formadas por solos lateríticos.

Severo (2011) também realizou análises mineralógicas morfooscópicas da fração gráuda dos solos dos blocos e da camada fortemente cimentada, bem como a análise mineralógica por difração de raio X da fração fina desses solos. Sob o ponto de vista da análise mineralógica morfooscópica, as quatro camadas da falésia apresentam pedregulho e areia quartzosa, cimentados em maior ou menor grau com óxido de ferro, resultando nas concreções lateríticas. No caso da camada fortemente cimentada, essas concreções

formam uma massa coesa única de aspecto rochoso. A análise mineralógica foi realizada por difratograma de raio X nas frações argila e silte. As análises foram realizadas nas amostras correspondentes aos blocos B1, B2, B3 e na camada fortemente cimentada. Os solos das quatro camadas analisadas apresentaram os mesmos minerais: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ - Hidróxido de silicato de alumínio (Caulinita); $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Hidróxido de silicato de alumínio (Pirofilita) e SiO_2 - Óxido de silício (Quartzo).

2.3.2 Caracterização geotécnica

Ensaio de caracterização geotécnica foram realizados nos trabalhos de Silva (2003), Severo (2005), Pereira (2004), Severo (2011), Pereira (2012) e Souza Jr. (2013). Em todos os trabalhos os ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade foram realizados seguindo a metodologia definida nas normas brasileiras. Os ensaios de granulometria por sedimentação foram realizados com uso do defloculante e sem o uso do defloculante.

De maneira geral os sedimentos apresentam granulometria arenosa com variados teores de finos. Ocorrem ainda a presença de materiais argilosos e camadas conglomeráticas. Os finos apresentam baixa a média plasticidade, o que fica evidenciado no índice de atividade da fração argilosa. Os resultados obtidos na caracterização geotécnica estão compatíveis com a mineralogia, uma vez que a caulinita e os minerais ricos em ferro apresentam baixa atividade.

De um total de 111 amostras ensaiadas por Silva (2003), Severo (2005), Pereira (2004), Severo (2011), Pereira (2012) e Souza Jr. (2013), 32% foram classificadas como SC (areia argilosa), 23% como SM (areia siltosa), 15% como SM-SC, 18% como CL (argila de baixa plasticidade), 7% como ML (silte de baixa plasticidade) e 5% como GC (pedregulho argiloso). Em todas as amostras o limite de liquidez foi sempre inferior a 50% e o índice de plasticidade apresentou valor máximo de 21,3%.

2.3.3 Ensaio de imersão

Os ensaios de imersão total (Crumb Test) e parcial são utilizados para avaliar o potencial de dispersividade do solo. Os ensaios de imersão foram realizados conforme descrito por Head (1985). Ao todo foram realizados onze ensaios. Severo (2005) realizou cinco ensaios com amostras provenientes do topo das falésias, cinco com amostras oriundas da base e duas com material proveniente da BR-101. Severo (2011) realizou seis

ensaios, dois com amostras de topo, dois com amostras do meio e dois da base da Falésia da Ponta do Pirambu localizada no município de Tibau do Sul – RN.

Conforme o tipo de desintegração, Head (1985) classifica os solos em quatro graus: grau 1 - não reagente, grau 2 - reação leve, grau 3 - reação moderada e grau 4 - reação forte. Os graus 1 e 2 indicam um solo não dispersivo e os graus 3 e 4 indicam um solo dispersivo.

Os resultados obtidos por Severo (2005) e Severo (2011) mostraram claramente que o material analisado apresentou um comportamento não dispersivo, exceção feita a uma das amostras da base analisada por Severo (2005).

2.3.4 Ensaios de resistência a compressão simples

Silva (2003) realizou ensaios de compressão não confinada em amostras indeformadas obtidas em falésias no município de Tibau do Sul. Foram realizados dezessete ensaios, sendo quatro em amostras coletadas do material presente na base da falésia e treze com o material do topo.

De acordo com Collins e Sitar (2009), com base em estudos sobre falésias em areias cimentadas, os materiais podem ser classificados de acordo com o grau de cimentação como: fracamente, moderadamente ou fortemente cimentados. O parâmetro proposto para a classificação foi à resistência a compressão simples (RCS). Os materiais fracamente cimentados apresentam RCS inferior a 100 kPa; os moderadamente cimentados têm RCS entre 100 e 400 kPa e os fortemente cimentados possuem RCS superior a 400 kPa.

Os resultados obtidos foram que as amostras apresentam valor médio de 493 kPa, máximo de 808 kPa, mínimo de 314 kPa e desvio padrão de 144 kPa. Silva (2003) verificou também que não há relação direta entre os índices de vazios e a resistência, embora a variação do índice de vazios seja relativamente pequena. Essa variabilidade da resistência pode ser atribuída a diferentes graus de cimentação entre as partículas, nem sempre visível a olho nu. Utilizando-se a classificação proposta por Collins e Sitar (2009) verifica-se que o material do topo da falésia apresenta 54% das amostras como sendo fortemente cimentadas e 46% como moderadamente cimentadas.

Já as amostras provenientes da base apresentaram tensão de ruptura variando de 605 kN/m² a 936 kN/m², com valor médio de 691 kN/m² e desvio padrão de 163 kN/m².

De acordo com a classificação proposta por Collins e Sitar (2009) o material é classificado como fortemente cimentado.

2.3.5 Ensaios por compressão edométrica

Ensaios de compressão confinada foram realizados por Silva (2003). Ao todo foram realizados cinco ensaios edométricos, sendo dois em solo proveniente da base e três em solo proveniente do topo das falésias. Os ensaios foram iniciados com teor de umidade natural até um dado carregamento, quando as amostras foram inundadas e observadas as deformações decorrentes da inundação. Segundo Vargas (1978), deformações superiores a 2% indicam que o solo é colapsível.

Os solos provenientes do topo apresentaram deformações de, no máximo, 0,5% para o carregamento de 50 kPa e, no máximo, 1,5% para o carregamento de 200 kPa. Assim, são classificados como não colapsíveis. As amostras provenientes da base da falésia quando inundadas no estágio de carga de 200 kPa apresentaram deformações da ordem de 4%. Dessa forma, os solos provenientes da base podem ser classificados como colapsíveis.

2.3.6 Permeabilidade

Foram realizados dois tipos de estudos, o ensaio da permeabilidade em laboratório com amostra indeformada e o ensaio da permeabilidade in situ com solos da Formação Barreiras.

A) Resultados da permeabilidade em laboratório com amostra indeformada

Foram realizados sete ensaios de permeabilidade em laboratório com solos da Formação Barreiras, quatro apresentados em Santos Jr. Et al. (2008) e três apresentados por Santos Jr., Coutinho & Severo (2015) com blocos coletados na região de Tibau do Sul - RN. Os ensaios de permeabilidade foram realizados conforme a NBR 13292/1995 - "Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante" e NBR-14545/2000 - "Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável".

A análise mostrou que os coeficientes de permeabilidade variam entre $6,5 \times 10^{-5}$ m/s e $8,2 \times 10^{-9}$ m/s. A amostra de Piau - RN 003 apresentou resultado atípico em se tratando de solos argilosos. Na análise granulométrica verificou-se que esse solo possui 61,8% de argila. A permeabilidade alta, para um solo argiloso, pode ser atribuída à

existência de microfissuras no seu interior. De todas as amostras, observou-se que no topo o material é mais permeável que na base, o que deve facilitar a sua saturação por infiltração. De maneira geral, os solos com índices de plasticidade mais elevados apresentam menores coeficientes de permeabilidade.

Conforme Ortigão (1993), o solo é considerado impermeável ou com drenagem impedida, quando apresenta permeabilidade muito baixa, com k variando entre 10^{-7} e 10^{-9} m/s, que é o caso de certos tipos de solos argilosos. Das sete amostras analisadas, cinco deram resultados 10^{-7} até 10^{-9} .

B) Resultados da permeabilidade em campo

Severo (2005) realizou dois ensaios de permeabilidade *in situ* com solos da Formação Barreiras, do alto das falésias de Pipa, no topo dos trechos norte e central, com solos no seu estado natural do tipo CL e SM, de coloração avermelhada e acinzentada, respectivamente. Os valores dos coeficientes de permeabilidade *in situ*, bem como sua localização são apresentados na tabela 2. Os ensaios de permeabilidade (infiltração) foram realizados segundo o procedimento indicado no Boletim 04, de junho de 1996, da ABGE.

Tabela 2: Coeficiente de permeabilidade em campo. Fonte: Severo (2005).

AMOSTRA	k (m/s)	CLASS. (SUCS)
Topo-Falésia (Norte)	$6,60 \times 10^{-8}$	CL
Topo-Falésia (Central)	$1,75 \times 10^{-6}$	SM

Os resultados dos ensaios de permeabilidade em campo realizado por Severo (2005) forneceram resultados diferentes daqueles obtidos em laboratório realizados por Santos Jr. Et al. (2008) e Santos Jr., Coutinho & Severo (2015). Observou-se que o solo mais argiloso (CL) apresentou um coeficiente de permeabilidade em campo bem menor do que o solo areno-siltoso.

2.4 CLIMATOLOGIA

2.4.1 Elementos Climáticos Regionais

Devido a sua extensão geográfica o Nordeste do Brasil apresenta uma considerável gama climática, que também se atribui à conjugação entre os elementos atmosféricos e os fatores geográficos particulares da região. Entre os fatores que determinam os tipos climáticos do Nordeste, destacam-se: a configuração geográfica nas proximidades da linha do Equador; a maritimidade/continentalidade, ou seja, a influência do litoral e das águas quentes próximas ao Equador e da grande extensão de terrenos com litologias diversas; as modestas altitudes do relevo e suas formas, que permitem o desenvolvimento de sistemas atmosféricos; a dinâmica das massas de ar e frentes que atingem a área; a influência da vegetação e das atividades humanas que têm o papel de interação com o balanço de radiação e a atmosfera, originando particularidades climáticas regionais e locais no cenário nordestino. Observando-se as características da atmosfera relativa ao Brasil e, de maneira especial, as condições estáticas e dinâmicas particulares ao território nacional, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) constataram a existência de cinco grandes compartimentos climáticos no País, baseados principalmente na distribuição da temperatura e da pluviosidade registradas, associando ainda às características geográficas e à dinâmica das massas de ar. Apesar da divisão em cinco tipos de clima constituir um elevado grau de generalização dos elementos climáticos, os autores consideram que os grandes domínios climáticos abarcam uma infinidade de subtipos climáticos particulares, do qual apenas um influencia diretamente a área de estudo, podendo ser entendida enquanto uma área de Clima Tropical Chuvoso Quente com Verão Seco (As'), segundo a classificação de W. Köppen, afirma Vianello e Alves (2000) ou Clima Quente e Úmido da Zona Tropical Equatorial, de acordo com IBGE (2002), sendo ele Clima Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental (3b) com 3 a 5 meses secos, alega Mendonça e Danni-Oliveira (2007) (Figura 2.30).

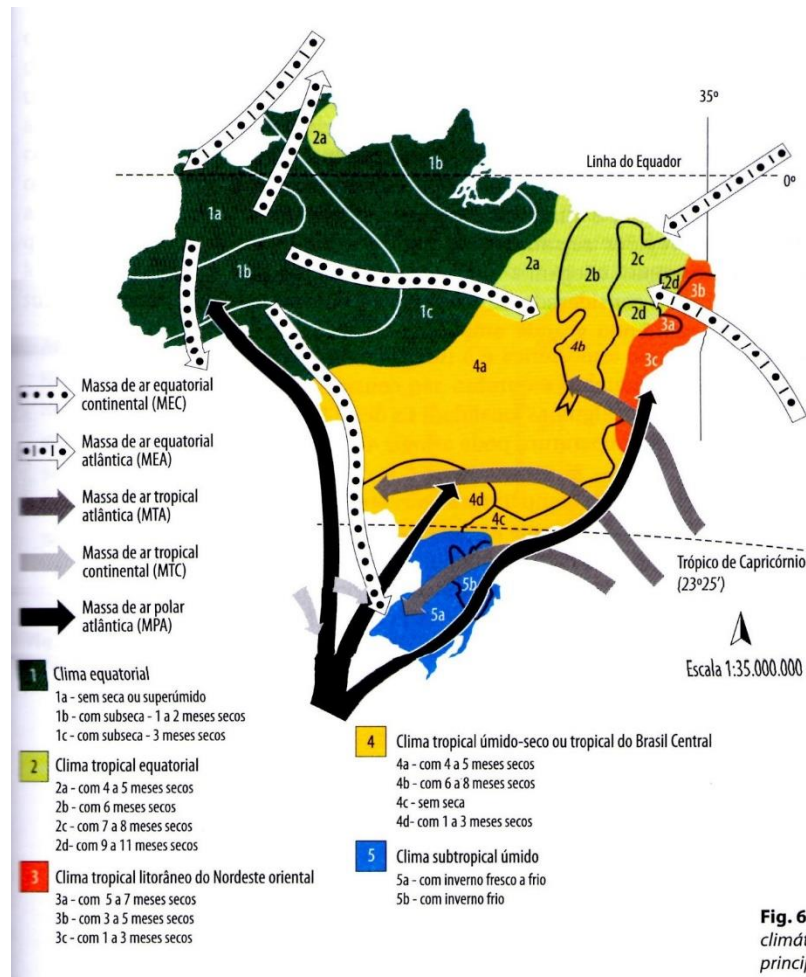


Figura 2.30: Mapa apresentando as diferenças climáticas no Brasil e o tipo climático na região do RN (Clima tropical litorâneo do Nordeste oriental) segundo a classificação de W. Köppen. **Fonte:** Adaptado de Vianello & Alves (2000).

Até então, o estudo mais abordado sobre o clima no RN foi o publicado por Köppen (1936), porém devido às mudanças climáticas que já ocorreram no decorrer desses 78 anos, Alvares Et al. (2014) atualizaram o estudo climático usando como base para seus mapas os critérios adotados por Köppen (1936). Os tipos climáticos de Köppen são simbolizados por dois ou três caracteres, dos quais o primeiro indica a zona climática e é definido pela temperatura e chuva. Já o segundo considera a distribuição espacial da chuva, enquanto que o terceiro é a variação da temperatura sazonal.

Dos 12 tipos climáticos identificados no Brasil, o Rio Grande do Norte está inserido em 2 tipos (Figura 2.31):

As – Zona tropical com verão seco;

Bsh – Semi-árido de baixa latitude e altitude.

Alvares Et al. (2014) afirmam que o clima “As” está inserido numa estreita faixa costeira em todo o litoral Oriental e uma porção no extremo Oeste do litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, fazendo divisa com o clima semi-árido “Bsh”, também conhecido como região do Agreste (Figura X.x). Essa faixa possui um forte gradiente de chuvas variando entre 1.500 a 700 mm ao ano, com sentido Leste-Oeste.

O clima “Bsh” geralmente está inserido no interior, mas no RN, encontra-se cobrindo cerca de 150 km de costa (Figura X.x). Este cinturão costeiro tem uma porção anual menor que 650 mm e pode inferir que é a região costeira mais seca e quente do Brasil com a temperatura numa média anual ligeiramente superior a 26,5 °C, conforme afirmam Alvares Et al. (2014).

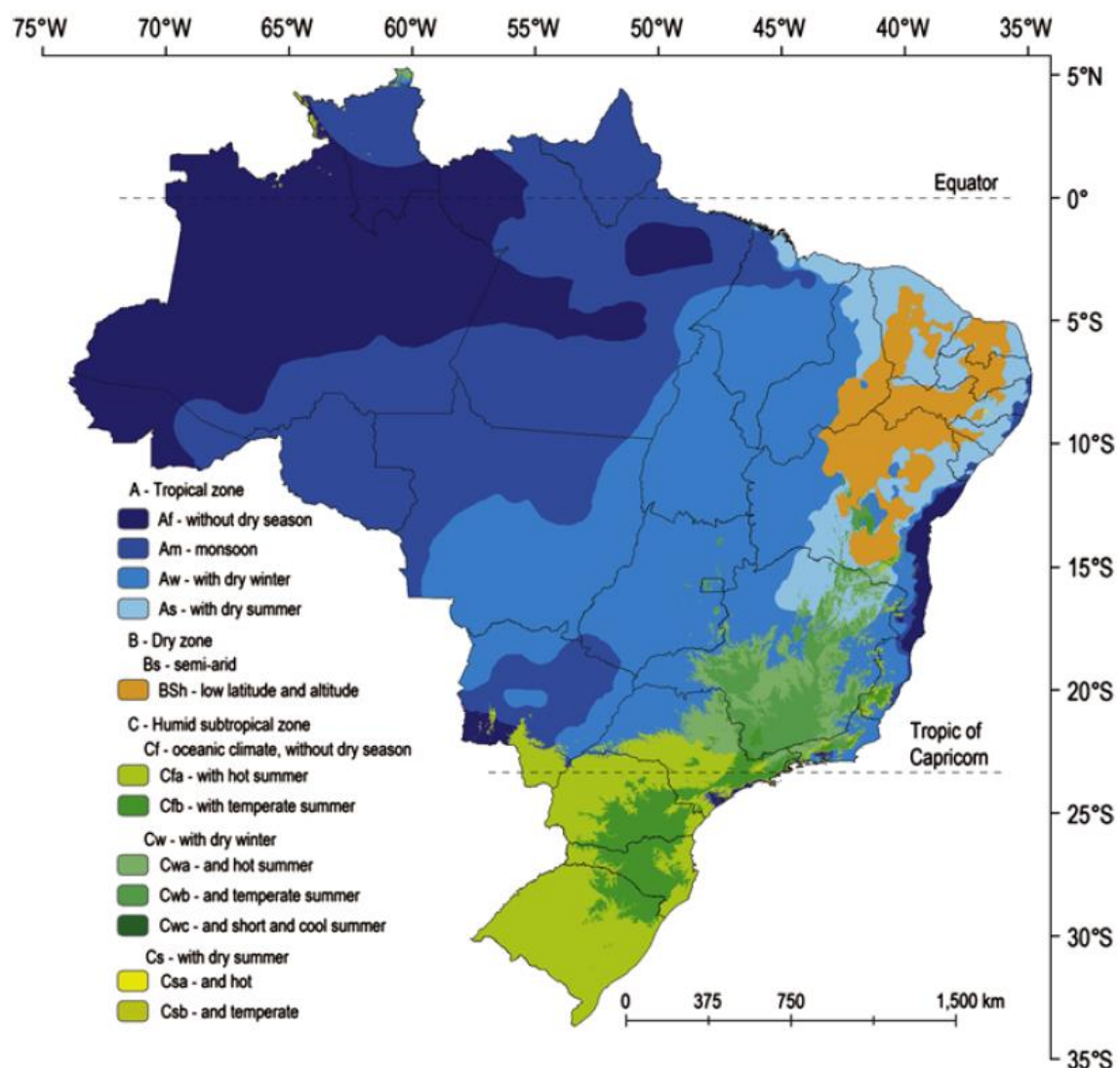


Figura 2.31: Classificação climática do Brasil de acordo com os critérios de Koppen (1936) e readaptada por Alvares Et al. (2014). Fonte: Alvares Et al. (2014)

A classificação climática dos autores aproxima-se da oficialmente adotada pelo IBGE (2002) a qual se ajustou somente nas características da temperatura e quantidade

de meses secos, por isso a escolha da classificação climática de Mendonça e Danni-Oliveira (2007) neste trabalho, por considerarem outros elementos climáticos que melhor refletem a realidade da área de estudo.

No RN, as estações do ano são definidas, com inverno chuvoso e verão seco. O regime pluviométrico na porção oriental do litoral potiguar é bastante regular com as chuvas distribuídas nos meses de Março a Agosto, sendo o mês de Junho o mais chuvoso e a estação seca entre os meses de Outubro, Novembro e Dezembro, estando as menores precipitações registradas no mês de Outubro.

2.4.2 Elementos Climáticos Locais

Muitos dados foram obtidos através das estações de pesquisa no porto de Natal e nos estudos realizados no litoral desse município e em municípios adjacentes, porém, por se tratar do mesmo contexto climático e de aspectos físicos oceanográfico em que está inserido o município de Tibau do Sul, já que ambos os municípios se encontram ao Sul do litoral oriental do RN, os dados adquiridos para compreender os elementos climáticos em Natal, também podem ser usados para entender os elementos climáticos do litoral de Tibau do Sul, área de estudo.

2.4.3 Precipitação

No período entre 2014 e 2017, a precipitação média anual ocorrida em Natal foi de 95,84 mm. Neste período, a menor precipitação anual ocorreu no ano de 2017, com 305 mm, enquanto que a maior precipitação se deu no ano de 2014, quando 1760,00 mm se precipitaram sobre a região em estudo (Figura 2.32).

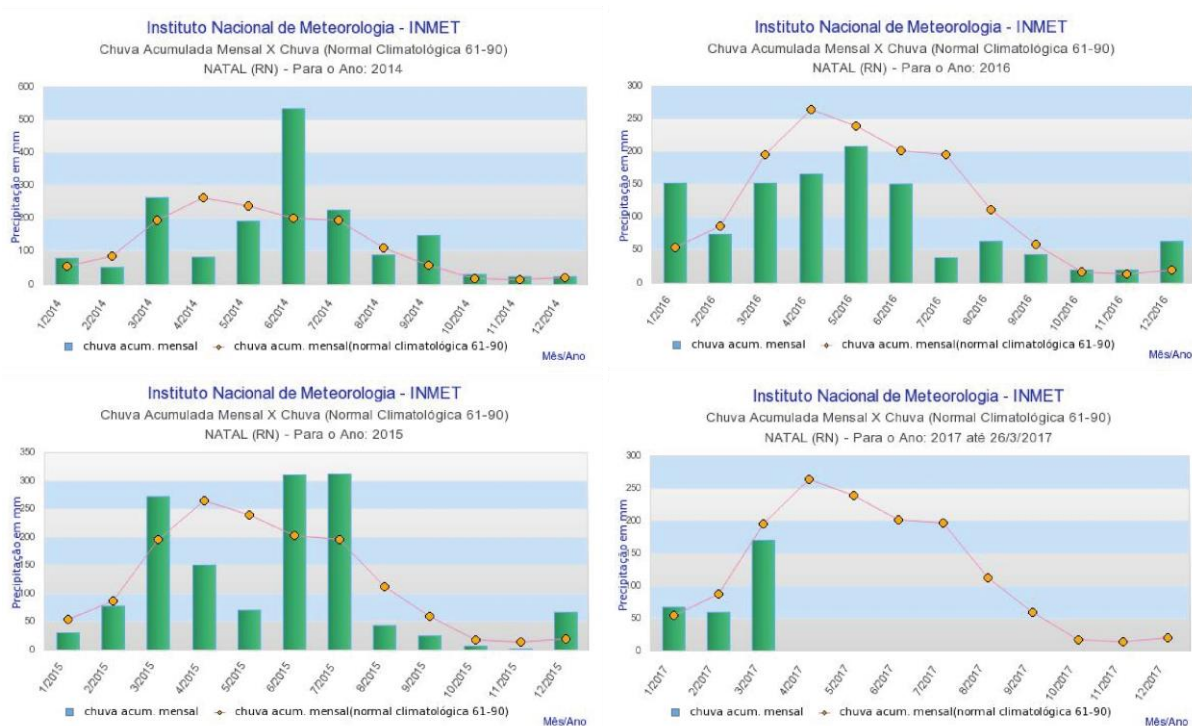


Figura 2.32: Gráficos apresentando a variação da precipitação e do acúmulo mensal de chuva anual nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 no litoral oriental do Estado, mais especificamente em Natal. Fonte: INMET (2017).

Para o período compreendido entre 2014 e 2017, a estação chuvosa na região de Macau estendeu-se de Fevereiro a Julho, sendo o mês de Março o mais chuvoso (média de 71,25 mm). Por sua vez dentro desses 4 anos, a estação seca abrangeu os meses de Agosto até Dezembro, sendo as menores precipitações registradas no mês de Agosto (Figura 2.33).

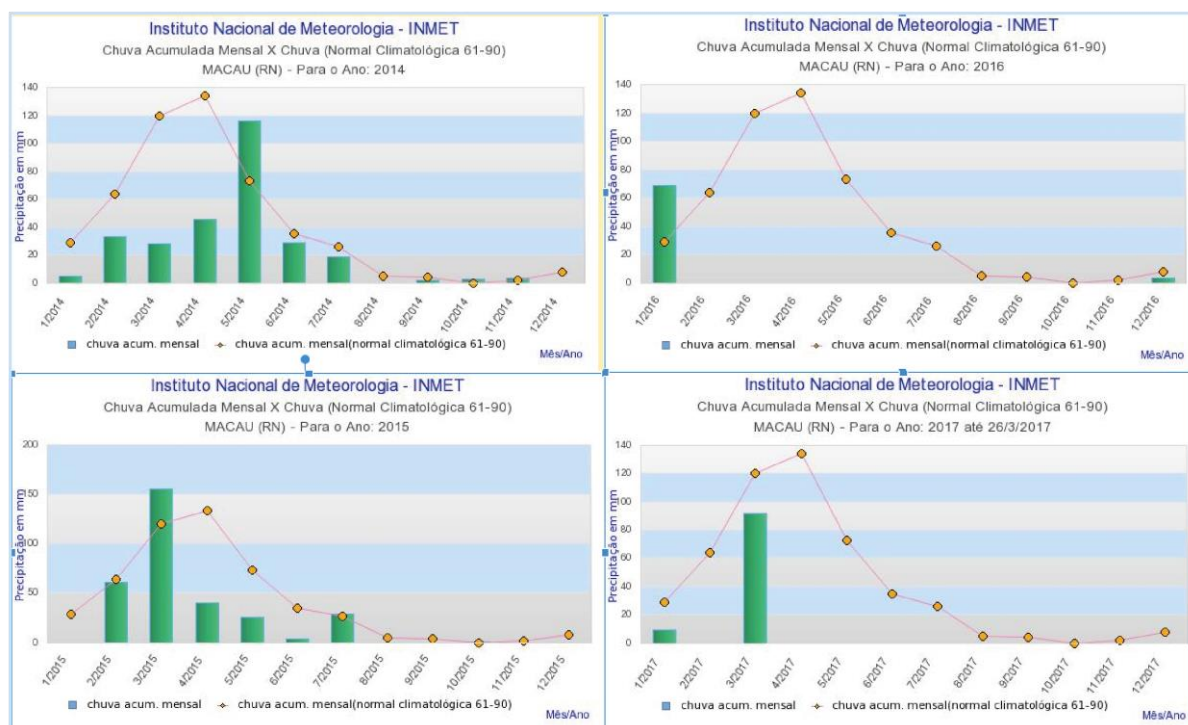


Figura 2.33: Gráficos apresentando a variação da precipitação e do acúmulo mensal de chuva anual nos anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 no litoral setentrional do Estado, mais especificamente em Macau.

Fonte: INMET (2017).

2.5 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-OCEANOGRÁFICA

O litoral brasileiro é resultado de uma grande interação entre processos tectônicos, geomorfológicos, climatológicos e oceanográficos. Portanto, devido à grande extensão desse litoral, esses processos – por atuarem de maneira diferenciada ao longo da costa – serviram de arcabouço para a identificação e compartimentação costeira (Muehe 1998). Dessa maneira Silveira (1964 apud Muehe 1998) identificou cinco grandes regiões: Norte, Nordeste, Leste ou Oriental, Sudeste e Sul. O Rio Grande do Norte, inserido na região Nordeste, está subdividido em duas: Costa Semiárida (na porção setentrional, que abrange desde a Baía de São Marcos em São Luís/MA até o Cabo do Calcanhar/RN) e na porção Oriental (Cabo do Calcanhar/RN até a baía de Todos os Santos/BA). O Município de Natal encontra-se no trecho denominado Macrocompartimento Costa dos Tabuleiros Norte, que abrange todo o litoral oriental do RN até parte do Estado de Alagoas (Figura 2.34).



Figura 2.34: Compartimentação do litoral do nordeste brasileiro: 4- Costa Semiárida Norte; 5- Costa Semi-Árida Sul, 6- Costa dos Tabuleiros Norte; 7- Costa dos Tabuleiros Centro; 8- Costa dos Tabuleiros Sul. Fonte: Muehe (1998).

O conhecimento da circulação e caracterização do clima de ondas apresenta acentuada importância no transporte de sedimentos na zona costeira e na erosão de rochas e depósitos eólicos, pois são os responsáveis pela esculturação de parte do relevo emerso. Ainda, fatores associados tais como disponibilidade de sedimentos e variação do nível relativo do mar, são de extrema importância no entendimento dos processos morfodinâmicos da costa e no planejamento e de obras costeiras, sejam elas de urbanização da orla ou de contenção e proteção frente à erosão.

2.5.1 Maré e Altura da Coluna de Água

O litoral do RN, mais especificamente a região do Porto de Natal é dominado pelo regime de mesomaré, com variação média nas marés de sizígia entre 2,4-0,2 m e amplitudes médias em torno de 2,2 m. Enquanto em marés de quadratura essas variações estão entre 1,9-0,8 m com amplitude média de 1,1 m. O nível médio do mar para a região é de 1,3 m (Carta náutica DHN/MB, nº810 - Proximidades do Porto de Natal). Já Matos Et al., (2011) afirmam que a maré local é semidiurna, onde o nível médio (Z0) estabelecido é 1,39 m acima do RN (Nível de Redução) com médias de preamares de sizígia de 2,34 m acima do RN, média de preamares de quadratura de 2,21 m, média de baixa-mares de sizígia de 4,3 m abaixo do RN e média das baixa-mares de quadratura de 5,6 m.

2.5.2 Temperatura da Água

Imagens orbitais do sensor AQUA-MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) destacaram para o litoral oriental do RN, estimativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) variando entre 24-27°C, no período de Janeiro a Setembro de 2012 (NASA, 2012).

2.5.3 Ondas

Lima Et al. (2012) mediram ondas de NE com período médio (Tmed) de 6,05 s e altura significativa (HS) de 0,89 m, podendo chegar a períodos de 8 s e 2,2 m de altura e de acordo com Amaro et al. (2012), entre Junho e Outubro de 2012, observações visuais sistemáticas de ondas que chegaram à praia de Ponta Negra foram realizadas, em geral durante períodos de maré baixa de sizígia, cujos resultados são mostrados na Tabela 03.

Tabela 03: Observações visuais de ondas. Fonte: Amaro et al. (2012).

Data	Altura (cm)	Período (s)
(05/06/2012)	18,3	5,3
Julho (04/07/2012)	36,4	6,2
Agosto (02/08/2012)	19,3	6,1
Agosto (18/08/2012)	39,6	7,0
Agosto (31/08/2012)	21,4	7,0
Outubro (01/10/2012)	30,1	6,0

Na análise espectral das ondas medidas in situ por medidor de ondas e correntes Aquadopp-Profiler® da Nortek A.S., Amaro et al. (2012) estabeleceram uma caracterização real do padrão de ondas na região da praia de Ponta Negra. O período de pico das ondas (Tp, s) apresentou mediana de 4,24 s, predominando ondas com Tp < 6 s (Figura 2.35) e alturas significativas (HS) de cerca de 0,78 m (Figura 2.36). Valores máximos e médios de HS foram de 0,97 e 0,54 m, respectivamente, com direção predominante de nordeste, em cerca de 040 Azimute.

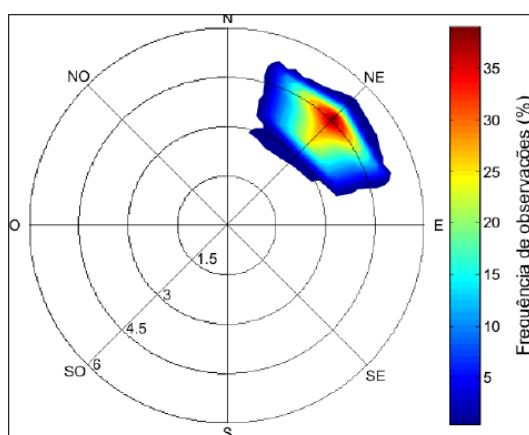


Figura 2.35: Diagrama de roseta mostrando a direção, período (s) e a frequência de observações das ondas para a região de Ponta Negra, no período de 01/10/12 a 05/10/12. Fonte: Amaro et al. (2012).

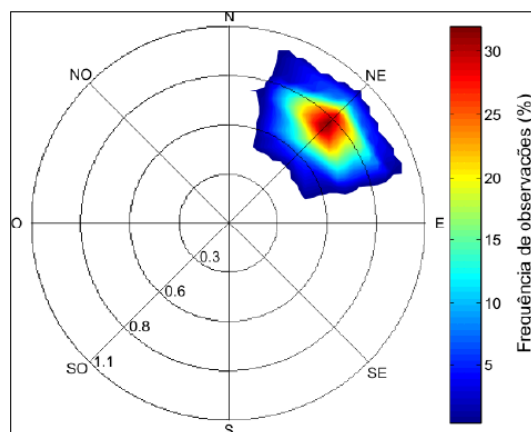


Figura 2.36: Diagrama de roseta mostrando a direção, altura significativa e a frequência de observações das ondas para a região de Ponta Negra, no período de 01/10/12 a 05/10/12. Fonte: Amaro et al. (2012).

2.5.4 Correntes Marítimas

As principais correntes marítimas que margeiam a costa do RN são a Corrente do Brasil, que acompanha o litoral do RN ao Rio Grande do Sul, direção norte-sul, com temperatura média de 22°C e a Corrente Equatorial que vai do Rio Grande do Norte ao Amapá, com direção leste-oeste e temperatura média de 25°C. Estas correntes influenciam o clima em todo o litoral brasileiro, alega Rosso (2007).

Lima et al. (2012) observaram que as correntes de maré vazante são predominantemente para o de SW com velocidade média de 0,10 m/s, enquanto as correntes de maré enchente (mais intensas) são de NW a NE, com velocidade média de 0,12 m/s. As maiores velocidades de correntes (até 0,37 m/s) ocorrem durante as marés de sizígia durante os meses que os ventos estão mais intensos.

2.6 VEGETAÇÃO

Nesse subcapítulo será abordado de forma geral os tipos de vegetação que se encontram em toda região costeira do Rio Grande do Norte, área de trabalho da primeira etapa do presente estudo e o tipo de vegetação em Tibau do Sul, referente a segunda etapa do trabalho.

2.6.1 Vegetação Regional

Nesse capítulo será abordado de forma geral os tipos de vegetação que se encontram na região costeira do Rio Grande do Norte, área de trabalho da primeira etapa do presente estudo, onde todas as formações vegetais estão apresentadas na Figura 2.37.

Floresta subcaducifolia

De acordo com MA/DNPEA-SUDENE/DRN/BRASIL (1971) e IDEC (1978), apresenta-se menos densa e de menor porte que a floresta subperenifolia e encontra-se atualmente devastada em sua quase totalidade, cedendo lugar as formações secundárias (capoeiras), culturas e pastagens. Caracteriza-se por apresentar caráter semi-deciduo, ou seja, parte dos componentes perde as folhas durante o período seco. Como espécies mais encontradas podem ser citadas: *Tabebuia sp.* (pau-d'arco amarelo); *Caesalpinia sp.* (pau-ferro); *Zollernia sp.* (pau-santo); *Hymenaea sp.* (jatobä); *Croton sp.* (marmeleiro); *Bowdichia sp.* (sucupira-mirim); *Piptadenia sp.*, (catanduba) e *Copaifera sp.* (pau-d'óleo), além das espécies de nome vulgar, localmente chamadas de eodoie, inharé, cipaua, calurnbi e outras. Distribuem-se em uma faixa compreendida entre a zona úmida oriental e a zona do Agreste.

Floresta ciliar de carnaúba

Nas margens dos rios Apodi, do Piranhas e em pequenas ocorrências constatadas em várzeas da zona úmida costeira, verifica-se uma formação florestal com predominância de *Copernicia cerifera* (carnaubeira), MA/DNPEA-SUDENE/DRN/BRASIL (1971) e IDEC (1978).

Nas proximidades das áreas marginais não inundáveis, associam-se à carnaubeira, *Licania rigida* (oiticica); *Ziziphys joazeiro* (juazeiro); *Geoff raea spinosa* (marizeiro); *Bumelia sartorum* (quixabeira); e *Erythrina velutina* (mulungu), MA/DNPEA-SUDENE/DRN/BRASIL (1971) e IDEC (1978).

Caatingas

São formações vegetais lenhosas, de porte baixo ou médio, tipicamente caducifolias de caráter xerófilo, com grande quantidade de plantas espinhosas, de espalhamento baixo, com muitas cactáceas e bromeliáceas em algumas áreas, que dominam na zona de clima semiárido do Estado do Rio Grande do Norte (aproximadamente 70 a 75% da área total). São características desta vegetação, as formas comuns de resistência à falta d'água, tais como: redução da superfície foliar, transformação das folhas em espinhos, cutículas cerosas nas folhas, órgãos subterrâneos de reserva, sendo, contudo, a mais importante e de maior ocorrência é a queda das folhas no período seco. Além disso, é bastante frequente a presença das verdadeiras espécies

xerófilas (cactáceas), que se caracterizam pela ausência de folhas e por serem suculentas, com grande reserva de água para o período de estiagem. As caatingas variam muito em porte e densidade e mesmo em composição florística. Em decorrência disto, procurou-se relacioná-las mais com as condições climáticas, que atendem melhor os objetivos do presente trabalho. Assim sendo foram feitas as duas subdivisões seguintes: caatinga hipoxerófila (menos seca) e caatinga hiperxerófila (de caráter xerófilo mais acentuado), como consta MA/DNPEA-SUDENE/DRN/BRASIL (1971) e IDEC (1978).

Cerrado

Vegetação conhecida por "tabuleiros" ou "cobertos" que corresponde a algumas savanas. É constituída por formações abertas, de aspecto característico, por apresentar árvores e arbustos tortuosos, de caule espesso, folhas muitas vezes coriáceas e ásperas, como acontece com a espécie *Curatella amerl cana* (lixeira). São constituídas por dois estratos: uns arbustivo-arbóreos e outros herbáceos. O estrato herbáceo é composto quase totalmente de gramíneas dispostas em moitas, destacando-se os gêneros *Aristida* e *Andropogon*. O arbustivo-arbóreo apresenta pequenas árvores e arbustos distribuídos esparsamente. Como espécies predominantes neste estrato citam-se: *Curatella americana* (lixeira); *Byrsonima cydoniaefolia* (murici-do-tabuleiro); *Ouratea fieldingiana* (batiputã); *Hancornia speciosa* (mangabeira); *Anacardium occidentale* (cajueiro); *Hirtella ciliata* (canoé); e *Miconia* sp. O cerrado é encontrado sobre os baixos platôs (tabuleiros) do litoral oriental do Estado, constituindo áreas esparsas intercaladas com matas ou formando faixa contínua, conforme foi constatado na parte setentrional da zona úmida costeira, afirmam MA/DNPEA-SUDENE/DRN/BRASIL (1971) e IDEC (1978).

Formações das praias e dunas

São formações rasteiras, mais ou menos densas, que ocorrem na orla marítima. Instalam-se sobre os sedimentos areno quartzosos, do Holoceno, de origem marinha, constituindo formação aberta ou em moitas esparsas. Junto as praias são frequentes as espécies: *Ipomoea pescaprae* (salsa-da-praia), *Sporobolus virginicus* e *Iresine portulacoides*. Como espécie arbórea destaca-se *Cocos nucifera* (coqueiro). As dunas móveis (vivas) não apresentam cobertura vegetal, porém as dunas fixadas são cobertas total ou parcialmente por vegetação, que ora é herbácea, escassa e rasteira, confundindo-se com as formações das praias, ora é arbórea formando moitas. Espécies dos gêneros *Anacardium* (cajueiros) e *Ficus* (gameleiras) à medida que as encostas das dunas se

elevam, aparecem entre as dominantes. Encontram-se também as gramíneas dos gêneros *Elionurus*, *Andropogon*, *Briza* e *Imperata*; ciperáceas, papilionáceas e algumas compostas, todas rasteiras. Espécies como *Remirea maritima* e *Spartina sp.* são tidas como fixadoras de dunas. Por vezes a vegetação das dunas mais antigas chegam a constituir uma mata de porte baixo. Sérgio Tavares (89) assinala nestas formações, espécies dos seguintes gêneros: *Cecropia*, *Ficus*, *Ximenia*, *Ouratea*, *Hirtella*, *Piptadenia*, *Hymenaea*, *Vitex*, *Zollernia*, *Bowdichia*, *Caesalpinia* e outros. Nota-se também a ocorrência de bromeliáceas, orquidáceas e aráceas, de acordo com MA/DNPEA-SUDENE/DRN/BRASIL (1971) e IDEC (1978).

Manguezais

São formações vegetais características das áreas alagadiças e lamacentas, sujeitas ao movimento das marés, que se formam nas desembocaduras dos rios. Apresentam fisionomia bastante uniforme, normalmente com pequenas árvores que apresentam raízes suporte, em virtude da elevação periódica do nível da água. Nos manguezais mais desenvolvidos é frequente o *Chrysobalanus icaco* (guajeru). Próximo ao mar verifica-se dominância *Rhizophora mangle* (mangue vermelho). Ocorre também *Laguncularia racemosa* (mangue manso) e *Avicennia sp.* (mangue canoê), *Conocarpus erectus* (mangue ratinho) e nas áreas marginais nota-se a presença de samambaia, *Acrostichum aureum*. Os manguezais ocupam maiores extensões no litoral oriental, explica MA/DNPEA-SUDENE/DRN/BRASIL (1971) e IDEC (1978).

Mata Atlântica

Predominante principalmente na região litorânea, no Estado do RN, se estendia anteriormente desde a Baía Formosa até Maxaranguape, em 3.000 quilômetros quadrados, 6% da superfície do Estado. Hoje se concentra mais no litoral oriental do RN. Este ecossistema constitui uma das maiores diversidades biológicas do planeta, fauna e flora que nele existem são específicas e correspondem a algumas espécies raras e ameaçadas de extinção. A flora é constituída por “Pau-Brasil”, “Jatobá”, “Maçaranduba”, “Gameleira”, “Sapucaia”, “Peroba”, “Sucupira”, “Anescla”, cita MA/DNPEA-SUDENE/DRN/BRASIL (1971) e IDEC (1978).

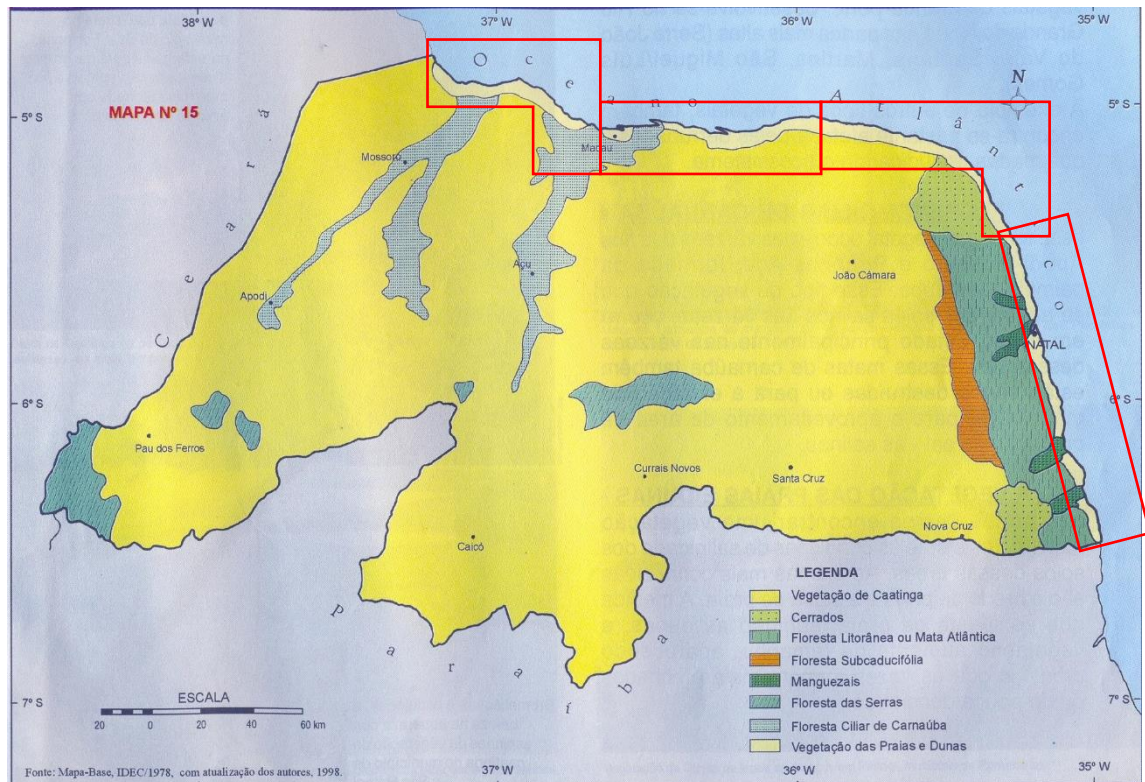


Figura 2.37: Mapa das formações vegetais do Estado do Rio Grande do Norte com a área de estudo sendo demarcada pelos limites em vermelho. Fonte: IDEC (1978).

2.6.2 Vegetação Local

Verifica-se a existência de uma considerável riqueza florística para o litoral sul do Rio Grande do Norte. Na região onde está inserido o município litorâneo de Tibau do Sul, foi apurado que o uso de apenas um grupo restrito de espécies não é suficiente para caracterizar a área como um tabuleiro arenoso, já que existe uma mistura de espécies de mata atlântica, restinga e cerrado compondo este ecossistema litorâneo, afirmam Almeida Jr. Zickel & Pimentel (2006).

A família Myrtaceae, devido ao maior número de fanerófitas, contribuiu com o elevado número de espécies (Almeida Jr. Zickel & Pimentel, 2006). Outro grupo taxonômico importante foi a família Leguminosae (latu senso), a qual também foi representativa na área, fato que também foi observado em áreas litorâneas como as restingas e os tabuleiros arenosos (Cantarelli, 2003). Quanto ao espectro biológico, entre as fanerófitas, as arbustivas foram mais expressivas na área e em outras regiões litorâneas do Nordeste (Cantarelli, 2003). Entre as famílias herbáceas, Cyperaceae foi a que apresentou maior riqueza, explica Almeida Jr. Zickel & Pimentel (2006).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Análise Multitemporal

De acordo com Souto (2009); Amaro et al. (2012) é possível mensurar, em detalhe, quantitativamente e qualitativamente, diversas formas progradacionais e retrogradacionais, a partir do uso do sensoriamento remoto e suas técnicas multisensores, possibilitando o conhecimento preciso do posicionamento da linha de costa e identificação das feições geomorfológica, expondo informações ligadas a intensidade, abrangência e história evolutiva dos fenômenos costeiros.

Tal afirmação é observada em estudos realizados por Genz et al. (2007) que mostram a comparação entre os métodos de taxas de erosão costeira em Maui et al. (2009) que comparam dados da linha de costa de múltiplas fontes como sensores remotos e sistema terrestre de posicionamento (*Global Positioning System* e *Light Detection and Ranging*) na Carolina do Sul (EUA).

Thieler et al. (2009) desenvolveram diversos métodos estatísticos em modelos, como por exemplo o de regressão linear: Taxa de Regressão Linear (LRR), Mínimos Quadrados Medianos (LMS) e Regressão Linear Ponderada (WLR), numa suíte computacional *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS/NOOA) para análise de recuo/acresção de linha de costa, disponível no Sistema digital de análise de linha de costa (DSAS). Desde então, novos estudos foram desenvolvidos como o de Busman et al. (2014) que realizaram prognóstico da movimentação da linha de costa da praia de Ponta Negra com métodos de regressão temporal em transectos, utilizando algoritmos da suíte computacional *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS/NOOA).

Amaro et al. (2013) comparou Linhas de Costa e Modelos Digitais de Elevação da ilha barreira, em escala trimestral, para obtenção de áreas e volumes de erosão/acresção e do fluxograma do balanço sedimentar. A análise dos mapas permitiu ainda identificar a orientação do transporte de sedimentos na linha de costa e as implicações no balanço sedimentar.

Amaro et al. (2015), por meio de análise espaço-temporal de imagens de satélite de resoluções moderadas a altas, identificaram o avanço da linha de costa na praia de Ponta Negra, em escalas de tempo decadal e anual, notadamente intensificados quando

dos *booms* de urbanização da orla, década de 70 e primeira década dos anos 2000. Foram obtidas taxas de avanço da linha de costa com até 3,7m/ano nas áreas mais afetadas.

3.2 *Checklist* de linhas de costa

Com o aparecimento de novas tecnologias de precisão milimétrica para o monitoramento do recuo de falésias nos últimos anos, como o LiDAR e o VANT, a realização do *checklist* em mapeamento de campo na área em estudo se tornou ainda mais necessária. Devido aos altos custos financeiros e de tempo, se torna inviável para a pesquisa o imageamento de toda costa em análise. Sabendo que o recuo nesses tipos de formações rochosas geralmente é local, se torna imprescindível a realização do *checklist* da área para identificar os pontos onde ocorreram mais recuo ou que apresentam erosões mais intensas. Só assim, através dos dados fornecidos pelo *checklist*, poderão ser escolhidos os melhores locais para realizar um monitoramento com suporte dessas ferramentas de alta precisão citadas acima. A seguir serão apresentados trabalhos mais atuais pertinentes ao uso de *checklist* para reconhecimento e avaliação das áreas com problemas erosivos ou propensos à erosão, e que se baseia esse trabalho.

Braga (2005) ao pesquisar e analisar os *checklists* mais utilizados nos trabalhos costeiros como os de MDNR (1975), Tainter (1982), Meyers (1993), Goda (1995), Cambers (1998), ARC (2000), Serra et al. (2002), NRPC (2003) e WDE (2004), notou que alguns aspectos dos *checklists* analisados não são compatíveis com os elementos encontrados na região de Tibau do Sul – RN, sua área de estudo. Estes aspectos estão relacionados aos processos erosivos, como a ação do gelo; aos diferentes materiais que compõe as encostas, como os depósitos glaciais; além das características presentes em regiões afetadas por tempestades, como: as inundações; entre outros. Por fim, após classificar os elementos que são pertinentes à área de estudo, o mesmo propôs um novo *checklist* (Tabela 04).

Tabela 04. *Checklist* proposto. Fonte: Braga (2005).

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: _____.	Sub-trecho: _____.
Data/Horário: _____.	Lua: _____.
Maré: _____.	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia:	
Falésias vivas	☐
Falésias recuadas	☐
Altura da falésia (aprox.) _____.	Perfil do talude (aprox.) _____.
Vegetação e sua distribuição: () Topo; () Face; () Base.	
Uso da falésia: () Acesso à praia; () Mirante; () Área de preservação; () Outros: _____.	
Estruturas na Falésia:	
Uso da propriedade: () Moradia; () Veraneio; () Pousada; () Comércio; () Outros: _____.	☐
Qual a distância da estrutura até a borda da falésia? _____.	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia?	☐
Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial?	☐
Erosão Pluvial, Qual? (ravinas, voçorocas) _____.	☐
Contribuições na erosão superficial: () Drenos de casa; () Irrigação; () Outros. _____.	
Percolação da água subterrânea:	
As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação; () Drenos; () Piscinas; () Outros _____.	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	☐
Há deslizamentos ativos ou históricos?	☐
Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? _____.	☐
Ação da onda:	
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: _____.	☐
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: _____.	☐
As ondas escovam o pé da falésia?	☐
Proteção no pé da falésia. Tipo: _____.	☐
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: _____.	☐
A obra causa mais erosão?	☐
Obs: _____	

Porém, os *checklists* ainda continuam sendo aprimorados para melhor descreverem qualitativamente e quantitativamente ambientes costeiros cada vez mais específicos. Como por exemplo o de Lima (2006) que desenvolveu um *checklist* para o monitoramento da faixa de praia que possibilita a obtenção de dados quantitativos e qualitativos, e permite o estudo da dinâmica costeira. Esse *checklist* é norteado pelo método da análise integrada de dados de nivelamento topográfico, coleta de dados

hidrodinâmicos, caracterização ambiental, e análise sedimentológica. Nunes (2011) aperfeiçoou esse *checklist* para a realidade das praias de Areia Preta, dos Artistas, do Meio e do Forte, localizadas em Natal/RN onde realizou um monitoramento durante onze meses (Tabela 5).

Enquanto que Li Lin & Pussella (2017) analisaram o *checklist* em relação a vulnerabilidade de erosão costeira desenvolvido por Abuodha et al. (2010) para analisar a erosão costeira de Illawarra, sudeste da Austrália e posteriormente, aperfeiçoaram para descrever melhor o ambiente costeiro do Sri Lanka devido ao crescente interesse da comunidade em amenizar o processo de erosão costeira e prevenir os danos a propriedades e estruturas que estão situadas ao longo da costa arenosa de perfil praiial dissipativo, no referente país. De acordo com a disponibilidade de dados, nove fatores foram selecionados: geomorfologia, largura da duna de areia, declive costeiro, taxa de mudança de litoral, alcance médio das marés, direção das marés, altura média das ondas, disponibilidade de medidas de proteção costeira e cobertura vegetal da terra adjacente à costa (Tabela 6). Os valores foram categorizados como áreas vulneráveis muito baixas, baixas, moderadas, altas e muito altas. Além disso, o estudo identificou os hotspots com maiores valores de índice de vulnerabilidade à erosão costeira (CVI) para receber mais atenção.

Já Rabelo (2018) desenvolveu um *checklist* para descrever e monitorar as regiões costeiras praiais e de falésias do Sudeste da Ilha do Maranhão, tendo como base a identificação da geodiversidade das regiões. O *checklist* é constituído por três fichas, a primeira é para descrever e identificar os pontos de interesse de geodiversidade (Tabela 7), onde é analisado a localização, enquadramento geológico, o estatuto legal da área, o aproveitamento do terreno, o tipo de interesse do local, o fenômeno geológico e processos sedimentares. A segunda é a ficha de caracterização do ambiente praiial (Tabela 08), onde é descrito cada ambiente praiial observado, desde o pós-praia, escarpa de berma, praia (estirâncio) e antepraia. Por fim, a última ficha é a de descrição de amostras, onde é feito uma análise petrográfica das amostras de rochas obtidas das falésias nas áreas de estudo (Tabela 09).

Tabela 05. Checklist de nivelamento topográfico e dados hidrodinâmicos. Fonte: Adaptado de Nunes (2011).

Projeto:			Perfil:			
Data:		Hora de Início:		Hora de Término:		
Az:		Coordenadas UTM:				
Hora da maré:			Altura da maré:			
Estaca	Distância(m)	Ré (mm)	Vante (mm)	Al.	Cota	Obs

Observações de onda:

ALTURA H(cm) (fazer 12 observações consecutivas, descartar as duas maiores e realizar uma média das outras restantes)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

PERÍODO T (min) (fazer 12 observações, descartar a maior e a menor e realizar uma média das outras restantes)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

TIPO DE ARREBENTANÇA: () Mergulhante () Deslizante () Ascendente

Direção do vento _____ Declividade média do estirâncio: _____ Distância entre as cúspides: _____, _____, _____ m
VELOCIDADE DA CORRENTE LITORÂNEA ($\Delta V = \Delta S / \Delta T$) T1: _____ T2: _____ T3: _____ ΔV: _____
Direção de propagação de ondas: _____ Direção de linha de costa: _____ Ângulo de incidência das ondas: _____

Erosão: () Sim () Não Deposição: () Sim () Não Largura (m): _____ Interferência antrópica: Construção: () Pequena () Média () Grande () Outras Vegetação: () Gramíneas () Salsa de praia () Coqueiros () Mangueiras () outras. Sedimento: () Fino () Médio () Grosso. Minerais pesados: () Sim () Não Material Poluente: () Vidro () Plástico () Metal () Lixo orgânico () outros. Corpo d'água: () Rio () Riacho () Lagoa () Lago () Maceió () outros Dunas: () Sim () Não. OBS.:

ESCARPA DE BERMA Altura: _____ Inclinação: _____ Est. Sedimentar: () Sim () Não

PRAIA (ESTIRÂNCIO) Erosão: () Sim () Não Largura: _____ m Inclinação: _____ Interferência antrópica: () Espigão () Enrocamento () Muro de arrimo () Gabião Sedimento: () Fino () Médio () Grosso. Minerais pesados: () Sim () Não Estrutura sedimentar: () Marcas de onda () Marcas de corrente () Caneleta () Estratificação () Marcas de escorregamento () Marcas de espraiamento () Linha de Deixa () Cúspides Material Poluente: () Vidro () Restos orgânicos () Petróleo e derivados () Outros OBS: _____
--

ANTEPRAIA Sedimento: () Fino () Médio () Grosso Recifes: () Arenito () Barreiras () Coral Influência Antrópica: () Sim () Não Tipos de Onda: () Mergulhante () Deslizante () Frontal () Ascendente
--

Tabela 06: Fatores considerados na avaliação da vulnerabilidade e seus pesos iniciais. Fonte: Li Lin & Pussella (2017).

Ranking Inicial dos Fatores de Vulnerabilidade Costeira					
Fatores	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto
Geomorfológico	Falésias altas de rochas duras	Falésias médias	Estuários/lagoas	Lamacento	Costa arenosa
Largura da duna de areia (m)	>50	30–50	10–30	3–10	<3
Inclinação do perfil praial (%)	>2.0	1–2	0.5–1	0.1–0.5	<0.1
Taxa de erosão costeira (m/ano)	≤0	0–0.2	0.2–0.5	0.5–1	>1
Faixa de máre média (m)	<0.5	0.5–1	1–1.5	1.5–2	>2
Direção da máre	>800	700–800	600–700	450–600	<450
Altura média da onda (m)	<0.2	0.2–0.5	0.5–1	1–2	>2
Medidas de proteção	Barreiras naturais	–	Barreiras artificiais	–	Aberto
Uso da terra adjacente	Floresta	Arbustos	Agricultura	Pantanosos	Construções

Tabela 07: Ficha dos pontos de interesse de Geodiversidade – Identificação. Fonte: Rabelo (2018).

Pontos de interesse de Geodiversidade - identificação	
N ° do Ponto:	Data:
Localização Geográfica:	
Coordenadas:	
Acesso (Avenida, Rua,Estrada):	
Povoado/comunidade mais próxima (qual e distância):	
Acessibilidade:	
Fácil () Moderada (....) Díficil (.....)	
Enquadramento geológico geral:	
Ambiente dominante:	
(....) Plutônico (....) Vulcânico (....) Metamórfico (....) Sedimentar	
Avaliação Preliminar	
Magnitude do local:	
(....) Sítio [<0.1 ha] (....) Lugar [0.1 – 10 ha] (....) Zona [10 – 1000 ha] (....) Área [> 1000 há]	
Condições de observação:	
(....) Boas (....) Satisfatórias (....) Regulares (....) Ruins	
Vulnerabilidade:	
(....) Muito elevada (....) Elevada (....) Razoável (....) Baixa (....) Muito Baixa	
Estatuto Legal - Local:	
Submetida a Proteção :	
(....) Direta (....) Indireta (....) Sem Proteção	
Se sim, qual (APA, APP, Parque, etc.)?	
O local é sensível a divulgação:	
(....) Muita (....) Pouca (....) Nenhuma	
Nível de urgência para promover a proteção:	
(....) Muito urgente ..(....)Urgente ..(....) A médio prazo (....) A longo prazo	
Quais as principais características que justificam sua proposta:	
Aproveitamento do terreno	
(....) Rural: (....) Florestal (....) Agrícola	
(....) Não Rural: . (....) Zona Industrial (....) Zona Urbana (....) Urbanizado (....) Outros	
Situação administrativa: (....) Propriedade do Estado (....) Propriedade de entidades públicas (....) Propriedade particular	
Obstáculos para aproveitamento do local:	
(....) Sem obstáculos	
(....) Com obstáculos. Próximo a: (..) Industrias (..) Depósitos (..) Urbanizações .(..) outros.	
Quais?	
Tipo de Interesse do local	
Pelo conteúdo (B – baixo; M – médio; A – alto):	
Geomorfológico: (....) B (....) M (....) A	Estratigráfico: (....) B (....) M (....) A
Paleontológico: (....) B (....) M (....) A	Tectônico: (....) B (....) M (....) A
Hidrogeológico: (....) B (....) M (....) A	Mineralógico: (....) B (....) M (....) A
Geoquímico: (....) B (....) M (....) A	Petrológico: (....) B (....) M (....) A

Tabela 08: Ficha de caracterização ambiental. Fonte: Rabelo (2018).

Caracterização do ambiente Praial	
Nº do ponto:	Data:
Horário de Início:	Horário de fim:
Pós-praia	
- Erosão: (....) Sim (....) Não	Deposição: (....) Sim (....) Não Largura: _____
- Interferência antrópica: (....) Sim (....) Não Construções), Quais? (....) Pequena (....) Média (....) Grande	
- Vegetação: (...) Gramíneas (...) Salsa de praia (...) Coqueiros (...) Outras, quais?	
- Sedimento: (...) Fino (....) Médio (....) Grosso	
- Minerais pesados: (...) Sim (....) Não	
- Material poluente: (...) Vidro (...) Plástico (...) Metal (...) Lixo orgânico (...) Outros	
- Corpo d'água: (...) Rio (...) Riacho (...) Lagoa (...) Lago (...) Outros, quais?	
- Dunas: (...) Sim (....) Não	
Observações:	
Escarpa de Berma	
Altura: _____	Est. Sedimentar: (...) Sim (....) Não
Inclinação: _____	
Praia (estirâncio)	
Largura: _____ m	Inclinação: _____
- Erosão: (....) Sim (....) Não	
- Interferência antrópica: (...) Espigão (...) Enrocamento (....) Muro de arrimo (...) Gabião	
- Sedimento: (...) Fino (....) Médio (....) Grosso	Minerais pesados: (...) Sim (....) Não
- Estrutura sedimentar: (...) Marcas de onda (....) Marcas de corrente (....) Caneleta (....) Estratificação (....) Marcas de escorregamento (....) Marcas de espraiamento (....) Linha de Deixa (....) Cúspides	
- Material poluente: (...) Vidro (....) Restos orgânicos (....) Petróleo e derivados (....) Outros, quais?	
Observações:	
Antepraia	
- Sedimento: (...) Fino (....) Médio (....) Grosso	
- Recifes: (...) Arenitos (....) Barreiras (....) Corais	
- Influência antrópica: (...) Não (....) Sim, quais?	
- Tipos de ondas: (...) Mergulhante (....) Deslizante (....) Frontal (....) Ascendente	
Observações:	

Tabela 09: Ficha de descrição de amostras. Fonte: Rabelo (2018).

Descrição das amostras	
Nº do ponto:	Coordenadas:
Nome do local:	
PETROGRAFIA	ROCHAS SILICICLÁSTICAS
Textura:	Seleção:
Granulação:	Maturidade Textural:
Esfericidade:	
Estrutura:	
Arredondamento:	Porosidade:
Fábrica:	
Contatos: () Grãos Flutuantes (..) Pontuais (....) Retos (....) Côncavos-Convexos (....) Sutados	(..) Intergranular (....) Intercristalina (..) Agigantada (....) Fratura (....) Outros
Índice de Empacotamento: (....) Frouxo (....) Normal (....) Apertado	
Composição:	
Arcabouço:	Matriz e Cimento:
Classificação:	

4. METODOLOGIA

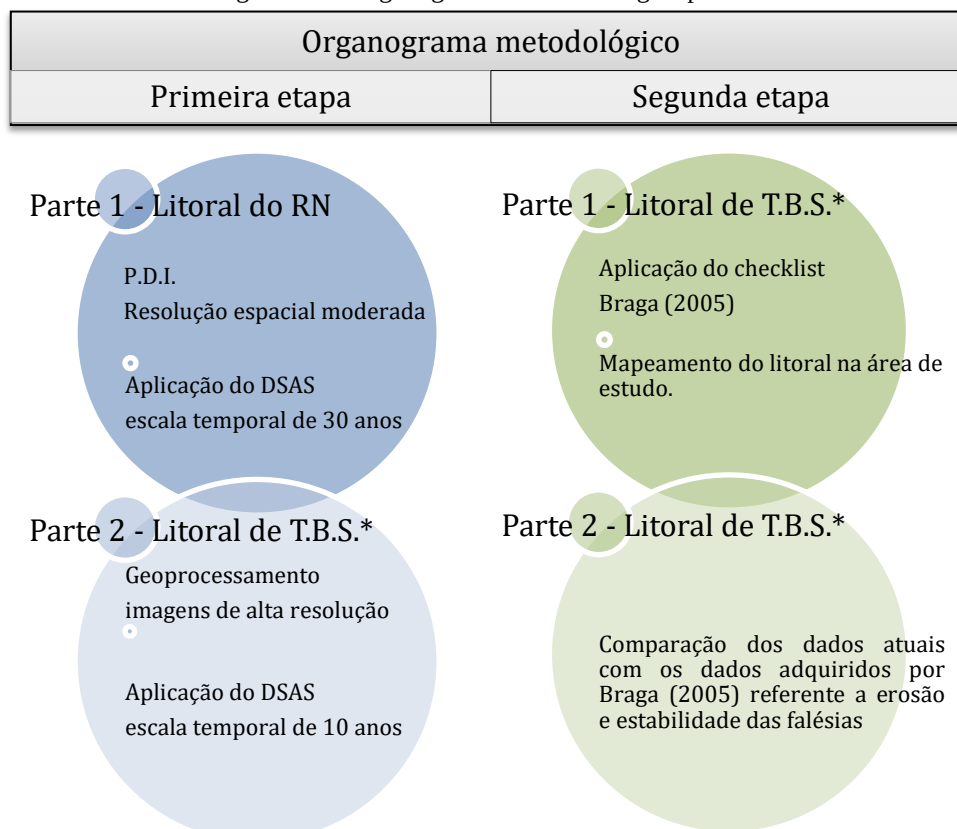
Este capítulo trata-se da metodologia de análise multitemporal por meio do sistema de análise de linha de costa digital (*Digital Shoreline Analysis System – DSAS 4.4*) através de geoprocessamento e da aplicação de *checklist* em levantamento de campo para a caracterização de um local perante aos processos erosivos atuantes.

Na primeira etapa são apresentados os diferentes materiais utilizados, como imagens de média a alta resolução espacial com diferenças temporais de aproximadamente 10 anos e 5 anos, respectivamente, e os métodos de georreferenciamento, processamento digital de imagem e aplicação do DSAS para identificar os pontos que apresentaram recuo ao longo da escala temporal predefinida. A segunda etapa é focada no levantamento de dados de campo através da aplicação *checklist* e são feitas considerações a respeito dos seus instrumentos de pesquisa para a caracterização da erosão costeira.

A primeira etapa é dividida em duas partes, a primeira de caráter regional, tem o objetivo de identificar todos os locais em que ocorreu recuo de falésia no litoral do Rio Grande do Norte e quantificar a média de recuo das mesmas, através do geoprocessamento e análises multi-temporal no decorrer de 3 décadas em imagens de resolução espacial média, entre os anos de 1986, 1994, 2004 até 2014 para o litoral Oriental e entre os anos de 1984, 1993, 2002 até 2013 para o litoral Setentrional, utilizando o software ErMapper 7.1 e a ferramenta DSAS 4.4 disponível no software de ArcGIS 10.5.1, através dos métodos estatísticos Taxa de Ponto Final e Linha de Regressão Linear. Já a segunda parte é aplicar os mesmos métodos na região de Tibau do Sul, utilizando imagens de alta resolução numa escala temporal de 10 anos, entre os anos de 2003, 2008 e 2013 (Figura 4.1).

Enquanto que a segunda etapa, também dividida em duas partes, onde a primeira é a aplicação do *checklist* em todo o litoral de Tibau do Sul em 2018, utilizando os mesmos procedimentos adotados por Braga (2005) e posteriormente, na segunda parte, realização de uma comparação dos resultados de ambos os *checklists*, 2005 e 2018, para identificar precisamente as mudanças físicas que ocorreram na área de estudo ao longo de uma escala temporal de 13 anos (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Organograma da metodologia aplicada.



*T.B.S. significa Tibau do Sul.

Para a análise multitemporal de imagens de resolução moderada, foram selecionadas imagens ópticas dos sensores Landsat 5-TM, Landsat 7-ETM e RapidEye, com resolução espacial de 30 m, 15 m e 5 m, respectivamente, e datas entre os anos de 1986 e 2014 (total de 28 anos) para o litoral oriental e datas entre os anos de 1984 e 2013 (total de 29 anos) para o litoral Setentrional do Estado. Para a análise das imagens de resolução alta, foram selecionadas imagens ópticas do sensor Quickbird, com resolução espacial de 2,4 m na banda multiespectral e datas entre os anos de 2003 e 2013 (total de 10 anos), para o litoral de Tibau do Sul. Todas as imagens foram corrigidas por ortoimagens e pontos de controle no terreno (Ground Control Points, GCP), cujas características de aquisição também se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 - Características de aquisição dos sensores e imagens ópticas que foram utilizadas para a análise multitemporal do litoral do RN.

Satélite	Data de Aquisição	Resolução Espacial (m)	Georreferenciamento	RMS/Erro acumulado (metros)
LANDSAT 5-TM	19/07/1984	30	Ortorretificado	4,522
LANDSAT 5-TM	20/09/1986	30	Ortorretificado	4,305
LANDSAT 5-TM	05/09/1993	30	Polinomial Quadrático (1984)	0,623/4,916
LANDSAT 7-ETM+	29/01/1994	15/30	Polinomial Quadrático (1986)	0,577/4,584
LANDSAT 7-ETM+	13/07/2002	15/30	Polinomial Quadrático (1984)	0,667/3,371
LANDSAT 7-ETM+	14/04/2004	15/30	Polinomial Quadrático (1986)	0,621/3,345
RAPIDEYE	29/04/2013	6,5	Polinomial Quadrático (1984)	0,701/3,551
RAPIDEYE	30/08/2014	6,5	Polinomial Quadrático (1986)	0,679/3,489
QUICKBIRD	12/08/2003	2,4	Polinomial Quadrático (1986)	0,577/4,584
QUICKBIRD	05/05/2008	2,4	Polinomial Quadrático (1986)	0,679/3,489
QUICKBIRD	12/03/2013	2,4	Polinomial Quadrático (1986)	0,679/3,489

Alguns dos problemas identificados nas imagens digitais são de origem do próprio sensor, por perdas de estabilidade da plataforma aloja que o aloja, como também do próprio contato do sensor com a atmosfera que pode gerar distorções nos dados das imagens como deformações de escala, incorreções nas posições espaciais dos pixels, perda de contraste entre os alvos ou registros incorretos dos valores digitais dos pixels, cita Menezes & Almeida (2012). Por isso é necessário corrigir a imagem ou compensá-la dos erros que apresentam. As correções dessas distorções fazem parte do conjunto de funções de processamento que se denomina pré-processamento.

Menezes & Almeida (2012) também explicam que as técnicas de pré-processamento são assim denominadas porque não visam transformações das imagens, as quais têm, como principal objetivo, melhorar a qualidade visual da cena. As correções constituem uma importante etapa de processamento, porque nos processamentos subsequentes, tais como as transformações de realces espectrais, essas imperfeições seriam também realçadas. Essa etapa consistiu na criação de um mosaico de 5 imagens do sensor REIS em uma única imagem que abrangesse todo o litoral Oriental e uma outra imagem que abrangesse todo o litoral Setentrional do RN. Foi realizado o reescalamento de todas as imagens de 16 bit para 8 bit, além da transformação das 6

bandas espectrais dos sensores Landsat 5-TM, do Landsat 7-ETM+ e REIS (bandas de 1 a 5) em um único arquivo no formato .ers (ER Mapper Raster Dataset).

As imagens do sensor Landsat 5-TM de 1986 e de 1984 foram corrigidas geometricamente e ortorretificadas pelo United States Geological Survey (USGS) e obtidas no sítio <http://glovis.usgs.gov>. Entretanto, foi realizada a conferência do registro geométrico dessas imagens, obtendo-se resultado satisfatório condizente com a USGS. Tais imagens serviram de base para o georreferenciamento das demais, que foram disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e obtidas nos sítios <http://www.mma.com.br/> e <http://www.inpe.br/> respectivamente. Dessa forma, os erros resultantes da correção das imagens do INPE e do MMA são incrementados aos erros das imagens do USGS. Para o georreferenciamento das imagens do INPE, utilizou-se um polinômio de segunda ordem (quadrático) no qual só foram admitidos resíduos inferiores a 1. O uso destes dados de sensores remotos orbitais permitiu estabelecer a padronização do conjunto de imagens e, desse modo, a comparação dos dados temporais da linha de borda de falésia entre os anos de 1986 e 2014 para o litoral oriental e entre os anos de 1984 e 2013 para o litoral setentrional. A Tabela 10 apresenta os erros e modelos matemáticos envolvidos no georreferenciamento das imagens utilizadas. Para o sistema de coordenadas das imagens foi utilizado a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 24-Sul e 25-Sul e o Datum SIRGAS 2000.

Os efeitos do espalhamento atmosférico adicionam um valor de brilho a todos os pontos da imagem e as áreas sombreadas deixam de exibir pixels com valores zero ou bem próximos de zero, causando às imagens uma aparência desfocada ou de névoa, devido à perda de contraste apresentada por elas. Por isso, foi realizado o cálculo estatístico e a partir disso, utilizado o efeito de correção atmosférica pelo método do pixel escuro, para diminuir esse efeito e melhorar o contraste visual entre as feições. A importância dessa etapa é garantir o menor erro possível e obter o máximo de informações hiperespectral das imagens de satélites, explicam Agrawal e Sarup (2011).

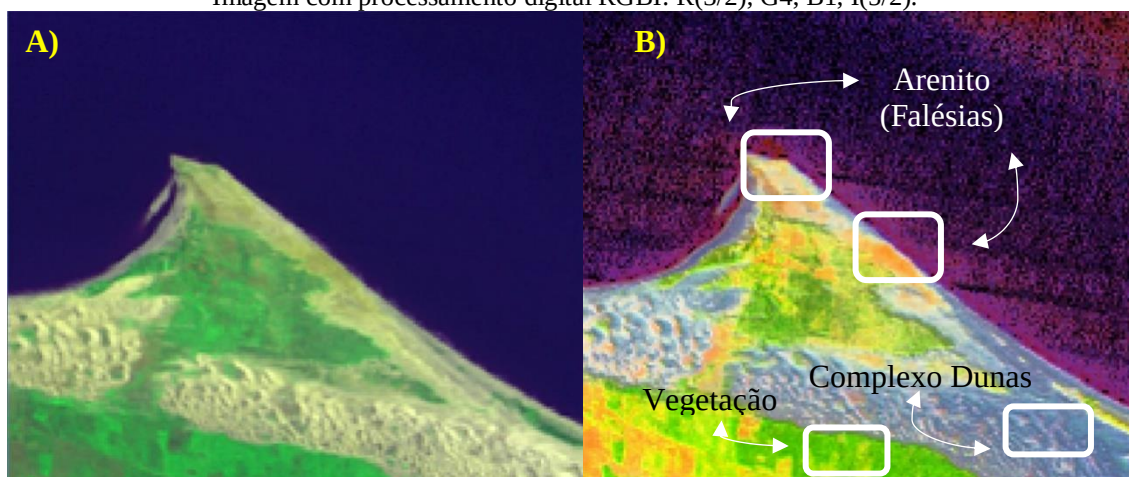
Processamento Digital das Imagens

Na fase do processamento digital de imagem fez-se a delimitação precisa do limite terra/mar e o realce das litologias que constituem as falésias, enquanto que na fase de processamento de dados, fez-se a interpretação da análise dos dados multi temporais. Para

o desenvolvimento desse estudo foi utilizado à metodologia proposta por Amaro et al. (2012).

Para destacar as litologias que constituem as falésias, em ambas as imagens do sensores Landsat 5-TM e Landsat 7-ETM+ foi utilizada a composição R(3/2)-G4-B1-I(5/2) no sistema de cores Red-Green-Blue-Intensity (RGBI) (Figura 4.2). A razão 3/2 no Red (Vermelho) realçou os arenitos da Formação Barreiras devido a sua riqueza em óxido de ferro que apresentou uma maior reflectância nessa banda, auxiliando no contraste com a vegetação e com os sedimentos das dunas que são pobres em ferro. A aplicação da banda 4 no Green (verde) se deu por conta de o infravermelho próximo ser a faixa de frequência onde se observa a maior reflectância da clorofila, favorecendo o contraste das feições de vegetação sobre as demais feições compostas pelo solo, rocha e água, o que gerou bons resultados. A escolha da banda 1 no Blue (azul) teve um papel importante para distinguir as feições das dunas móveis holocênicas do arenito Barreiras, posto que esses depósitos eólicos por possuírem grande porosidade intergranular e devido ao imageamento ter ocorrido em período de estação chuvosa na região, ou seja, época em que ocorre uma quantidade significativa de água armazenada entre os poros intergranulares devido a capilaridade da água, a reflexão desses campos dunares obteve uma tonalidade cinza azulada, contrastando mais ainda das rochas que constituem as falésias. A razão 5/2 no Intensity também auxiliou no aumento do contraste da falésia, visto que a mesma é rica em argila em sua cimentação que apresenta alta reflectância nessa banda. Também, o infravermelho distal (5) tem uma reflectância menor da clorofila, porém continua sendo alta nas rochas, realçando o objeto de estudo (as falésias) e os contrastando das demais feições. Além de auxiliar na observação dos limites morfológicos da área em estudo. Vale citar que em todas as bandas foram utilizadas a transformada padrão linear no limite de transformadas, onde se obtiveram os melhores resultados devido a boa distribuição do sinal, exceto no canal do Intensity, onde o melhor resultado observado foi através da equalização gaussiana, onde os sinais foram redistribuídos de forma que o resultado disso foi o melhor realce devido a uma maior saturação na imagem das feições objeto de interesse, nesse caso, as rochas que compõem as falésias.

Figura 4.2 - A) Imagem original, com baixo contraste entre as rochas da falésias e os corpos dunares. B) Imagem com processamento digital RGBI: R(3/2), G4, B1, I(5/2).



Destacou bem as unidades geológicas que compõem as falésias (objeto de estudo) dos complexos dunares e da vegetação, mas tanto as feições dos corpos dunares como a da vegetação ficou bem delimitado e contrastado.

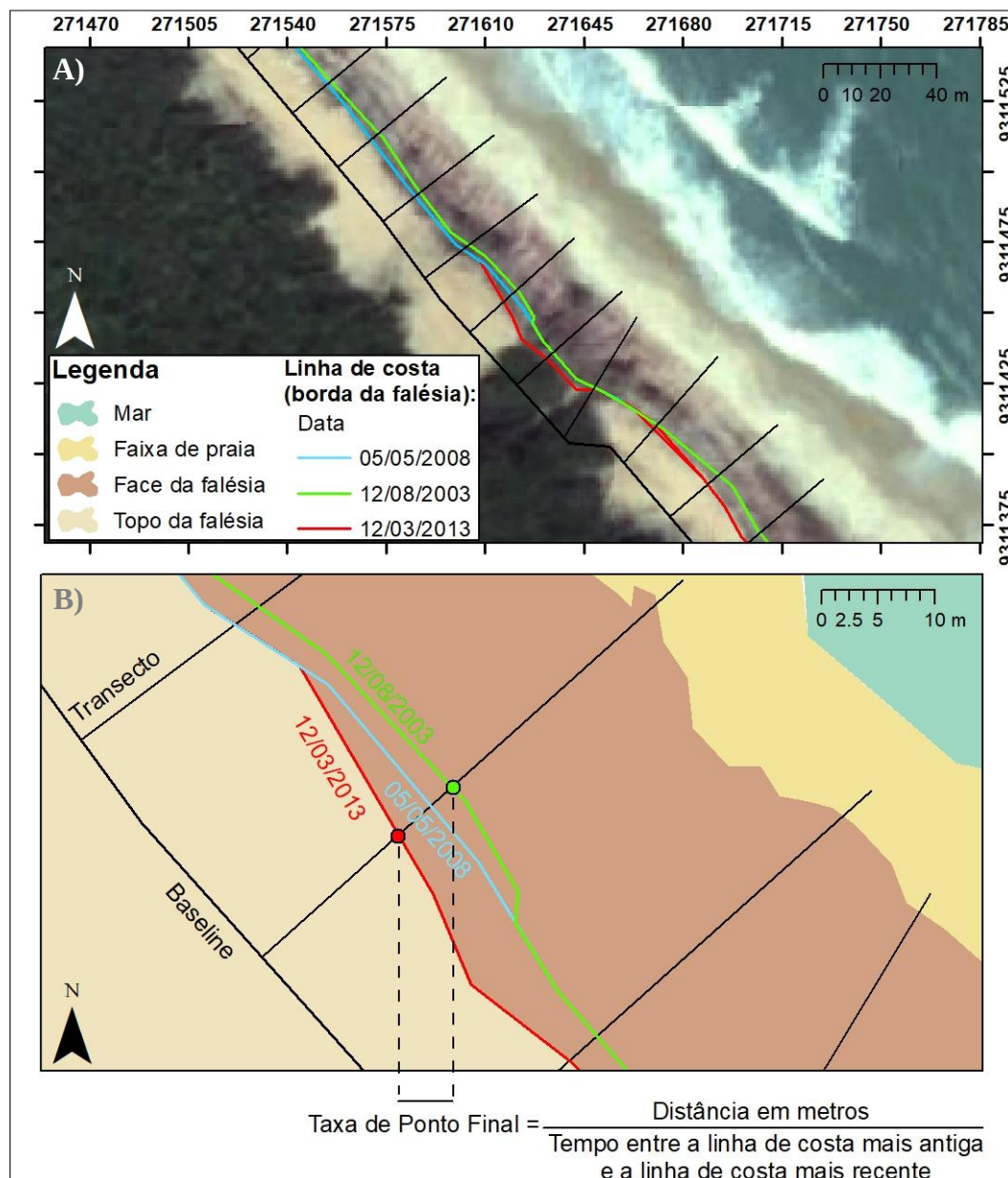
Na análise multitemporal, a estratégia aplicada foi o mapeamento das mudanças de linha da borda de falésia através da integração de informações interdecadais por meio das imagens digitais de sensoriamento em enfoques ordenados de identificação, análise e interpretação seguindo os métodos descritos por Fletcher et al. (2003); Souto et al (2006); Batista et al. (2009); Amaro et al (2012), entre outros, para mapeamento das mudanças multitemporais que consideram as correções atmosféricas para melhoria do contraste visual entre as feições de superfície, relevo do terreno, para comparar o ajuste das características inalteradas das linhas de falésias e as correções geométricas para reduzir distorções causadas pela curvatura da Terra, refração, movimentação do sensor. A modificação na linha da borda de falésia das áreas em estudo foi comparada a partir da detecção da linha de limite da rocha com os sedimentos, que compõem as praias e terraços de abrasão, derivadas de imagens de satélites multitemporais e da verificação com interpretações precedentes, baseadas em dados in loco sobre a erosão nos diferentes setores das falésias. Para essa análise multitemporal, foi adotado o enquadramento baseado em imagens orbitais de resolução moderada (30 a 5 m) e alta (2,5m) entre os anos de 1986, 1994, 2004 e 2014 para o litoral Oriental e entre os anos de 1984, 1993, 2002 e 2013 para o litoral Setentrional, enquanto para as imagens orbitais de resolução alta, foi para os anos de 2003, 2008 e 2013 para o litoral de Tibau do Sul (Tabela 10).

Na análise multi temporal, a ferramenta utilizada foi o DSAS versão 4.4, que se trata do sistema digital de análise de linha de costa (DSAS) e é uma ferramenta livre que trabalha com o instituto de pesquisa de sistema ambiental (ESRI) no software de Sistema de informação Geográfica (ArcGIS). O DSAS computa a taxa-de-mudança e estatísticas dos dados de diversos vetores de linhas de costa. A versão utilizada neste estudo (4.4) foi lançada em março de 2018 e é compatível com as versões do ArcGIS a partir do 10.5.1 e suportada pelos sistemas operacionais Windows Vista e o 10. O DSAS disponibiliza 6 diferentes métodos estatísticos que são Envelope da mudança da linha costeira – *shoreline change envelope* (SCE), Movimento líquido da linha de costa - *Net shoreline movement* (NSM), Taxa de ponto final ou Ponto de terminação - *End point rate* (EPR), Taxa de regressão linear - *Linear regression rate* (LRR), Taxa de mudança de regressão linear, ponderada - *Weighted linear regression* (WLR), onde cada método usado pelo DSAS para calcular as taxas de variação da linha de costa é baseado nas diferenças medidas entre as posições da linha costeira ao longo do tempo. As taxas relatadas são expressas em metros de mudança ao longo de transectos por ano. Quando os cálculos da taxa de recuo terminam o processamento, o DSAS mescla os cálculos do módulo individual, a saída e disponibiliza como uma tabela no ArcMap.

No presente trabalho, foram utilizados os métodos de Taxa de Ponto Final (EPR) e Linha de Regressão Linear (LRR), primeiramente por serem os mais explorados e aceitos atualmente como se é observado nos trabalhos de Oliveira (2012), Moreira Et al. (2014), Busman Et al. (2014), entre outros. Além disso, Dolan (1991), Genz (2007) explicam que o método LRR tende a subestimar a taxa de mudança em relação a outras estatísticas, como EPR e por esse motivo é ideal a aplicação do mesmo para posterior análise e associação entre os resultados desses diferentes métodos.

A taxa do ponto final (EPR) foi utilizada pois é calculada dividindo a distância do movimento da linha costeira pelo tempo decorrido entre a linha costeira mais antiga e mais recente (Figura 4.3). As principais vantagens do EPR são a facilidade de cálculo e o requisito mínimo de apenas duas datas de linha de costa. A principal desvantagem é que, nos casos em que mais dados estão disponíveis, as informações adicionais são ignoradas. Mudanças no sinal (por exemplo, acreção à erosão), magnitude ou tendências cíclicas podem ser perdidas em caso de estudo de praia, afirmam Crowell (1997) e Dolan (1991).

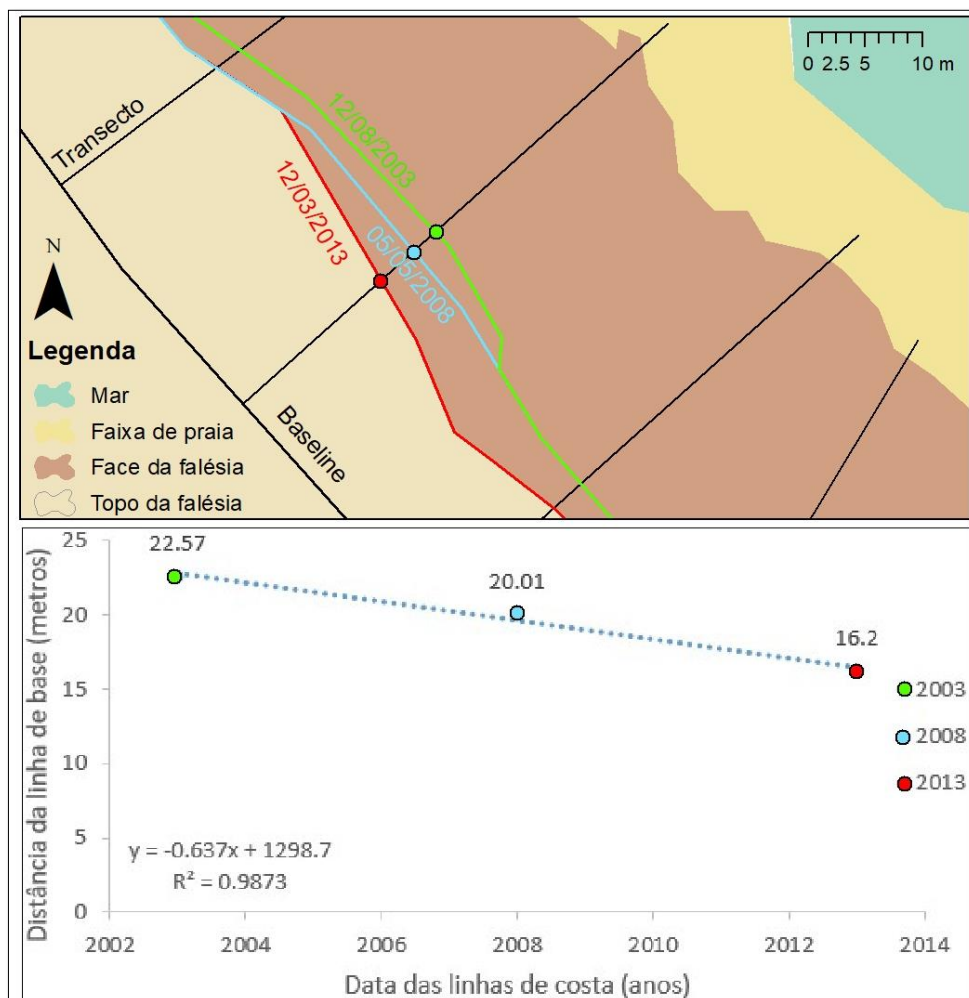
Figura 4.3 - A) Imagem de satélite QUICKBIRD de 2013 com escala 1:2.000 do litoral de Tibau do Sul apresentando a borda da falésia (caracterizada no presente trabalho como linha de costa) do ano de 2013 e as borda dos anos anteriores que foram pesquisados (2008 e 2003). B) Mapa da mesma área com escala de 1:500 apresentando o que é o transecto, a baseline e o método estatístico EPR através das linhas de costa.



Já o método de taxa de mudança de regressão linear (LRR) foi utilizado por ser determinada pelo ajuste de uma linha de regressão de mínimos quadrados a todos os pontos de linha de costa para um transecto em particular e é caracterizado pela inclinação da linha tendência no gráfico a partir da função desenvolvida (Figura 4.4). O método

aproveita todos os dados disponíveis, é puramente computacional e o cálculo é baseado em conceitos estatísticos amplamente aceitos e fácil de empregar, relata Genz (2007). Em conjunto com a taxa de regressão linear, o erro padrão da estimativa (LSE), o erro padrão da inclinação com o intervalo de confiança selecionado pelo usuário (LCI) e o valor do R-quadrado (LR2) também são relatados.

Figura 4.4 - Mapa do litoral de Tibau do Sul com escala de 1:500 apresentando o que é o transecto, a baseline e o método estatístico LRR através das linhas de costa. No gráfico abaixo, a taxa de regressão linear foi determinada plotando as posições da linha de costa (borda da falésia) em relação ao tempo e calculando a equação de regressão linear de $y = -0.637x + 1298.7$. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa (-0.637m/ano). O R-quadrado (LR2) foi de 0.987.



Checklist de falésias

Uma ferramenta bastante empregada no mundo no processo de identificação e controle da erosão costeira é o *checklist*. Ele permite que sejam padronizadas e organizadas as informações a serem coletadas, facilitando e dinamizando a análise da área estudada. Por meio dele, é possível verificar de forma eficiente às características físicas da zona costeira, e os possíveis desencadeadores dos processos erosivos.

O *checklist* proposto por Braga (2005) é adequado às costas que possuem falésias com rochas que possuem características da Formação Barreiras e é composto basicamente por três partes: a primeira refere-se à localização da área, com informações sobre: a data e horário da inspeção de campo, bem como os níveis da maré e fases da lua; a segunda parte é sobre a caracterização da falésia: seu tipo, altura, perfil do talude, distribuição da vegetação e os usos dados para encosta e seu entorno; a última parte corresponde aos processos erosivos instalados e se divide em: escoamento superficial, percolação da água subterrânea e ação da onda.

Esse *checklist* (tabela 4) foi o escolhido para o presente trabalho por ter sido desenvolvido para encostas com falésias e já ter sido utilizado pelo próprio pesquisador na área de estudo, o que possibilita a realização de uma comparação do ambiente entre os anos de 2005 e 2018.

Tabela 4. Checklist proposto. Fonte: Braga (2005).

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: _____. Sub-trecho: _____. Lua: _____. Data/Horário: _____. Maré: _____.	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia: Falésias vivas ☐ Falésias recuadas ☐ Altura da falésia (aprox.) _____. Perfil do talude (aprox.) _____. Vegetação e sua distribuição: () Topo; () Face; () Base. Uso da falésia: () Acesso à praia; () Mirante; () Área de preservação; () Outros: _____. Estruturas na Falésia: ☐ Uso da propriedade: () Moradia; () Veraneio; () Pousada; () Comércio; () Outros: _____. Qual a distância da estrutura até a borda da falésia? _____.	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial: Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia? ☐ Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial? ☐ Erosão Pluvial, Qual? (ravinas, voçorocas) _____. Contribuições na erosão superficial: () Drenos de casa; () Irrigação; () Outros: _____.	
Percolação da água subterrânea: As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação; () Drenos; () Piscinas; () Outros _____. Há superfícies úmidas na face da falésia? ☐ Há deslizamentos ativos ou históricos? ☐ Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? _____.	
Ação da onda: Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: _____. Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: _____. As ondas escovam o pé da falésia? Proteção no pé da falésia. Tipo: _____. Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: _____. A obra causa mais erosão? ☐ Obs:	

5. APLICAÇÃO E RESULTADOS

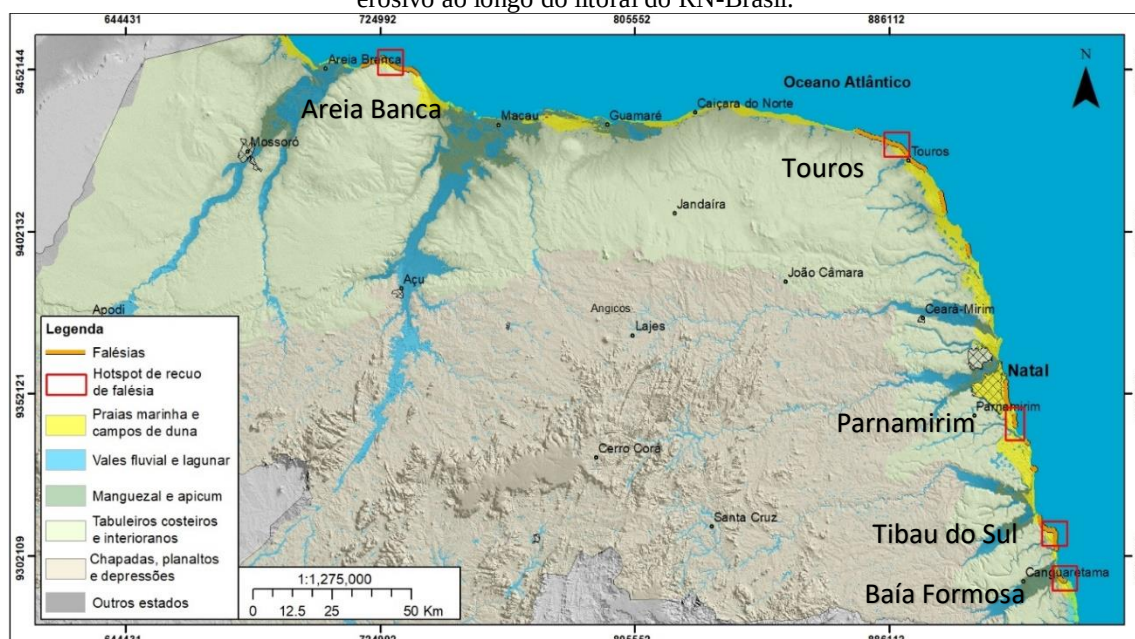
Esse capítulo aborda os resultados obtidos através da aplicação das metodologias descritas no capítulo anterior além de discutir sobre o que essas informações representam com relação ao objetivo do referente estudo.

Os resultados são subdivididos em três subcapítulos, o primeiro referente à aplicação dos métodos estatísticos de DSAS através de análise multi temporal em todo o litoral do Rio Grande do Norte. Já o segundo é focado na aplicação desses mesmos métodos no litoral do município de Tibau do Sul, cujo o objetivo de ambos os subcapítulos é identificar e quantificar os pontos de recuo de falésia distribuídos no RN em uma escala temporal de três décadas e em Tibau do Sul numa escala temporal de uma década, respectivamente. Enquanto que o terceiro subcapítulo apresenta as mesmas áreas que foram analisadas por Braga (2005) em Tibau do Sul e faz uma comparação para identificar as possíveis mudanças que ocorreram ao longo de 13 anos, entre 2005 a 2018.

5.1 APLICAÇÃO DO DSAS NAS FALÉSIAS DO RIO GRANDE DO NORTE

Dos 105 km de falésias ativas no litoral do RN, este estudo destacou 5 locais onde foram identificados expressivo recuo erosivo de falésias. Duas áreas no litoral setentrional, nos municípios de Porto do Mangue e Touros, e outras três áreas que se encontram no litoral oriental, nos municípios de Parnamirim, Tibau do Sul e Baía Formosa (Figura 5.1).

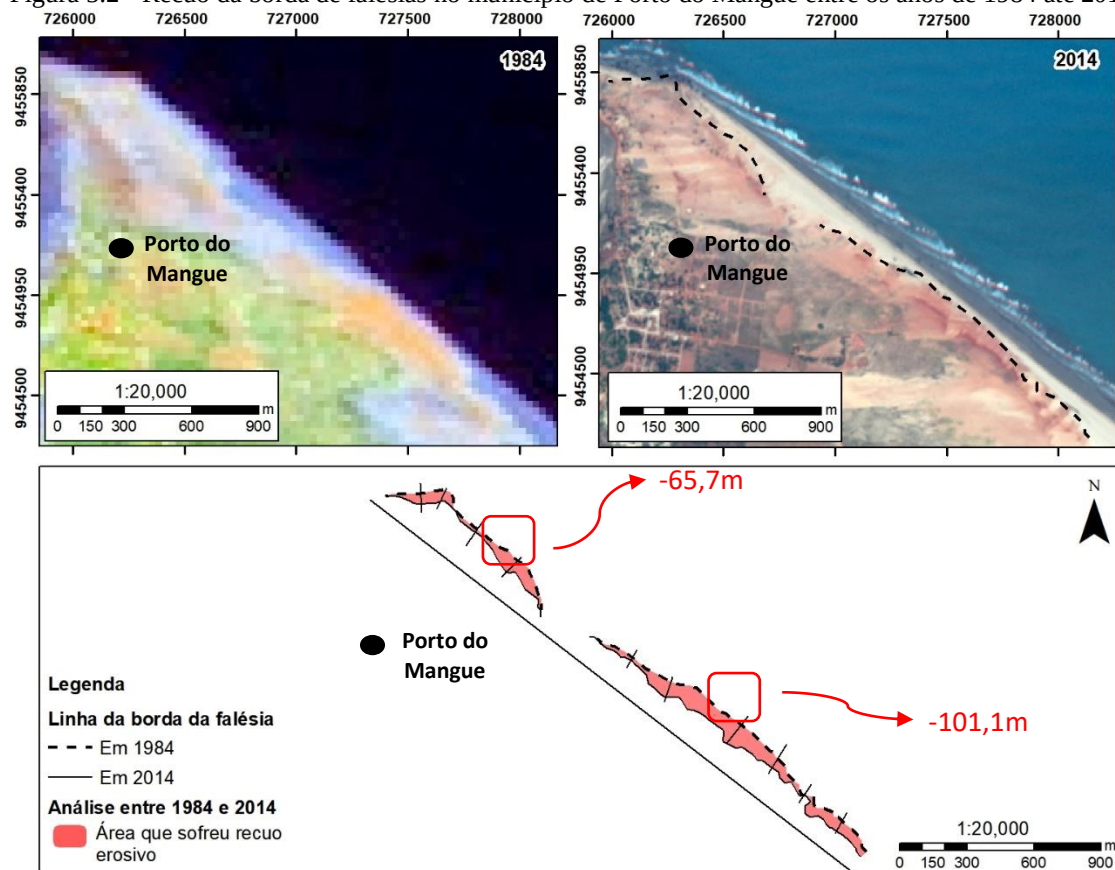
Figura 5.1 - Mapa de localização da área de estudo com identificação das cinco áreas que tiveram recuo erosivo ao longo do litoral do RN-Brasil.



5.1.1 Taxa de Recuo das Falésias em Porto do Mangue

Esta área se encontra no litoral setentrional do RN, em seu extremo oeste, no Município de Porto do Mangue. A porção da falésia que apresentou recuo possui um comprimento aproximado de 2.670 m, essa falésia faz parte do *horst* oriundo do sistema de grábens e horsts controlados pelas falhas de Afonso Bezerra e Carnaubais na Bacia Potiguar. De todas as áreas de recuo identificadas, essa foi a que sofreu o maior recuo em sua linha da borda de falésia ao longo das três décadas analisadas. Na análise multitemporal entre os anos de 1984 a 1993, foi observado que em ambas as regiões Noroeste e Sudeste, onde aflora a falésia ocorreu recuo erosivo (Figura 5.2).

Figura 5.2 - Recuo da borda de falésias no município de Porto do Mangue entre os anos de 1984 até 2014.



E de acordo com a Taxa de Ponto Final, a porção Sudeste foi a que apresentou o maior recuo erosivo ao longo das 3 décadas, com 101,1 metros (Figura 5.2), o que representa 3,37 metros de recuo por ano (Figura 5.3). Já na porção Noroeste, o maior recuo foi de 65,7 metros, ou seja, 2,19 metros por ano (Figura 5.3). Esses recuos foram os maiores identificados em todo o litoral do Rio Grande do Norte quando comparado com as demais regiões que também tiveram essa variação da linha da borda da falésia.

Quanto a Taxa de Regressão Linear, a equação de regressão linear calculada foi $y = -3.716x + 7614$. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa -3.71m/ano e o constante LR^2 foi de 0,98, o que indica que no decorrer de cada década, a erosão se manteve com a intensidade semelhante (Figura 5.4).

Figura 5.3 – Gráfico dos transectos que apresentaram as maiores e menores taxas de recuo da linha de borda da falésia em Porto do Mangue, entre os anos de 1984 e 2014.

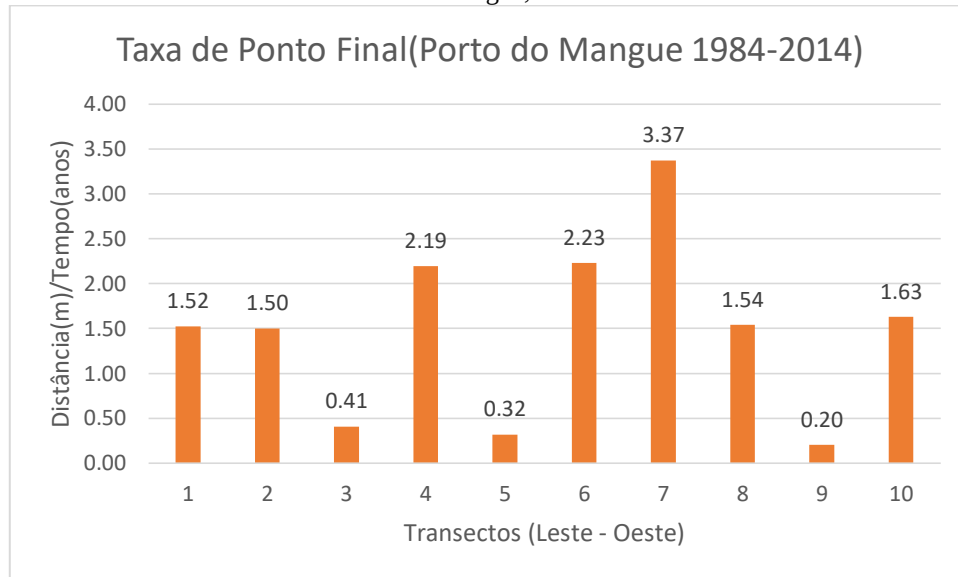
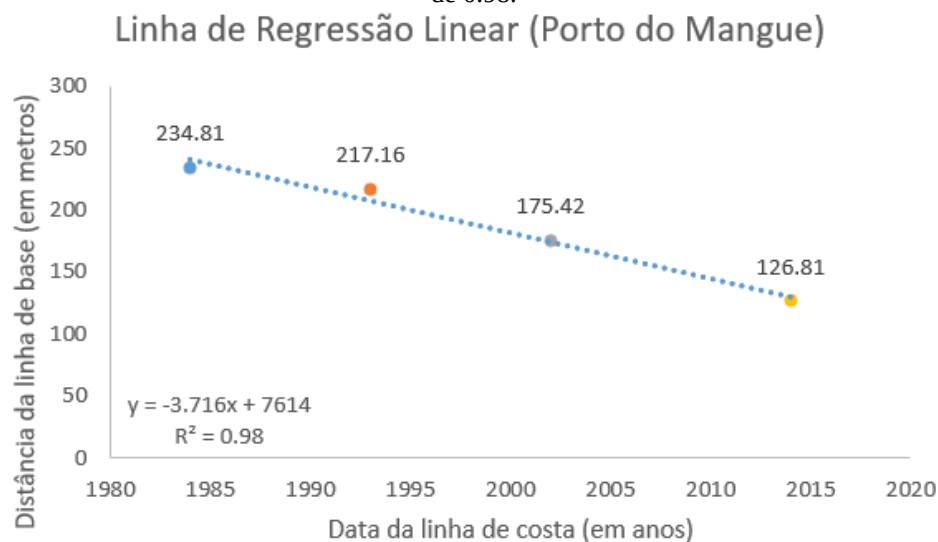


Figura 5.4 – Gráfico da taxa de regressão linear de Porto do Mangue apresentando a equação de regressão linear de $y = -3.716x + 7614$. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa -3.71m/ano . O LR^2 foi de 0.98.



Desse modo, ficaram evidentes dois importantes fatores:

O primeiro é o forte recuo sofrido pelas bordas das falésias em Porto do Mangue, que pode ser consequência de um material consolidado mais friável que de outras falésias reagindo com a forte dinâmica dos processos costeiros desse ambiente e uma morfologia

costeira, em forma de pontal, que expõe mais essa costa ao intemperismo e erosão marinha, sem contar com a escassez de vegetação possibilitando numa erosão pluvial mais intensa.

O segundo fator observado foi que em todas as análises realizadas, foram identificados erosão nas mesmas porções da falésia, o que possibilita afirmar que tal erosão não é ocasionada por eventos esporádicos como ressacas ou tempestades, mas sim que vem naturalmente atuando ao longo de décadas.

5.1.2 Taxa de Recuo das Falésias de Touros

Esta área se encontra também no litoral setentrional, localizado no Município de Touros. Com aproximadamente 1.337,44 m de comprimento, essa falésia está no ambiente de transição entre os processos costeiros do litoral setentrional com os do litoral oriental e foi onde se observou o menor recuo sofrido dentre todas as áreas analisadas.

Através da Taxa de Ponto Final, foi observado que o recuo erosivo máximo ocorreu na porção central da falésia com 18,76 metros (Figura 5.6), o que caracteriza um recuo de 0,67 metros ao ano no decorrer das três décadas analisadas (Figura 5.5). Porém, a média de recuo observada é de 0,59 metros por ano, nesse mesmo período (Figura 5.5).

A Taxa de Regressão Linear apresentou a equação de regressão linear $y = -1.7373x + 3531.7$. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa -1.73m/ano e a constante LR^2 , assim como na falésia anterior, com valores altos na ordem de 0,98, indicando que o recuo erosivo se manteve constante (Figura 5.7).

Figura 5.5 - Recuo da borda de falésias no município de Touros entre os anos de 1986 até 2014.

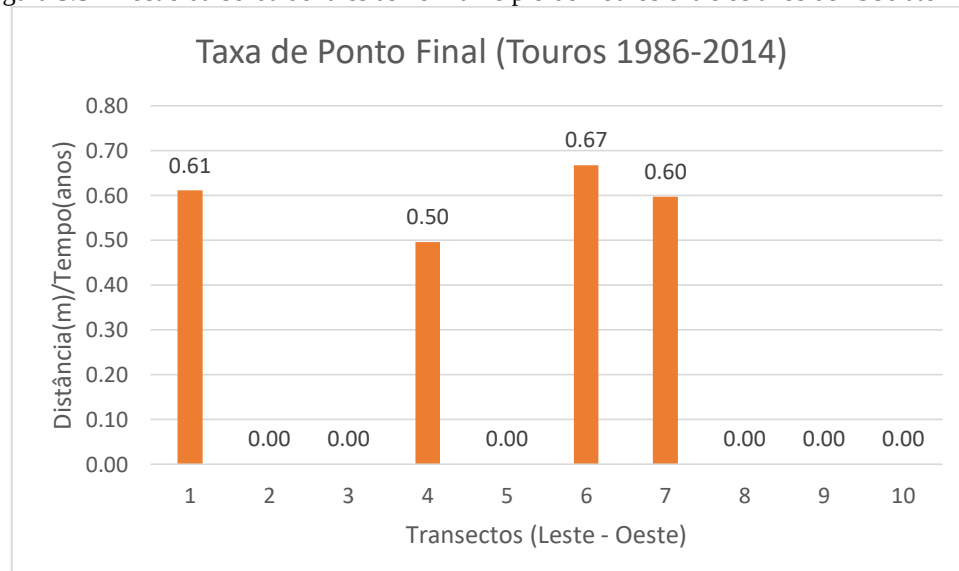


Figura 5.6 - Recuo da borda de falésias no município de Touros entre os anos de 1986 até 2014.

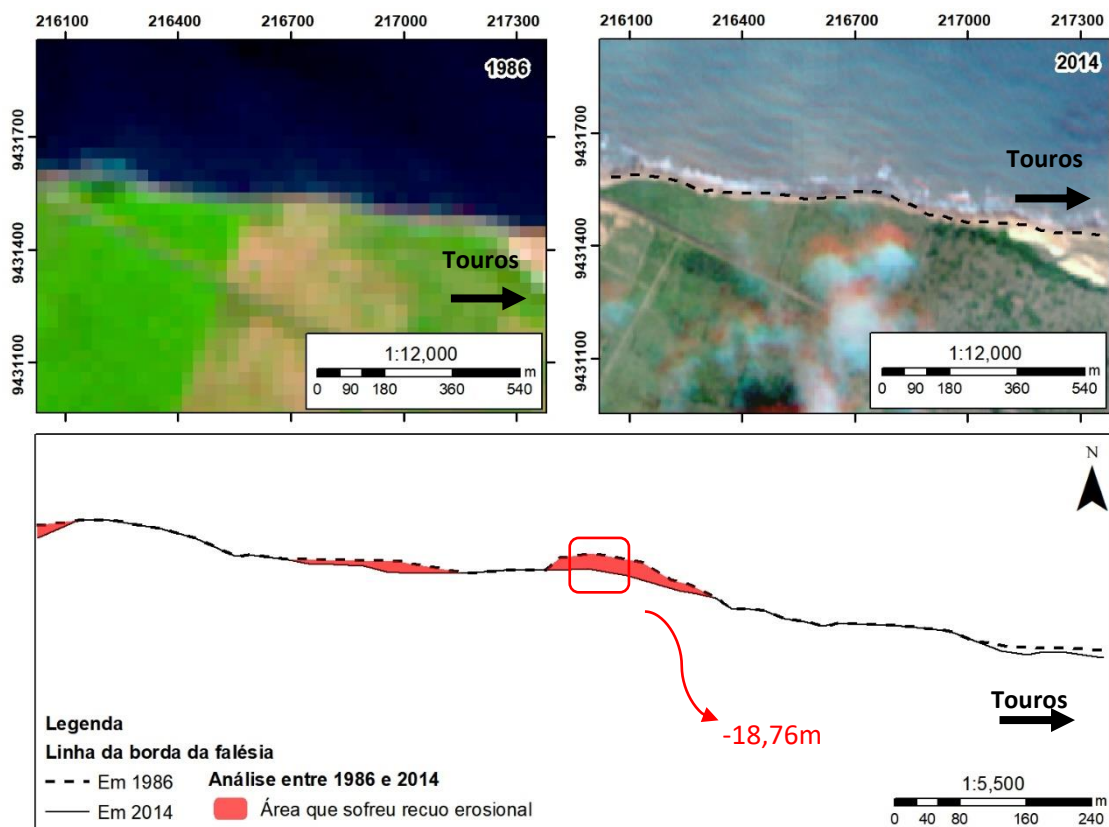
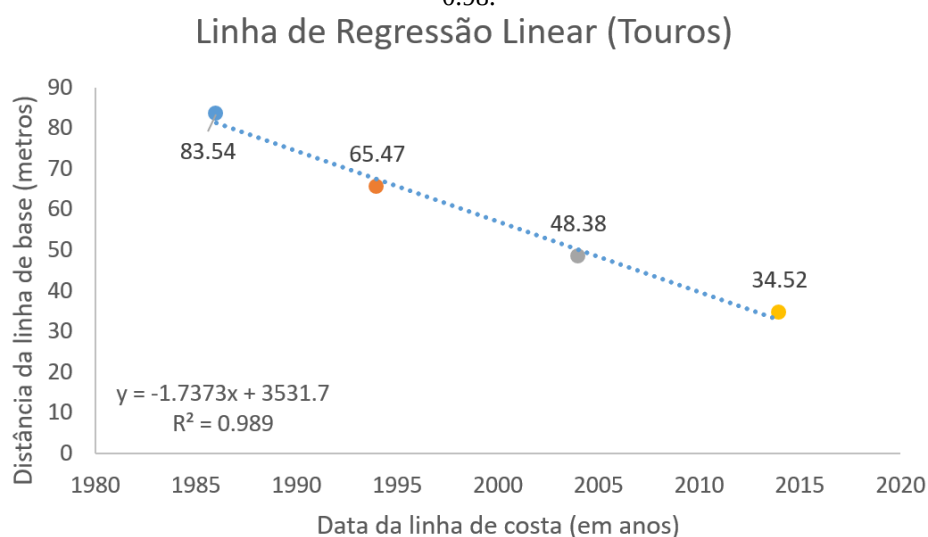


Figura 5.7 – Gráfico da taxa de regressão linear de Touros apresentando a equação de regressão linear de $y = -1.7373x + 3531.7$. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa -1.73m/ano . O LR^2 foi de 0.98.



5.1.3 Taxa de Recuo das Falésias de Parnamirim

Esta terceira área se encontra no litoral oriental, localizado no Município de Parnamirim, na base da aeronáutica Barreira do Inferno. Com uma extensão aproximada de 2.363,4 m, essa é a falésia que possui a menor pressão antrópica de todas analisadas

que sofreram recuo, por estar inserida em uma zona militar que a mantém preservada da influência da ocupação humana direta.

Devido ao comprimento, optou-se por subdividir a falésia em duas seções para que os dados dos recuos observados pudessem ser observados espacialmente (Figuras 5.10 e 5.11). Não foi possível adquirir informações do ano de 1994, devido à taxa de cobertura de nuvens na região; as imagens de anos adjacentes, 1992, 1993, 1995, 1996, 1997, estavam todas com ruídos que comprometeram a visibilidade da área de estudo. Portanto, nesse caso, a análise multitemporal ficou limitada para os anos de 1986, 2004 e 2014.

A porção onde se encontra os maiores recuos é a do Norte da falésia, onde há presença humana dos militares. Os maiores recuos identificados foram de 34,44 metros no extremo Norte da falésia, apresentando uma média de 1,23 metros de recuo por ano, e 19,6 metros ao Sul dessa mesma porção da falésia, apresentando uma média de 0,7 metros de recuo por ano (Figura 5.6). Quanto a porção Sul, o maior recuo observado foi de 13,44 metros, em seu extremo Norte (Figura 5.7).

A Taxa de Ponto Final apresentou que a média de recuo na falésia de Parnamirim é de 14,49 metros no decorrer das três décadas estudadas, o equivalente a 0,52 metros por ano (Figura 5.8). Quanto ao LRR, a equação resultante é $y = -1.0693x + 2159.6$, a taxa foi de -1.06m/ano e a constante LR^2 obtida foi de 0,55 e isso indica que provavelmente esses recuos variaram bastante de intensidade no decorrer de cada década e que os recuos são mais provenientes de eventos episódicos torrenciais ou de maré de Sizígia do que uma erosão constante (Figura 5.9).

Figura 5.8 - Recuo da borda de falésias no município de Parnamirim entre os anos de 1986 até 2014.

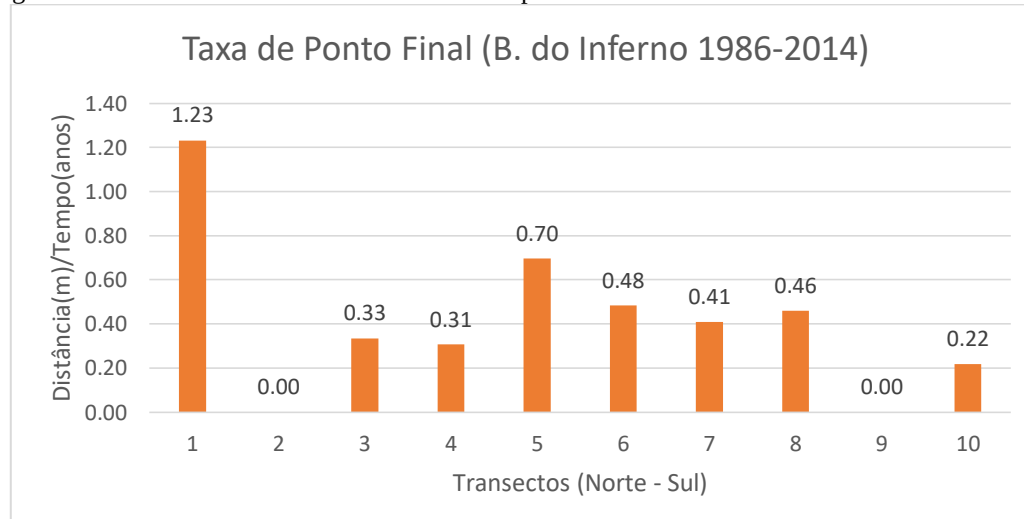


Figura 5.9 – Gráfico da taxa de LRR de Parnamirim (Barreira do Inferno) apresentando a equação de regressão linear de $y = -1.0693x + 2159.6$, taxa de -1.06m/ano e o LR^2 foi de 0.98.

Linha de Regressão Linear (Barreira do Inferno)

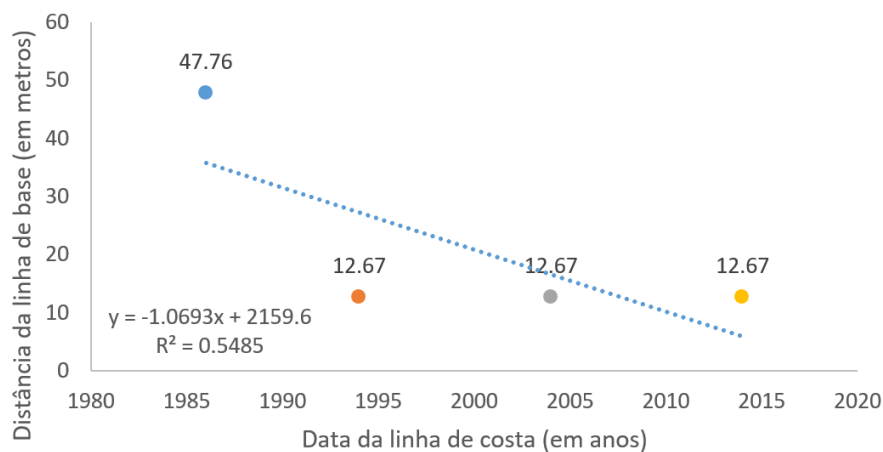


Figura 5.10 – Área total de recuo da borda da falésia na porção Norte da Barreira do Inferno, município de Parnamirim entre os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986, 2004 e 2014.

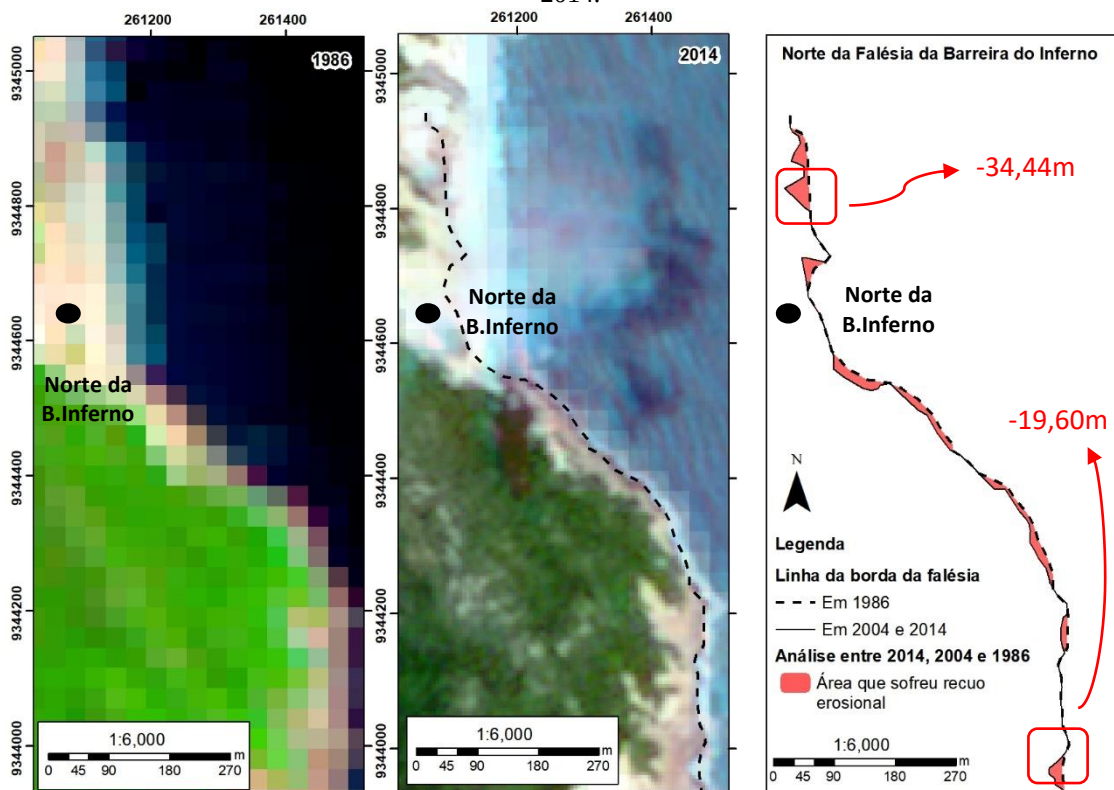
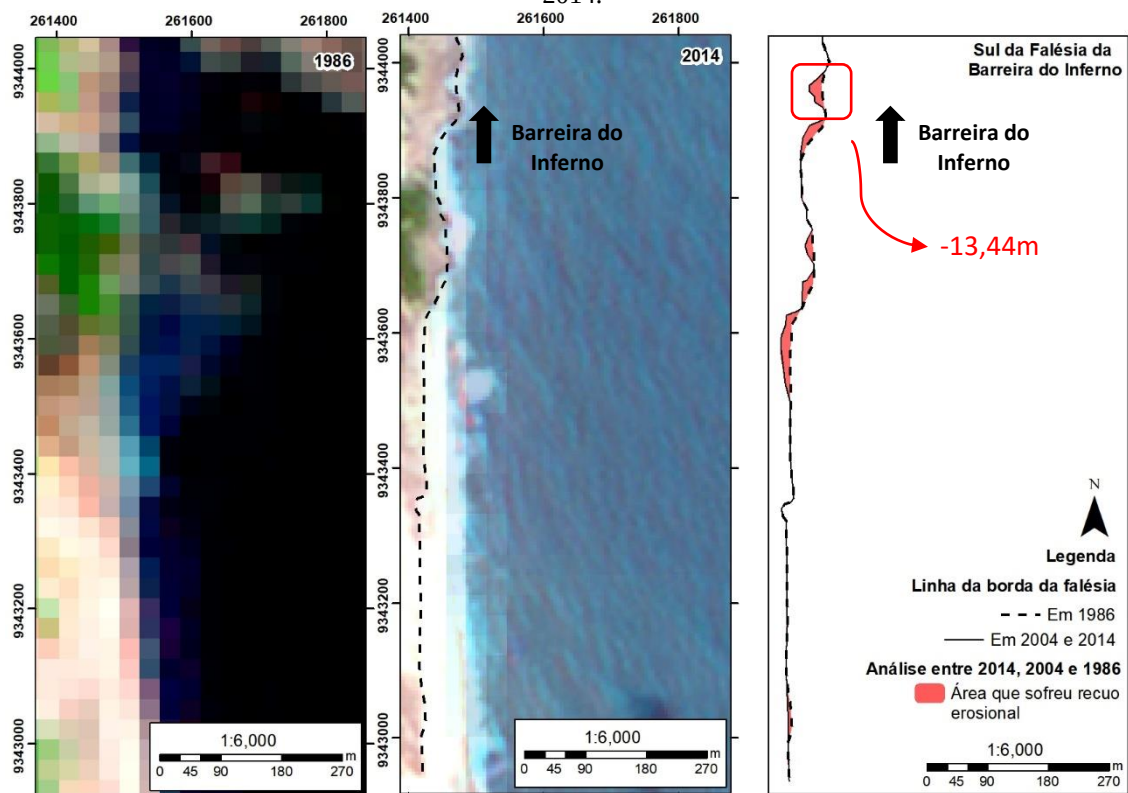


Figura 5.11 - Área total de recuo da borda da falésia na porção Sul da Barreira do Inferno, município de Parnamirim entre os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986, 2004 e 2014.



5.1.4 Taxa de Recuo das Falésias de Tibau do Sul

Esta área se encontra no litoral oriental, inserida no Município de Tibau do Sul. Com uma extensão aproximada de 5.914,82 metros, é a mais longa de todas as falésias estudadas. Por esse motivo, essa falésia foi subdividida em duas partes, a primeira que engloba desde o Norte até o Centro da falésia e é caracterizado por estar sob a alta pressão antrópica (Figura 5.12) e a segunda parte que engloba do Centro até o Sul da falésia e é caracterizada por sofrer pouca influência humana e ainda conservar a vegetação nativa de Mata Atlântica (Figura 5.13).

As áreas com os maiores recuos erosivos estão no extremo Norte da primeira parte, apresentando 68,32 metros de recuo ao longo das três décadas, caracterizando um recuo de 2,44 metros ao ano, e no extremo Sul da segunda parte, apresentando 56 metros recuados da linha da borda de falésia, indicando um recuo de 2,00 metros por ano (Figura 5.12 e 5.13).

Ao analisar o gráfico da Taxa de Ponto Final, identifica-se que a média de recuo erosivo de todas os pontos onde a erosão está atuante foi de 36,08 metros entre os anos

de 1986 e 2014, caracterizando uma média de recuo erosivo de 1,3 metros ao ano nessa escala temporal (Figura 5.14). Quanto ao LRR, a equação resultante é $y = -2.4356x + 4921.5$, a taxa foi de -2.43m/ano e a constante LR^2 obtida foi de 0,97 o que indica erosão ativa constante provocando a mesma intensidade de recuo ao longo dos anos em Tibau do Sul (Figura 5.15).

Figura 5.12 - Área total de recuo da borda da falésia na porção Norte de Tibau do Sul, desde os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986 e 2014.

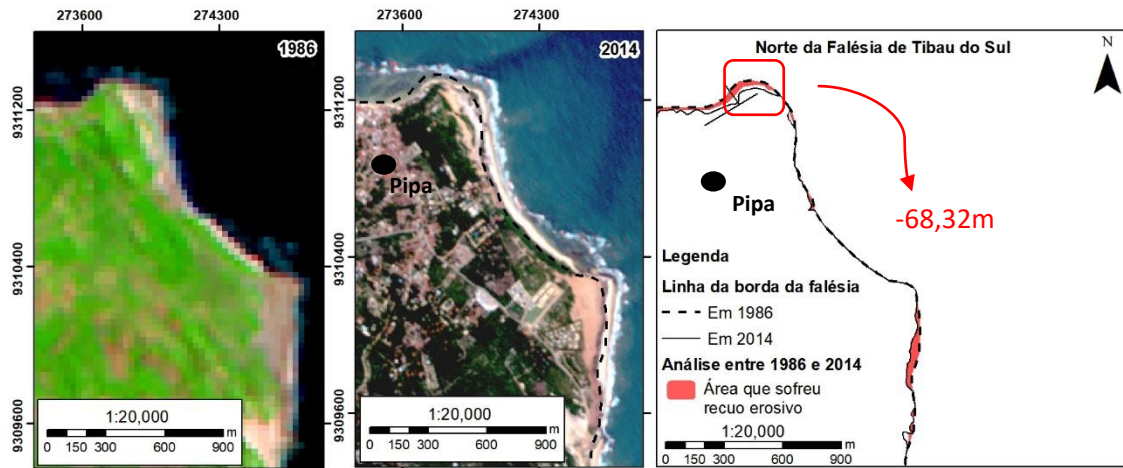


Figura 5.13 - Área total de recuo da borda da falésia na porção Sul de Tibau do Sul, desde os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986 e 2014.

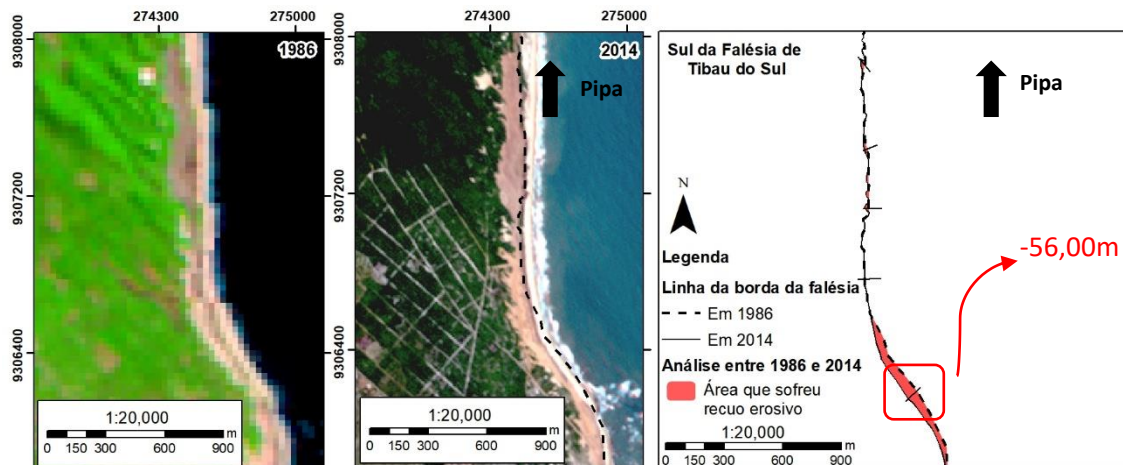


Figura 5.14 - Recuo da borda de falésias no município de Tibau do Sul entre os anos de 1986 até 2014.

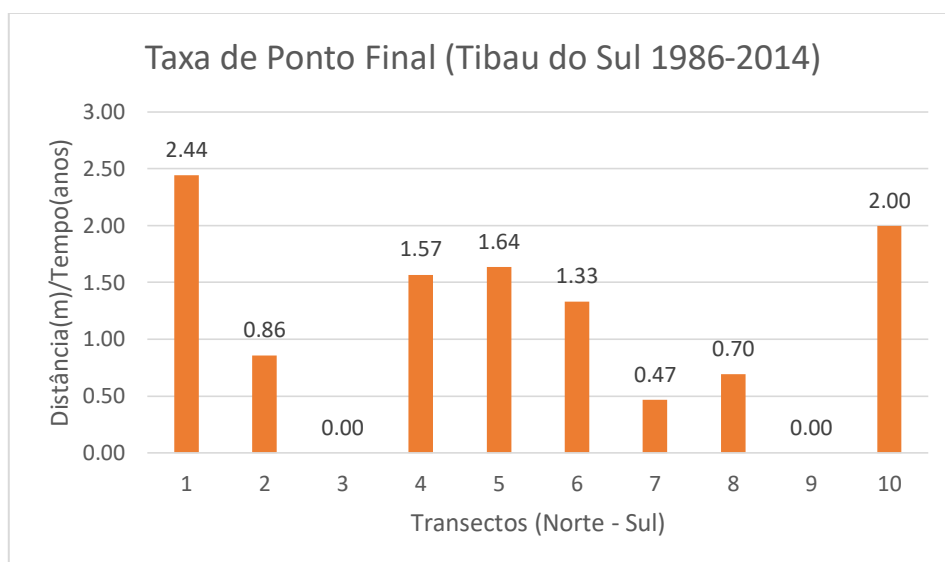
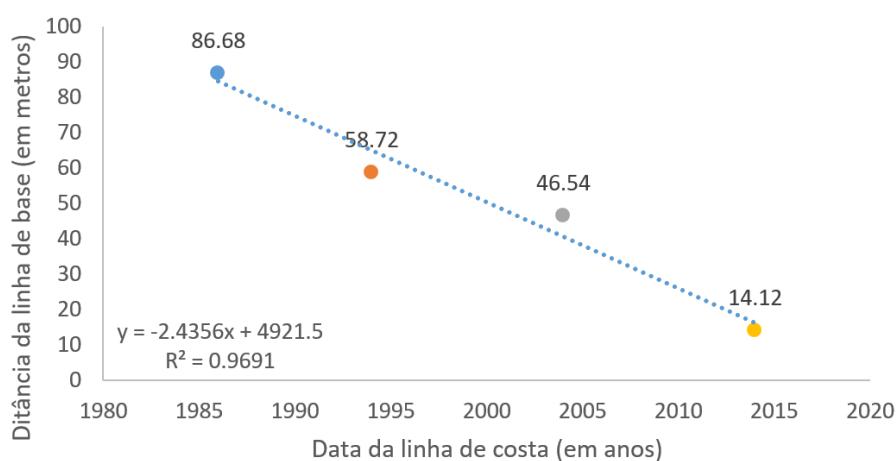


Figura 5.15 – Gráfico da taxa de LRR de Tibau do Sul apresentando a equação de regressão linear de $y = -2.4356x + 4921.5$, taxa de -2.436m/ano e o LR^2 foi de 0.97.
Linha de Regressão Linear (Tibau do Sul)



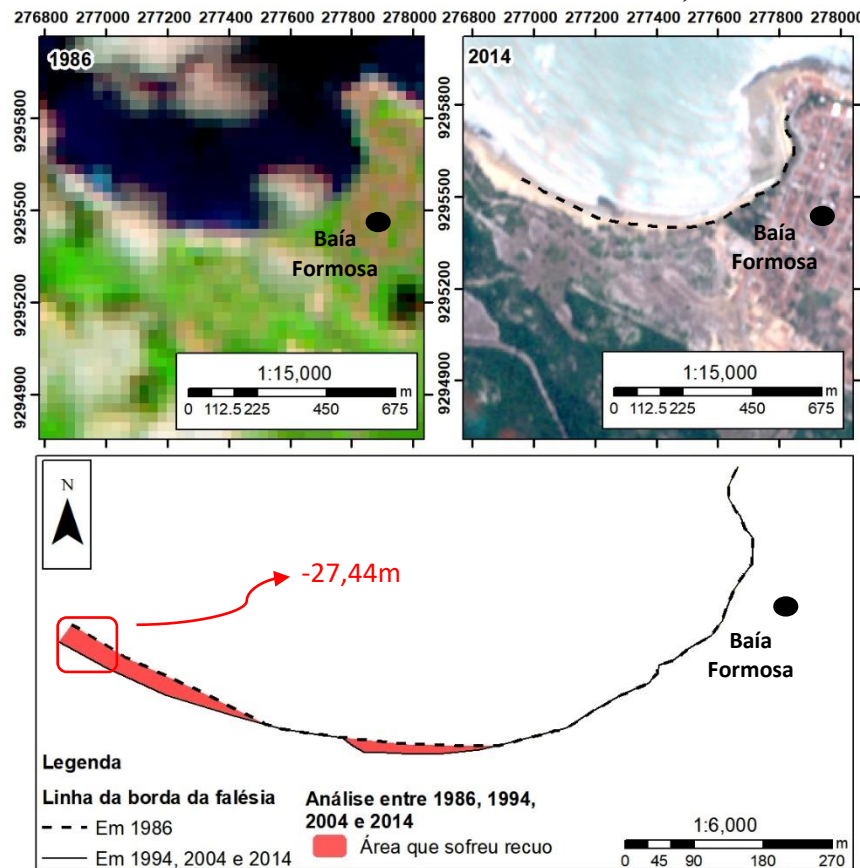
5.1.5 Taxa de Recuo das Falésias de Baía Formosa

A última área analisada também se localiza no litoral Oriental, no Município de Baía Formosa, com uma extensão aproximada de 1.166,81 metros, sendo considerada a menor falésia de todas estudada no presente trabalho e é a que possui a maior pressão antrópica.

Na análise realizada durante as três décadas, como nas áreas anteriores que sofreram recuo, observou-se que somente na primeira década, entre os anos de 1986 a 1994, foi observado recuo da borda de falésia, onde foi observado o maior recuo na porção

extremo Oeste com 27,44 metros recuados, o que equivale a 0,98 metros por ano (Figura 5.16).

Figura 5.16 - Área total que sofreu recuo da borda da falésia em Baía Formosa, nos anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias nos anos de 1986 e 1994, 2004 e 2014.



A taxa de Ponto Final identificou uma média de recuo erosivo de 19,46 metros entre os anos de 1986 e 2014, dando uma média de 0,69 metros por ano (Figura 5.17). Quanto ao LRR, a equação resultante é $y = -0.8645x + 1740.9$, a taxa foi de -0.86m/ano e a constante LR^2 obtida foi de 0,54 devido ao recuo estar concentrado somente na primeira década, entre os anos de 1986 a 1994 (Figura 5.18).

Figura 5.17 - Recuo da borda de falésias no município de Baía Formosa entre os anos de 1986 até 2014.

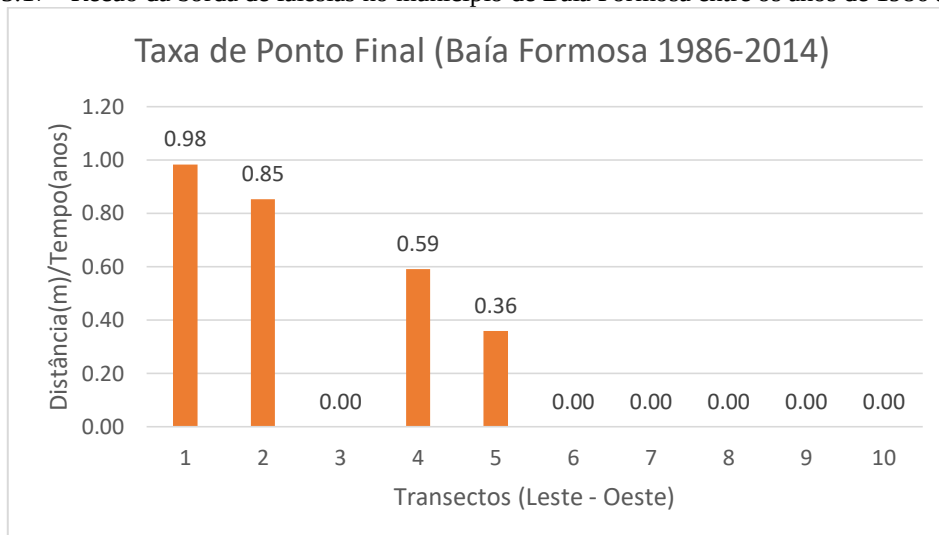
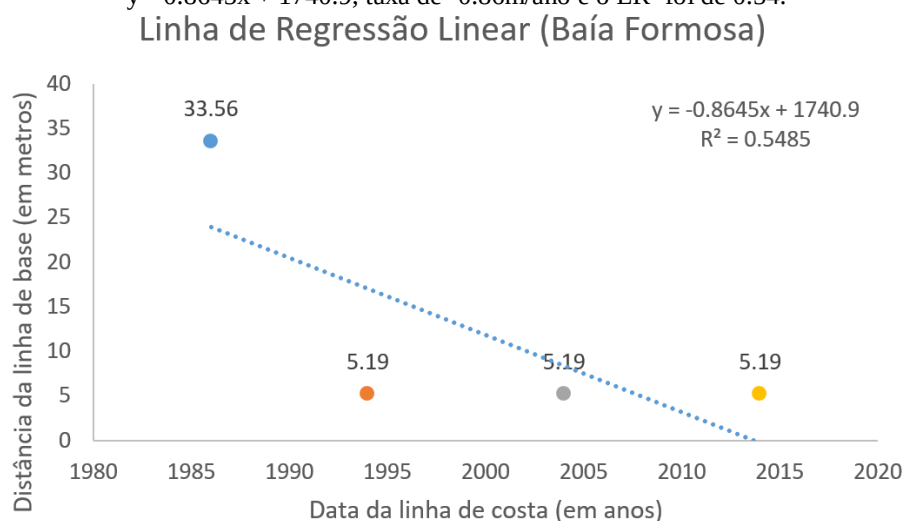


Figura 5.18 – Gráfico da taxa de LRR de Baía Formosa apresentando a equação de regressão linear de $y = -0.8645x + 1740.9$, taxa de -0.86m/ano e o LR^2 foi de 0.54.



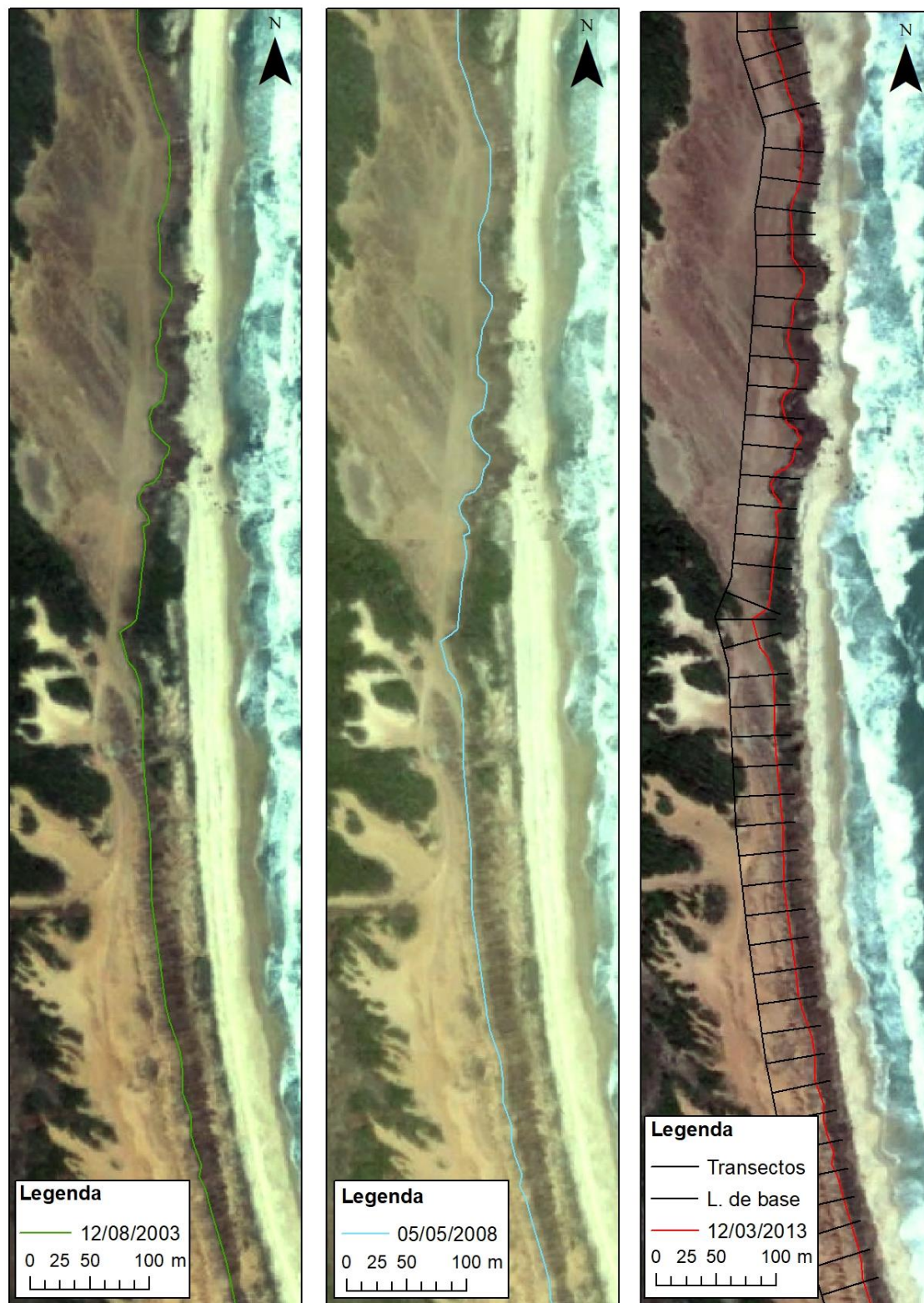
5.2 DSAS EM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL - TIBAU DO SUL

De todas as áreas que apresentaram recuo de falésia, Tibau do Sul foi escolhido para ser realizado uma análise mais detalhada, utilizando imagens de alta resolução ao longo de uma década, onde foram analisadas através dos métodos estatísticos da Taxa de Ponto Final (*End Point Rate*) e Taxa de Regressão Linear (*Linear Regression Rate*) em imagens ópticas do sensor Quickbird dos anos de 2003, 2008 e 2013 (Figura 5.19).

A área de estudo foi escolhida por já ter sido analisada anteriormente por Braga (2005) através de *checklist* desenvolvido pelo próprio e a segunda etapa do presente estudo também envolve essa área. Para manter os melhores resultados, foi utilizado o mesmo método proposto por Braga (2005), onde a área de estudo foi subdividida em trechos Norte, Central e Sul com subdivisões em sub-trechos que foram nomeados da

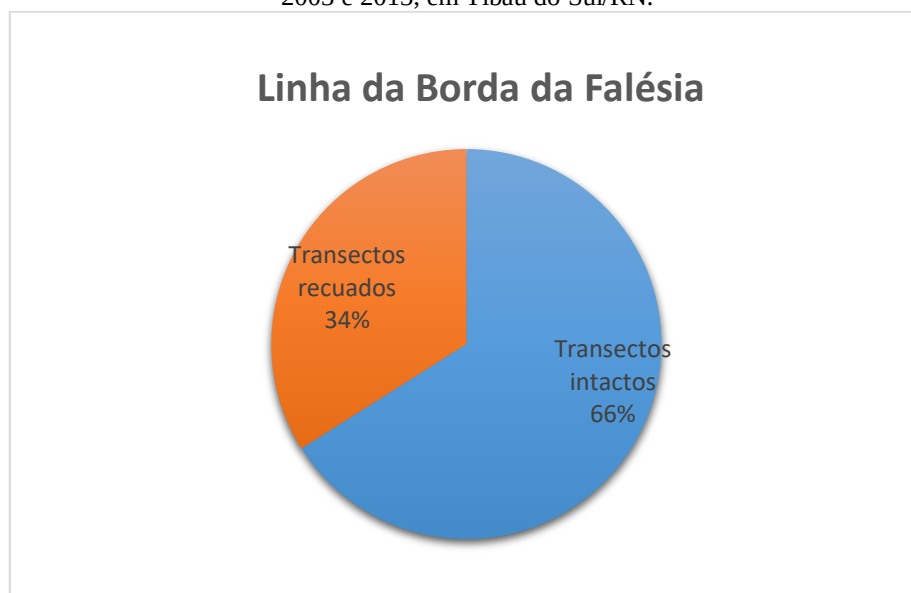
seguinte maneira: trecho Norte (N01, N02, N03), trecho Central (C01, C02, C03) e trecho Sul (S01, S02, S03).

Figura 5.19 – Imagens de um pequeno trecho, na escala de 1:4.000, das falésias de Tibau do Sul apresentadas pelo sensor Quickbird nos anos de 2003, 2008 e 2013 respectivamente. A alta resolução permite identificar tanto a borda, como a face e a base da falésia na área de estudo.



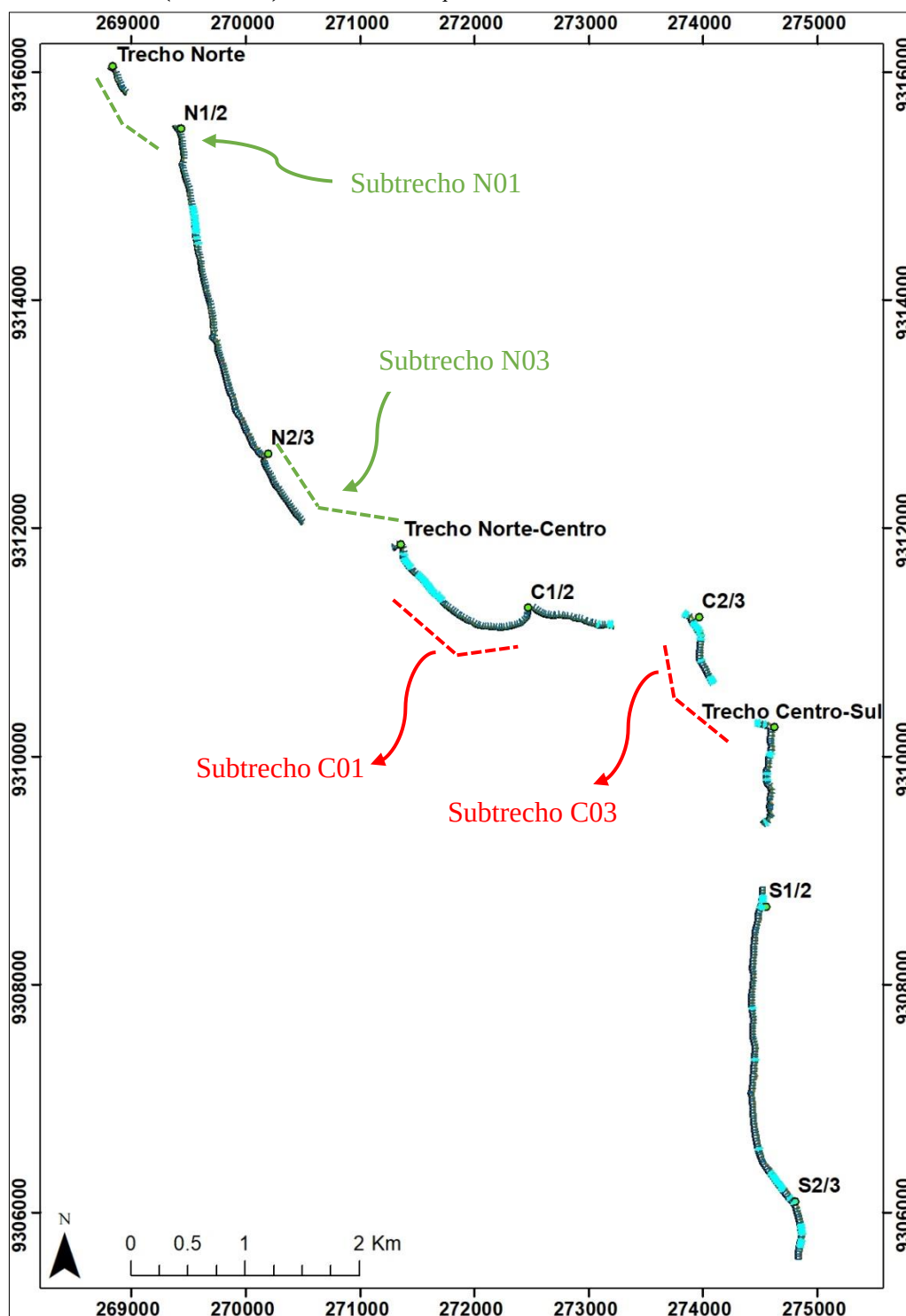
Ao longo de toda costa com falésia, foram criados 465 transectos, dos quais 158 apresentaram recuo na linha da borda das falésias, de acordo com os resultados obtidos, o equivalente a 34% de todo o litoral com falésia em Tibau do Sul, enquanto que os demais 307 transectos, ou seja 66% da linha de costa com falésia, apresentaram-se intactas entre os anos de 2003 a 2013 (Figura 5.20).

Figura 5.20: Gráfico da porcentagem da linha de costa com falésia que recuou ao longo de 10 anos, entre 2003 e 2013, em Tibau do Sul/RN.



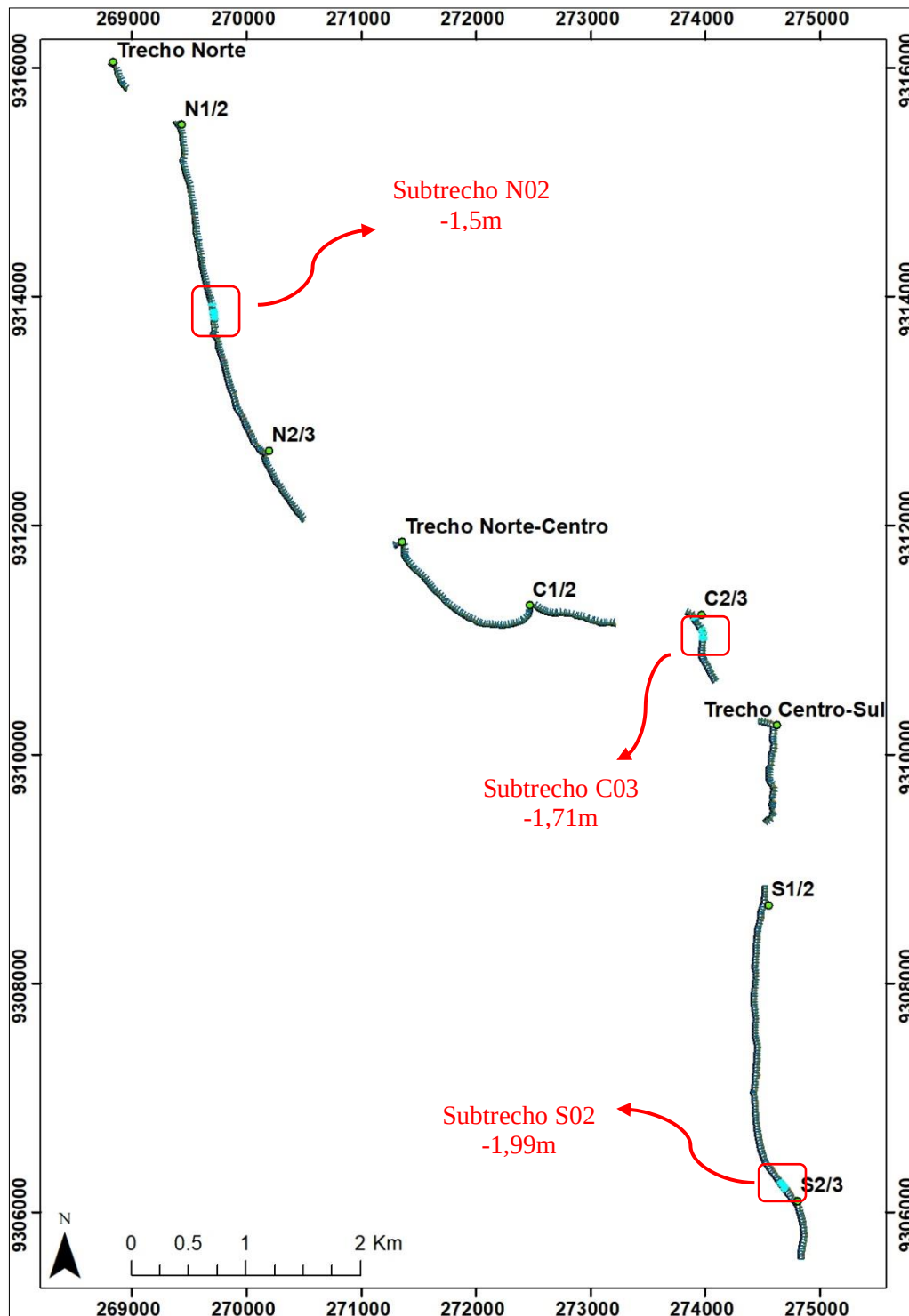
Quanto à espacialização dos dados, foi identificado recuo em todos os três trechos estudados, com destaque para o trecho Central, nos subtrechos C01 e C03, onde se encontram as maiores porções de falésia que recuaram entre 2003 e 2013 (Figura 5.21). Já os subtrechos N01 e N03, do trecho Norte são os que se mantiveram totalmente intactos, ou seja, não foi identificado recuo em toda a extensão deles nesse mesmo período (Figura 5.21).

Figura 5.21: Mapa das áreas que apresentaram recuo de falésia, com os subtrechos que tiveram mais linha de costa recuada (C01 e C03) e os subtrechos que não tiveram recuo entre os anos de 2003 a 2013.



De acordo com a Taxa de Ponto Final, os maiores recuos identificados se encontram nos subtrechos N02 com 1,5 metros de linha de borda da falésia recuada, subtrecho C03 com recuo de 1,71 metros e por último, o subtrecho S02 apresentando recuo de 1,99 metros ao longo dos 10 anos analisados (Figura 5.22).

Figura 5.22: Mapa das áreas que sofreram recuo de falésia, com os subtrechos que tiveram o maior recuo erosivo em sua linha de costa (N02, C03 e S02) entre os anos de 2003 a 2013.



Por fim, em relação ao LRR, a equação resultante identificada foi $y = -0.637x + 1298.7$, a taxa foi de -0.63m/ano e a constante LR^2 obtida foi de 0,98 (Figura 5.23). A analisar a constante LR^2 dada pela Taxa de Regressão Linear que é a razão entre os recuos em metros dos diferentes anos analisados, foi observado que dos 158 transectos que

apresentaram recuo, 58 transectos (36,7%), obtiveram o resultado de 0,7, enquanto que 89 transectos (56,33%) alcançaram o resultado entre 0,8 a 0,89, por fim, os restantes 17 transectos (10,76%), a constante foi de 0,9 a 1 (Figura 5.24). Todos os resultados foram acima de 0,69 o que caracteriza que tais recuos não ocorreram por eventos episódicos de tempestade ou ressaca no mar, mas que há um constante processo erosivo ativo atuando nessas áreas que estão recuando e que o recuo se manteve em uma intensidade similar no decorrer dos anos ao longo dessa década entre 2003 a 2013.

Figura 5.23 – Gráfico da taxa de LRR de Tibau do Sul apresentando a equação de regressão linear de $y = -0.637x + 1298.7$, taxa de -0.63m/ano e o LR^2 foi de 0.98.

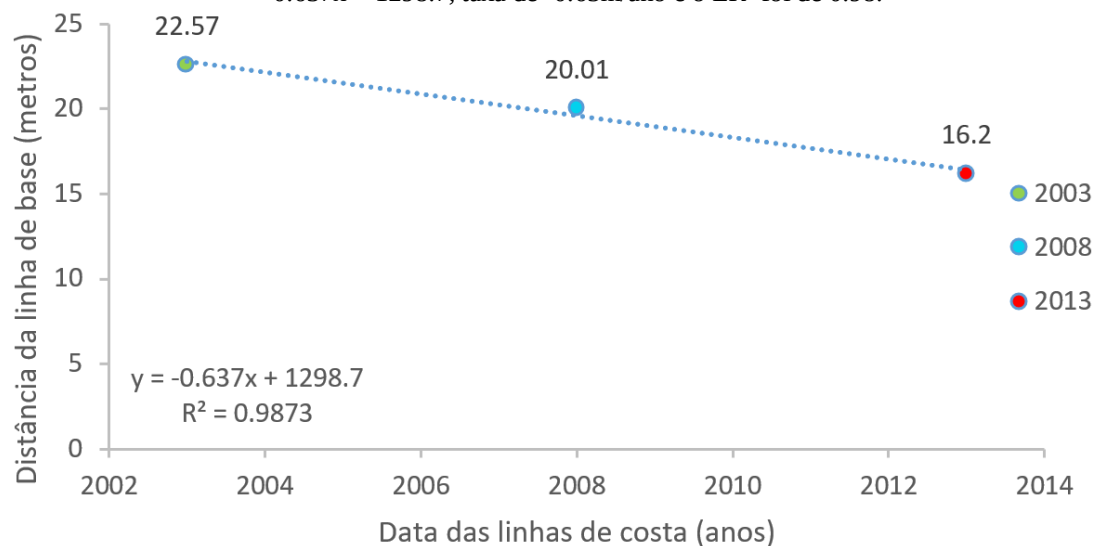
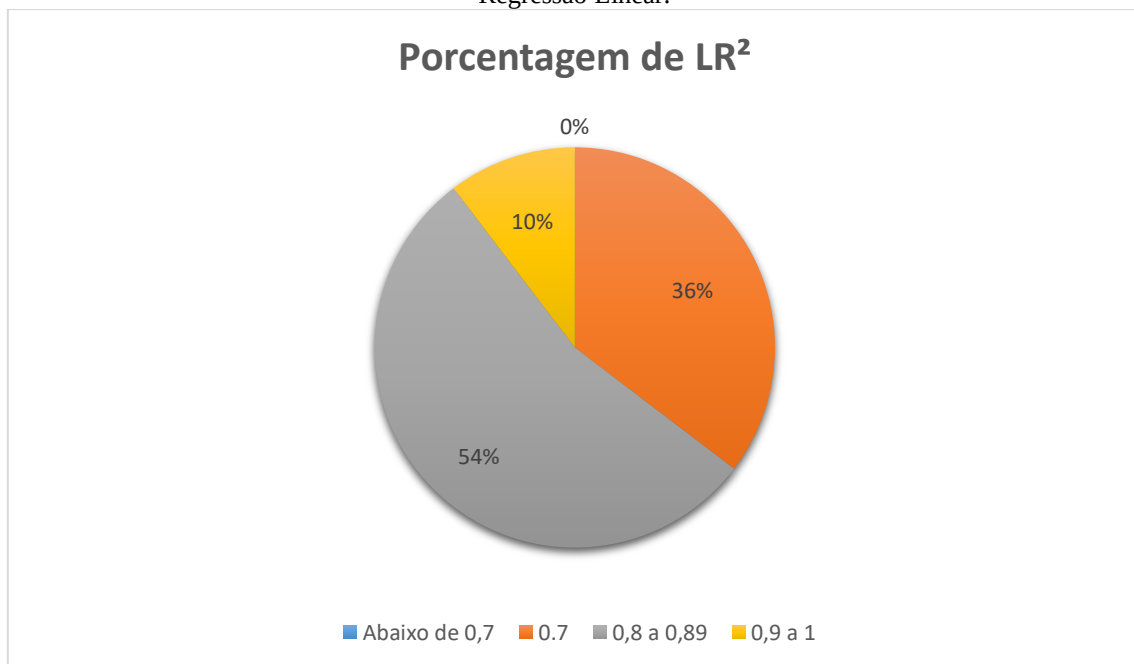


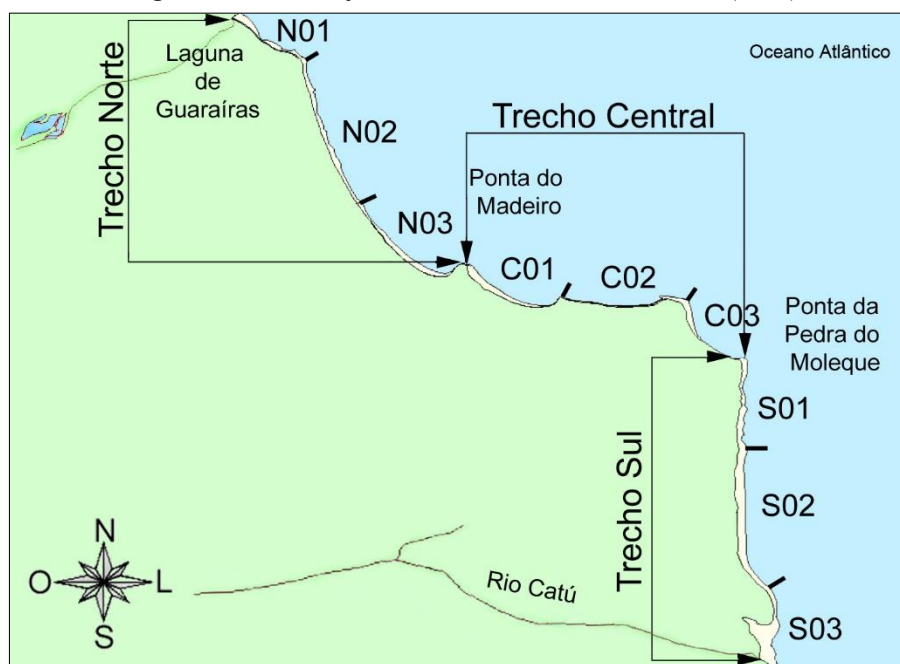
Figura 5.24: Gráfico da porcentagem de transectos e suas constantes LR^2 obtidas através da Taxa de Regressão Linear.



5.3 ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS ATRAVÉS DE *CHECKLIST* DE FALÉSIA

Após as análises multi temporal do litoral de Tibau do Sul, foi realizado uma visita de campo na área nos dias 06, 07 e 08 de Junho de 2018, contemplando toda a extensão costeira da área de pesquisa. A proposta da visita é estudar os processos naturais atuantes e compará-los com os resultados obtidos por Braga (2005) em suas visitas de reconhecimento realizadas nos dias 23 de Junho, 29 de Junho e 7 de Julho de 2004, ou seja, identificar e analisar as mudanças ocorridas no mesmo ambiente após uma escala temporal de 14 anos. Para manter os melhores resultados, foi utilizado o mesmo *checklist* desenvolvido por Braga (2005) e a área de estudo foi subdividida em trechos Norte, Central e Sul com subdivisões em sub-trechos que foram nomeados da seguinte maneira: trecho Norte (N01, N02, N03), trecho Central (C01, C02, C03) e trecho Sul (S01, S02, S03), conforme mostrado na figura 5.25. O critério utilizado para a sua delimitação é específico a cada um dos trechos analisados, e levam em conta os processos erosivos predominantes, níveis de ocupação do solo e elementos físicos característicos da região (Braga 2005).

Figura 5.25 - Definição dos sub-trechos. Fonte: Amaral (2001).



Primeiramente, a subdivisão do trecho Norte foi realizada levando-se em consideração os processos erosivos predominantes. Uma vez que os níveis de ocupação do solo e os elementos físicos característicos da região são bastante homogêneos. Já no

trecho central o critério utilizado foram os diversos níveis apresentados de ocupação do solo. Em função de sua grande diversidade passando de área densamente habitada até trechos desertos. E finalmente, o trecho sul foi subdividido com base nos elementos físicos encontrados na região praial: arenitos de praia e arenitos ferruginosos; “chapadões”; as praias retilíneas; os promontórios e arrecifes. Já que neste trecho a ocupação é bastante homogênea e os processos erosivos instalados tem correlações diante às feições encontradas (Braga 2005).

As pesquisas de campo foram feitas com base na identificação dos processos erosivos ao longo da costa escarpada, percorrendo-se todo o trecho, tanto na faixa de praia, quanto no topo das falésias. Foram feitos registros fotográficos, identificando com o uso de um GPS os pontos de registro e todas as informações relevantes foram anotadas nos *checklists*, posteriormente houve a comparação com os resultados obtidos por Braga (2005) para analisar quais mudanças ocorreram.

Trecho Norte

O trecho tem início na barra de Tibau do Sul e se prolonga até a Ponta do Madeiro, perfazendo aproximadamente um total de 5,3 km. A maior parte do trecho é composta pela praia de Cacimbinha, trata-se de uma praia arenosa, levemente arqueada, com direção NW/SE. Nas extremidades dessa praia são encontrados promontórios constituídos por arenitos ferruginosos. Em sua parte inicial, são encontrados, dispostos paralelamente à linha de costa, os arenitos de praia, menos resistentes que os citados anteriormente.

Para facilitar a organização do trecho abordado adotou-se a subdivisão em 3 sub-trechos. No sub-trecho N01 ambas as erosões marinha e pluvial são significativas, no sub-trecho N02, a erosão pluvial é a mais intensa e no sub-trecho N03 não apresenta nenhuma erosão significativa na falésia. Os comprimentos aproximados de cada sub-trecho são respectivamente 1,2 km, 2,3 km e 1,8 km.

Sub-trecho N01

O sub-trecho N01 é limitado fisicamente ao sul pela ponta da Cacimbinha e ao norte pela barra de Tibau do Sul (Tabela 11). É nele que começa a formação das falésias, que se estendem pelos trechos Norte, Central e Sul.

Embora Braga (2005) tenha identificado que o processo erosivo predominante no sub-trecho N01 foi a erosão marinha, em meados de 2004, atualmente a erosão pluvial

vem se destacando mais em algumas porções da falésia, porém em outras porções, observa-se uma relativa estabilidade evidenciado pela presença de vegetação que cobriu antigas estruturas de proteção como enrocamento (marroada) que antes era visto instalado lá, hoje encontra-se ausente (5.26) e vegetação na base da falésia (Figuras 5.27).

Após 14 anos percorridos, ainda não se constatou a abertura de pequenas cavernas no sopé das escarpas (Figura 5.27). Entretanto, depósitos de talus provenientes de fluxo gravitacional em grande magnitude, tanto antigos como recentes, foram observados. Além de fortes ravinamentos na face da falésia (Figura 5.28).

Figura 5.26 – A) Proteção de enrocamento de pedra (marroada) na base da falésia em 2004. B) Mesmo local apresentando ausência do enrocamento em 2018.



Figura 5.27 – A) Vista geral do sub-trecho N01 apresentando ausência de pequenas cavernas no sopé da escarpa, em 2004. B) Mesmo local apresentando ausência de cavernas e vegetação na base da falésia, em 2018.



Figura 5.28 – Grandes depósitos de Tálus recentes na cor vermelho escuro e depósitos antigos na cor rosa esbranquiçado, com blocos de rochas de diferentes tamanhos, provenientes de fluxo de grãos e fluxo gravitacional provocados pela erosão pluvial.



Tabela 11. Checklist do sub-trecho N01.

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: <u>Barra de Tibau do Sul</u> . Subtrecho: <u>N01</u> . Lua: <u>minguante</u> . Data/Horário: <u>08/06/2018 / 05:33 am - 09:29 am</u> . Maré: <u>05:39 am + 0.3 m / 18:07 pm + 0.2 m</u> .	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia:	
Falésias vivas	☒
Falésias recuadas	☒
Altura da falésia (aprox.) <u>20 – 40 m</u> . Perfil do talude (aprox.) <u>início suave (30°) e forte no fim (60°)</u> .	
Vegetação e sua distribuição: (X) Topo; (X) Face; (X) Base.	
Uso da falésia: () Acesso à praia; () Mirante; () Área de preservação; () Outros _____.	
Estruturas na Falésia:	☒
Uso da propriedade: () Moradia; () Veraneio; (X) Pousada; () Comércio; () Outros _____.	
Qual a distância da estrutura até a borda da falésia? <u>construída na base e no topo</u> .	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia?	☐
Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial?	☐
Erosão Pluvial, Qual? <u>Ravinas, depósitos de talus</u> .	☐
Contribuições na erosão superficial: (X) Drenos de casa; () Irrigação; () Outros _____.	
Percolação da água subterrânea:	
As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação; () Drenos; () Piscinas; () Outros _____.	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	☒
Há deslizamentos ativos ou históricos?	☒
Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? <u>deslizamentos</u> .	☐
Ação da onda:	
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: <u>3m</u> .	☒
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: <u>arenito carbonático e arenito ferruginoso</u> .	☒

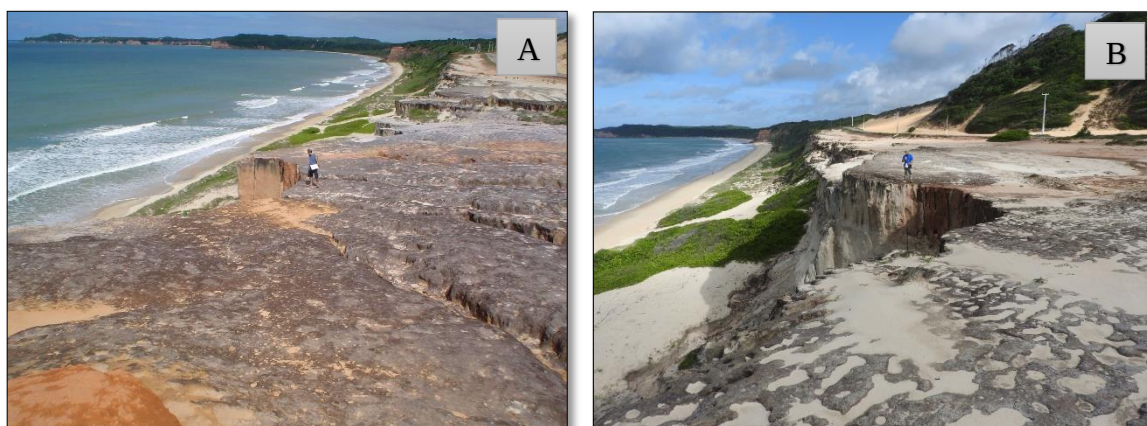
As ondas escovam o pé da falésia?	X
Proteção no pé da falésia. Tipo: <u>arenito carbonático na faixa de praia, no final do sub-trecho arenito ferruginoso tanto na faixa e formando a ponta da cacimbinhas</u> .	X
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: <u>enrocamento de pedra marruada</u> .	X
A obra causa mais erosão?	
Obs: Figura 5.19 – Coordenada (0268890; 9316158), Figura 5.20 – Coordenada (0269058; 9315822), Figura 5.21 – Coordenada (0269029; 9315838).	

Sub-trecho N02

O sub-trecho N02 é localizado ao norte pela ponta da Cacimbinha e ao sul por um pequeno promontório de arenitos (Tabela 12).

Nas falésias deste sub-trecho, como em 2004, ainda predomina a erosão pluvial, sem relevantes danos causados pelo impacto das ondas. O escoamento superficial nos tabuleiros costeiros gerado pelas intensas precipitações pluviométricas causa, no topo das falésias, o carreamento de partículas do solo e conseqüentes incisões (ravinas). As grandes ravinas que atingem desde topo até a face das falésias constatadas por Braga (2005) continuam aumentando, indicando que a erosão se mantém ativa (Figura 5.29).

Figura 5.29 – A) Ravina no topo e face da falésia no sub-trecho N02, em 2004. B) Mesma ravina maior e mais erodida, em 2018.



Neste sub-trecho, os dispositivos de drenagem construídos nas laterais das estradas, descarregam a água coletada diretamente sobre o topo das falésias, gerando

graves problemas erosivos e intensificando a erosão pluvial. A ravina que possuía quase 50 cm de profundidade, hoje possui mais de 1 metro (Figura 5.30).

Figura 5.30 – A) Ravina criada pelo dispositivo de drenagem no sub-trecho N02, em 2004. B) Mesma ravina maior e mais erodida, em 2018.

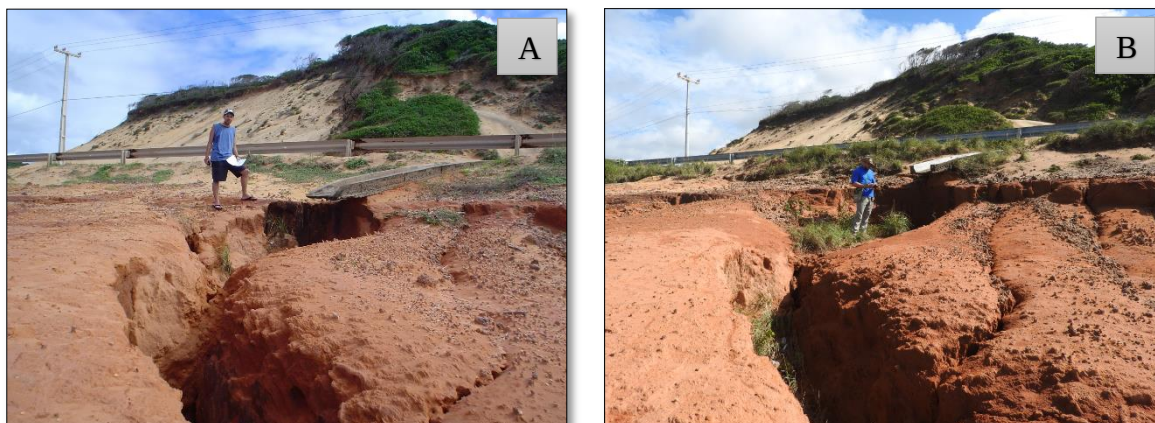


Tabela 12. Checklist do sub-trecho N02.

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: <u>Praia de Cacimbinhas</u> . Subtrecho: <u>N02</u> . Lua: <u>minguante</u> . Data/Horário: <u>08/06/2018 / 9:50 am - 11:20 pm</u> . Maré: <u>05:39 am + 0.3 m / 18:07 pm + 0.2 m</u> .	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia:	
Falésias vivas	☒
Falésias recuadas	☒
Altura da falésia (aprox.) <u>20 – 40 m</u> . Perfil do talude (aprox.) <u>início médio (40°) e forte no fim (60°)</u> .	
Vegetação e sua distribuição: () Topo; () Face; ☒ Base.	
Uso da falésia: ☒ Acesso à praia; ☒ Mirante; () Área de preservação; () Outros: <u>bares instal. na base</u> .	
Estruturas na Falésia:	☒
Uso da propriedade: ☒ Moradia; () Veraneio; ☒ Pousada; ☒ Comércio; () Outros _____.	
Qual a distância da estrutura até a borda da falésia? <u>instaladas na borda e na base</u> .	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia?	☒
Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial?	
Erosão Pluvial, Qual? (ravinas, voçorocas) <u>inúmeras ravinas</u> .	☒
Contribuições na erosão superficial: ☒ Drenos de casa; ☒ Irrigação; () Outros: <u>estrada</u> .	
Percolação da água subterrânea:	
As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação; () Drenos; () Piscinas; () Outros _____.	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	☐
Há deslizamentos ativos ou históricos?	☐
Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? _____.	☐
Ação da onda:	
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: <u>3 – 10 m (em alguns trechos)</u> .	☒
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: <u>linhas isoladas de arenito carbonático</u> .	☒
As ondas escovam o pé da falésia?	☐
Proteção no pé da falésia. Tipo: <u>presença de bermas e faixa de praia</u> .	☒
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: _____.	☐
A obra causa mais erosão?	☐

Obs:

Os dispositivos de drenagem da estrada colaboram no aumento do poder erosivo do escoamento superficial.

Figura 5.22 – Coordenada (0269743; 9314508),

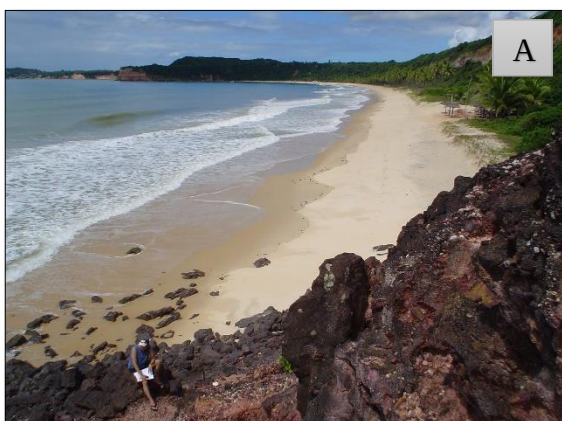
Figura 5.23 – Coordenada (0269695; 9314005),

Sub-trecho N03

O sub-trecho N03 compreende uma pequena baía, limitada ao norte por um curto promontório de arenitos e ao sul pela Ponta do Madeiro (Tabela 13).

Embora a atividade turística e a pressão antrópica continue intensa com presença de bares e restaurantes na base da falésia e de um hotel no topo da mesma com forte fluxo de turistas, esse sub-trecho se manteve estável, posto que a erosão costeira não se verifica relevante quando se refere ao recuo de falésia. Essa maior estabilidade ocorre devido à presença de bermas, proteção vegetal intensa em toda encosta, faixa de praia com extensão de aproximadamente 15 metros e ao fato da energia das ondas ser menor nesta área (Figura 5.31).

Figura 5.31 – A) Perfil praial no sub-trecho N03 apresentando boa extensão de praia, presença de bermas e forte vegetação na base e face da falésia, em 2004. B) Mesma área apresentando um aumento na intensidade de vegetação, em 2018.



Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? _____.		
Ação da onda:		
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: <u>15 m</u>		X
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: _____.		
As ondas escovam o pé da falésia?		
Proteção no pé da falésia. Tipo: <u>presença de bermas e faixa de praia</u>		X
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: _____.		
A obra causa mais erosão?		
Obs: Figura 5.24 – Coordenada (0270223; 9312687), Figura 5.25 – Coordenada (0270926; 9311719).		

Trecho Central

O trecho inicia-se na Ponta do Madeiro e vai até a Ponta da Pedra do Moleque. Ao longo do seu comprimento (aprox. 3,8 km) são encontradas pequenas praias separadas por pontais rochosos, constituídos por arenitos ferruginosos. Entre a Ponta do Madeiro e a Ponta do Canto, se encontra a praia do Curral. Em seguida, indo em direção ao sul, são encontradas as praias localizadas na zona urbana, destacando-se a famosa praia de Pipa.

O trecho central apresenta diversos níveis de ocupação do solo. A subdivisão deste trecho foi feita adotando os critérios escolhidos por Braga (2005), conforme dito anteriormente. O sub-trecho C02 é o mais densamente povoado, seguido pelo sub-trecho C03, onde ainda é possível verificar áreas verdes. O sub-trecho C01 é uma área de preservação ambiental, portanto não ocupada. Os comprimentos aproximados de cada sub-trecho são respectivamente 1,2 km, 1,4 km e 1,2 km.

Sub-trecho C01

O sub-trecho C01 é limitado fisicamente a Oeste pela Ponta do Madeiro e a Leste pela Ponta do Canto e possui vegetação densa no topo das falésias, em quase toda sua extensão (Tabela 14). Na sua parte média, observa-se vegetação em toda a encosta, cobrindo topo, face e base, onde apresentou poucas mudanças devido a processos erosivos ao longo de 14 anos (Figura 5.33). Este sub-trecho é localizado em uma área de preservação ambiental (Santuário Ecológico de Pipa).

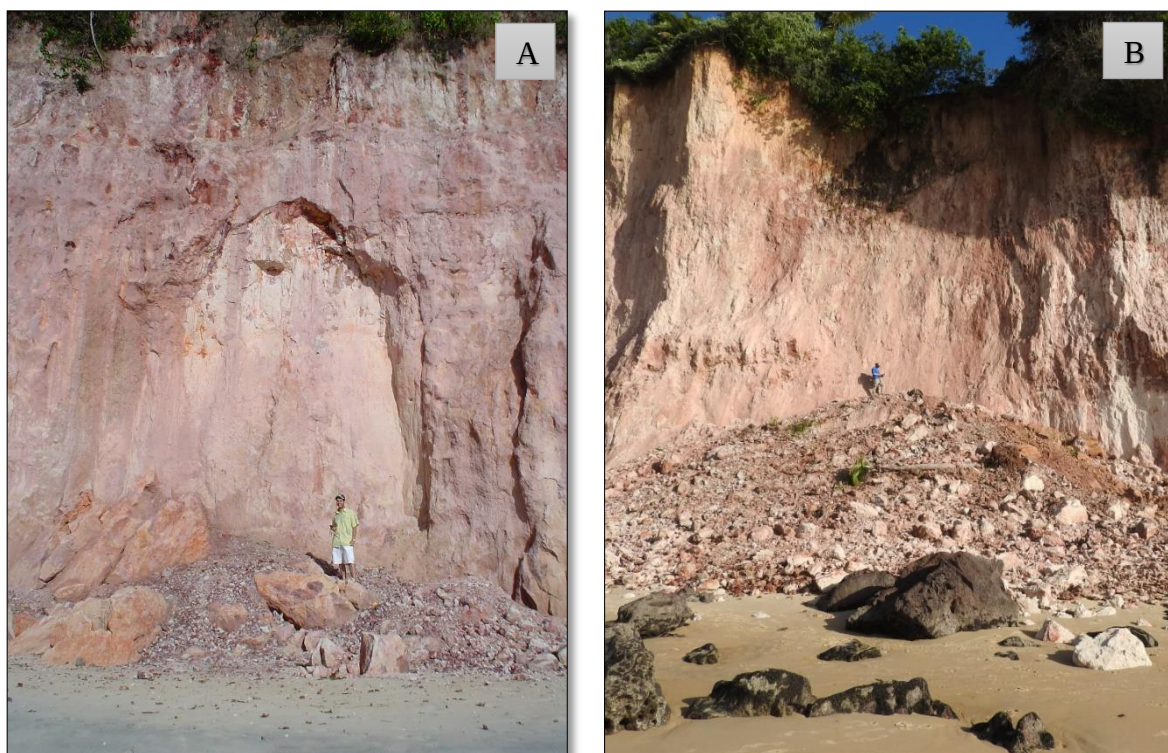
Figura 5.33 – A) Vista geral do sub-trecho C01 apresentando boa extensão de praia, presença de bermas e forte vegetação na base e face da falésia, em 2004. B) Mesma área apresentando uma diminuição na intensidade de vegetação na porção central da falésia, em 2018.



Mesmo sendo uma área sem influência da pressão antrópica, por estar inserido numa área de preservação ambiental, em alguns pontos é observado a ocorrência de movimentos de massas, principalmente quedas e tombamentos, pelo fato da encosta ser íngreme, não ser vegetada na face nesses locais e ter padrão de fraturamento que proporciona a compartimentação do maciço na forma de blocos.

Tal fenômeno contribui para a formação de depósitos de tálus no sopé das falésias, guarnecendo-as contra a ação das ondas e fornecendo sedimentos ao sistema de deriva litorânea. Braga (2005) verificou esse processo erosivo já atuante em 2004, com depósitos que alcançaram 1,6 metros de altura. Atualmente, os mesmos depósitos já ultrapassam os 8 metros e tais tombamentos foram tão recentes que foi identificado até um coqueiro com as folhas ainda verdes que também tombou da borda da falésia, permanecendo junto com os demais blocos de rochas no depósito de tálus, o que caracterizou a porção com o processo erosivo mais intenso em toda a linha de costa de Tibau do Sul (Figura 5.34). Verifica-se também o nítido recuo da linha da borda da falésia, mesmo com o topo coberto de vegetação de porte arbóreo-arbustivo.

Figura 5.34 – A) Movimento de massa no final do sub-trecho C01 com depósito de talus de aproximadamente 1,5 m de altura na base da falésia, em 2004. B) Mesma área apresentando significativo recuo erosivo na borda da falésia e depósito de massa com mais de 8 metros de altura, em 2018.



A proteção conferida pela vegetação às falésias desse sub-trecho, bem como a ausência de planícies de escoamento, faz com que as mesmas não sofram intensamente com a erosão pluvial, não se verificando a formação de ravinas em sua extensão. Também não se observa a erosão marinha de maneira relevante, devido à presença de bermas e faixa de praia na maré cheia. Esses elementos naturais protegem o pé das encostas contra o ataque direto das ondas.

Tabela 14. Checklist do sub-trecho C01.

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: <u>Praia do Curral</u>	Subtrecho: <u>C01</u>
Data/Horário: <u>07/06/2018 / 14:09 pm - 15:15 pm</u>	Lua: <u>minguante</u>
Maré: <u>04:35 am +0.4 m / 17:09 pm +0.3 m</u>	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia:	
Falésias vivas	☐
Falésias recuadas	☒
Altura da falésia (aprox.) <u>35 m</u>	Perfil do talude (aprox.) <u>forte (60°)</u>
Vegetação e sua distribuição: (X) Topo; (X) Face; (X) Base.	
Uso da falésia: () Acesso à praia; () Mirante; (X) Área de preservação; () Outros: _____	
Estruturas na Falésia:	☐
Uso da propriedade: () Moradia; () Veraneio; () Pousada; () Comércio; () Outros: _____	
Qual a distância da estrutura até a borda da falésia? _____	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	

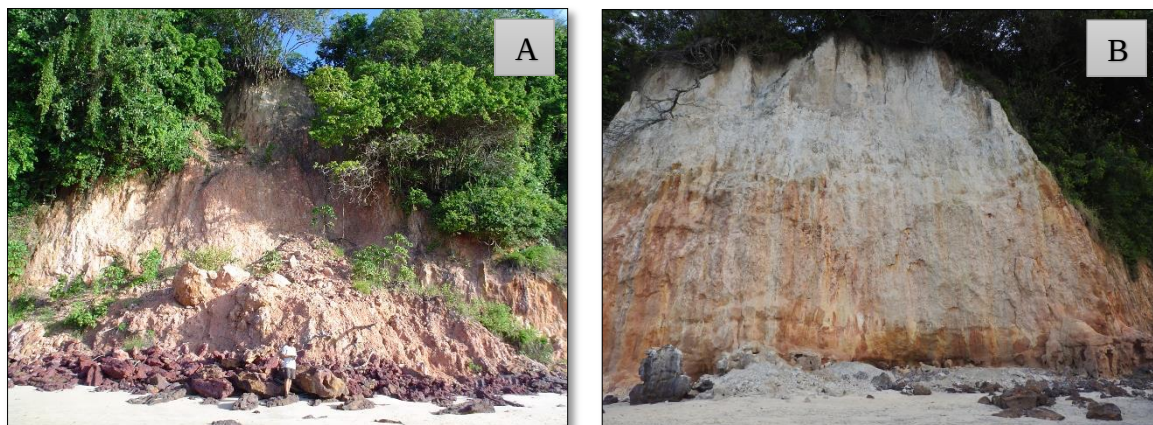
Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia?	☐
Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial?	☐
Erosão Pluvial, Qual? (ravinas, voçorocas)_____.	☐
Contribuições na erosão superficial: () Drenos de casa; () Irrigação; () Outros: _____.	☐
Percolação da água subterrânea:	
As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação;	
() Drenos; () Piscinas; () Outros _____.	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	☐
Há deslizamentos ativos ou históricos?	☐
Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? <u>quedas e tombamentos</u> _____.	☒
Ação da onda:	
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: <u>10 m</u> _____.	☒
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: _____.	☐
As ondas escovam o pé da falésia?	☐
Proteção no pé da falésia. Tipo: <u>presença de bermas e faixa de praia</u> _____.	☒
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: _____.	☐
A obra causa mais erosão?	☐
Obs: <u>Este sub-trecho é limitado por duas pontas, Ponta do Madeiro ao norte e a Ponta do Canto ao sul, nesta última há vários pontos onde foram deflagrados movimentos de massa de grande volume.</u> Figura 5.26 – GPS (0271886; 9311329), Figura 5.27 – GPS (0272460; 9311258).	

Sub-trecho C02

Compreendido a Oeste pela Ponta do Canto e a Leste pela Ponta da Cancela (Tabela 15), o sub-trecho C02 é o mais habitado, apresentando forte atividade turística e sofrendo grandes pressões do mercado imobiliário.

Em seu início (Oeste), ainda pouco habitado, as falésias estavam sujeitas a movimentos de massa, como deslizamentos, quedas e tombamentos, ocorridos pelos mesmos motivos citados no sub-trecho C01 e deflagrados pela água de intensas chuvas tropicais que preenchem as descontinuidades do maciço e atuam no sentido de expulsar blocos do talude. Porém, atualmente, os depósitos de tálus estão menores, indicando a diminuição da erosão pluvial e a contínua ação erosiva costeira ativa no decorrer do tempo (Figura 5.35).

Figura 5.35 – A) Depósito de tálus no início do sub-trecho C02 na base da falésia, em 2004. B) Mesma área com uma camada remanescente do depósito de tálus na base da falésia, em 2018.



Também nessa área, as ondas continuam a escovar o pé das falésias (falésias vivas), solapando a base e formando incisões, na forma de pequenas “cavernas” que estão mais profundas atualmente do que em 2004 (Figura 5.36). Essas incisões provocam instabilidade basal e conseqüente formação de depósitos de tálus.

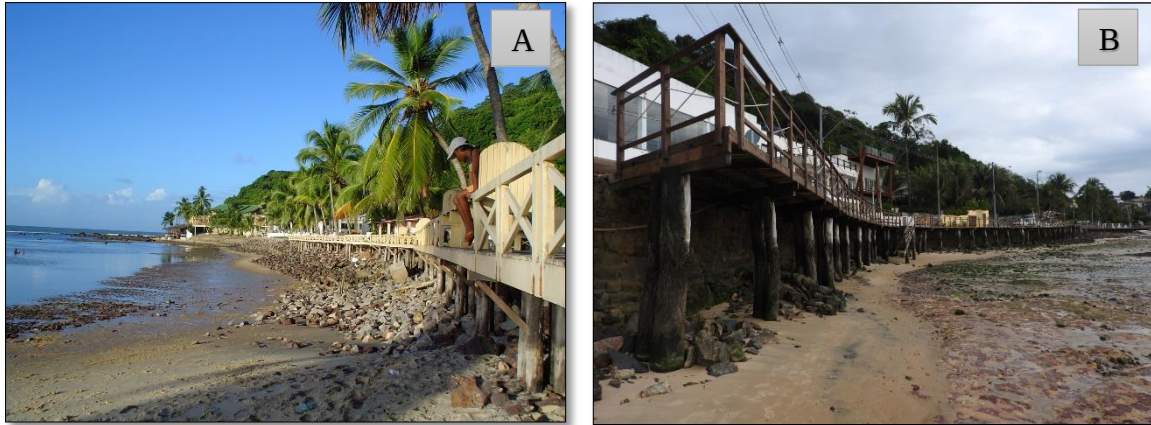
Figura 5.36 – A) Incisões em forma de pequenas cavernas na base da falésia, início do sub-trecho C02, em 2004. B) Mesma área com as incisões mais profundas, em 2018.



O sub-trecho C02, em sua parte média até o final (Leste), apresenta intensa pressão antrópica caracterizada pela alta concentração de edificações, com pousadas, casas de veraneio, bares e restaurantes, que se estendem desde a beira-mar até o topo da encosta. Nessa parte, Braga (2005) afirma que a proximidade de tais obras em relação ao mar gera sérios problemas ambientais, já que o avanço da linha de costa em direção ao continente, devido à erosão marinha, choca-se com as obras de proteção. Essas obras, em geral, constituem-se de enrocamentos (marroada) e muros de concreto (Figura 5.37, 5.38 e 5.39). Tais proteções antrópicas barram o ciclo natural de avanço e recuo da linha costeira e podem cortar o suprimento de sedimentos em uma dada área, agravando o fenômeno da erosão. Vale salientar também que tais obras de proteção, se não forem

regularmente reinstaladas, as próprias estruturas as quais estavam sendo protegidas passam a ficar desprotegidas, podendo ser danificadas pela erosão marinha como foi o caso do passeio de madeira construído em Pipa (Figura 5.37).

Figura 5.37 – A) Passeio protegido com enrocamento no centro do sub-trecho C02, em 2004. B) Mesma área com a escada que dá acesso à praia danificada e ausência de enrocamento de proteção do passeio, em 2018.



Porém, em outras partes, onde as estruturas de proteção estão recebendo manutenção, as estruturas antrópicas se mantêm intactas (Figura 5.38) e a expansão antrópica na linha de praia continua até na atualidade com novas construções e estruturas de proteção sendo instaladas (Figura 5.39).

Figura 5.38 – A) Obras de proteção costeira, em 2004. B) Mesma área com as obras de proteção erodidas nos muros mas ainda de pé, em 2018.



Figura 5.39 – A) Residência sendo construída na face da praia com enrocamento já instalado, em 2018.
B) Residências e restaurantes com enrocamento recém instalado, em 2018.



Tabela 15. Checklist do sub-trecho C02.

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: <u>Praias urbanas de Pipa</u> . Subtrecho: <u>C02</u> . Lua: <u>minguante</u> . Data/Horário: <u>07/06/2018 / 15:20 pm - 16:40 pm</u> . Maré: <u>04:35 am +0.4 m / 17:09 pm +0.3 m</u> .	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia:	
Falésias vivas	☒
Falésias recuadas	☒
Altura da falésia (aprox.) <u>40 m</u> . Perfil do talude (aprox.) <u>forte (60°)</u> .	
Vegetação e sua distribuição: (X) Topo; (X) Face; (X) Base.	
Uso da falésia: (X) Acesso à praia; (X) Mirante; () Área de preservação; () Outros: _____.	
Estruturas na Falésia:	
Uso da propriedade: (X) Moradia; (X) Veraneio; (X) Pousada; (X) Comércio; (X) Outros: <u>estacionamentos</u> .	
Qual a distância da estrutura até a borda da falésia? <u>instalada na borda</u> .	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia?	☒
Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial?	
Erosão Pluvial, Qual? (ravinas, voçorocas) _____.	
Contribuições na erosão superficial: (X) Drenos de casa; (X) Irrigação; (X) Outros: <u>impermeabilização</u> .	
Percolação da água subterrânea:	
As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação;	
() Drenos; () Piscinas; () Outros _____.	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	
Há deslizamentos ativos ou históricos?	
Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? <u>deslizamentos, quedas e tombamentos</u> .	☒
Ação da onda:	
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: _____.	
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: <u>grupos de arenitos ferruginosos tanto na faixa quanto fora</u> .	☒
As ondas escovam o pé da falésia?	☒
Proteção no pé da falésia. Tipo: <u>alguns grupos de arenitos ferruginosos</u> .	☒
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: <u>enrocamentos, paredões e bulkheads</u> .	☒
A obra causa mais erosão?	

Obs:

Há uma forte ocupação na borda da falésia. Há um perigo visível de que grandes movimentos de massa sejam deflagrados e danifiquem as estruturas na porção central e leste.

Figura 5.28 – Coordenada (0272814; 8311274),

Figura 5.29 – Coordenada (0273042; 9314229),

Figura 5.30 – Coordenada (0273574; 9311201),

Figura 5.31 – Coordenada (0273164; 9311209),

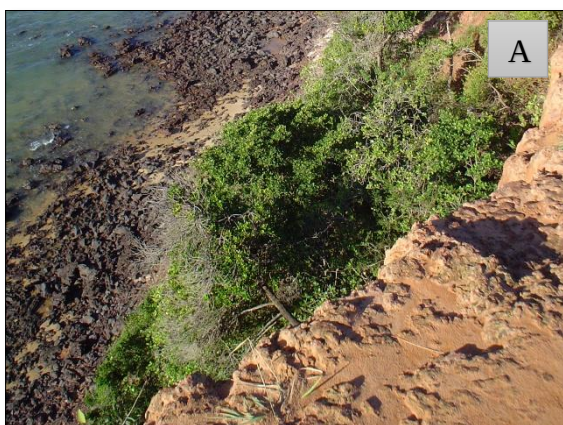
Figura 5.32 – Coordenada (0273164; 9311209).

Sub-trecho C03

O sub-trecho C03 está localizado entre a ponta da Cancela (Oeste) e a Ponta da Pedra do Moleque (Tabela 16), estando apenas parcialmente habitado, com alguns bares, na base das falésias, e pousadas, situadas no topo das mesmas.

A erosão marinha nesse sub-trecho é mais suave, pois a existência de falésias mais recuadas e arenitos ferruginosos, onde as ondas possuem maior energia, diminuem o impacto das mesmas sobre a base das falésias. Tanto que a diferença na paisagem de 2004 a 2018 é praticamente nenhuma na base e face das falésias que ainda mantêm a mesma cobertura vegetal há 14 anos (Figura 5.40).

Figura 5.40 – A) Base e face da falésia no sub-trecho C03, em 2004. B) Mesma área mantendo a mesma cobertura vegetal, em 2018.



Já a erosão pluvial possui uma influência maior no início do sub-trecho (Oeste), formando uma planície de escoamento, com grande quantidade de ravinas, porém com pouca evolução na erosão no decorrer dos 14 anos (Figura 5.41). Este processo não é

intenso em sua parte média, devido à existência de proteção conferida pela vegetação, e nem na sua parte final, pois seu material é de maior resistência, não sendo significativamente erodido, por mais que se formem superfícies de escoamento.

Figura 5.41 – A) Planície de escoamento com ravinas no topo da falésia no sub-trecho C03, em 2004. B) Mesma área apresentando poucas mudanças devido ao processo erosivo pluvial, em 2018.



Tabela 16. *Checklist* do sub-trecho C03.

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: <u>Praia do Amor</u> . Subtrecho: <u>C03</u> . Lua: <u>minguante</u> . Data/Horário: <u>07/06/2018 / 16:50 pm - 17:35 pm</u> . Maré: <u>04:35 am +0.4 m / 17:09 pm +0.3 m</u> .	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia: Falésias vivas ☐ Falésias recuadas ☒ Altura da falésia (aprox.) <u>40 m</u> . Perfil do talude (aprox.) <u>suave (30°) a média (40°)</u> . Vegetação e sua distribuição: (X) Topo; (X) Face; (X) Base. Uso da falésia: (X) Acesso à praia; (X) Mirante; () Área de preservação; () Outros: <u>bares instal. na base</u> . Estruturas na Falésia: ☐ Uso da propriedade: () Moradia; () Veraneio; (X) Pousada; () Comércio; (X) Outros: <u>estacionamento</u> . Qual à distância da estrutura até a borda da falésia? <u>instalada na borda</u> .	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial: Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia? ☒ Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial? ☒ Erosão Pluvial, Qual? (ravinas, voçorocas) <u>ravinas</u> . Contribuições na erosão superficial: (X) Drenos de casa; (X) Irrigação; () Outros: ☐ .	
Percolação da água subterrânea: As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação; () Drenos; () Piscinas; () Outros ☐ Há superfícies úmidas na face da falésia? ☐ Há deslizamentos ativos ou históricos? ☐ Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? ☐ .	
Ação da onda: Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: <u>5 m</u> . Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: <u>grupos de arenitos ferruginosos</u> . As ondas escovam o pé da falésia? ☐ Proteção no pé da falésia. Tipo: <u>grupos de arenitos ferruginosos</u> . Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: ☐ A obra causa mais erosão? ☐	
Obs: <u>Este sub-trecho possui uma grande planície relacionada a uma rede de drenagem bem definida, inclusive uma grande ravina está danificando o terreno.</u>	

Trecho Sul

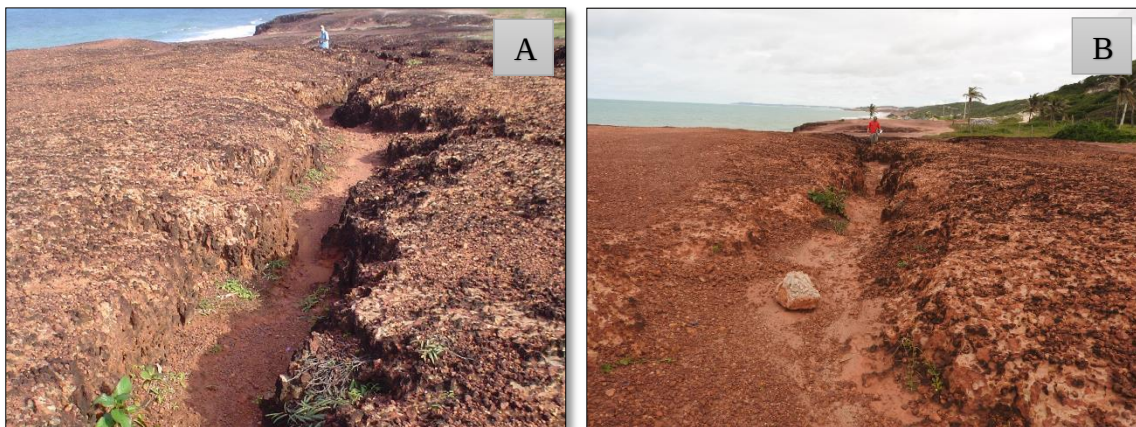
Este trecho é limitado ao Norte pela Ponta da pedra do Moleque e ao Sul pela desembocadura do Rio Catú (aprox. 5 km). Ele possui longas praias retilíneas principalmente as praias de Minas e Pedra d'água. O maior destaque do trecho sul é a presença dos “chapadões”. O Chapadão de Pipa e o Chapadão da Praia das Minas são os maiores em dimensões e pressão de ocupação.

Assim como nos trechos anteriores, o trecho Sul foi subdividido por Braga (2005) em três sub-trechos. O critério utilizado nessa subdivisão foi baseado nos elementos físicos encontrados na zona de praia. O sub-trecho S01 (aprox. 1,6 km) é caracterizado pela ausência de faixa de praia e por falésias com arenitos em sua base, o sub-trecho S02 (aprox. 2,1 km) é marcado por uma longa praia retilínea, e o sub-trecho S03 (aprox. 1,3 km) corresponde a um promontório com bancadas de arenitos na arrebentação.

Sub-trecho S01

O sub-trecho S01 começa ao Norte pela Ponta da Pedra do Moleque e vai até onde estão presentes os arenitos de praia (Tabela 17). Este sub-trecho possui uma erosão pluvial limitando-se à superfície do chapadão, onde as ravinas instaladas no topo da falésia continuam a evoluir e ficar mais profundas (Figura 5.42).

Figura 5.42 – A) Planície de escoamento com ravinas no topo da falésia no sub-trecho S01, em 2004. B) Mesma área com ravinas mais longas e profundas, em 2018.



A erosão marinha é mínima, não foi verificado nenhum escovamento ou outro testemunho erosivo em sua base. Os fatores que atenuam essa erosão são a blindagem

atribuída aos arenitos na base da falésia, o que atenua a ação das ondas e a cimentação ferruginosa da rocha que constitui as escarpas que lhe confere maior resistência do que as falésias presentes no trecho norte e central (Figura 5.43).

Figura 5.43 – A) Base das falésias com extensa faixa de praia e proteção natural de arenitos no sub-trecho S01, em 2004. B) Mesma área apresentando suaves mudanças, em 2018.



Tabela 17. Checklist do sub-trecho S01.

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: <u>Ponta da Pedra do Moleque</u> . Subtrecho: <u>S01</u> . Lua: <u>Lua Minguante</u> . Data/Horário: <u>06/06/2018 / 14:50 pm - 15:20 pm</u> . Maré: <u>03:25 am +0.4 m / 16:05 pm +0.3 m</u> .	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia:	
Falésias vivas	☒
Falésias recuadas	☐
Altura da falésia (aprox.) <u>20 m</u> . Perfil do talude (aprox.) <u>médio (40°)</u> .	
Vegetação e sua distribuição: () Topo; () Face; (X) Base. <u>Em pontos isolados</u>	
Uso da falésia: (X) Acesso à praia; (X) Mirante; () Área de preservação; (X) Outros: <u>rota turística</u> .	
Estruturas na Falésia:	☒
Uso da propriedade: () Moradia; () Veraneio; (X) Pousada; () Comércio; () Outros: _____.	
Qual a distância da estrutura até a borda da falésia? <u>10 m</u> .	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia?	☒
Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial?	☒
Erosão Pluvial, Qual? (ravinas, voçorocas) <u>ravinas</u> .	☒
Contribuições na erosão superficial: (X) Drenos de casa; (X) Irrigação; () Outros: _____.	
Percolação da água subterrânea:	
As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação; () Drenos; () Piscinas; () Outros _____.	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	☐
Há deslizamentos ativos ou históricos?	☐
Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? _____.	☐
Ação da onda:	
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: _____.	☐
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: <u>grupos de arenitos ferruginosos</u> .	☒
As ondas escovam o pé da falésia?	☐
Proteção no pé da falésia. Tipo: <u>grupos de arenitos ferruginosos</u> .	☒
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: _____.	☐
A obra causa mais erosão?	☐
Obs: <u>Apesar de existir um forte escoamento pela planície, as incisões na superfície do terreno deste trecho são encontradas em menor quantidade do que nos trechos norte e central. A coloração mais escura dessas falésias denotam uma cimentação ferruginosa conferindo mais resistência a encosta.</u> Figura 5.35 – Coordenada (0274711; 9310267), Figura 5.36 – Coordenada (0274618; 9309742).	

Sub-trecho S02

O sub-trecho S02 é caracterizado pelo fim da ocorrência dos arenitos na faixa de praia, e onde começa uma extensa praia retilínea, estendendo-se até meados da praia de Pedra d'água (Tabela 18).

A erosão marinha na base da falésia é nula, devido a uma ampla faixa de praia com presença de berma, há uma vegetação rasteira na base das falésias que são mais recuadas que no sub-trecho anterior, indicando estabilidade nessa porção desde 2004 até 2018 (Figura 5.44).

Figura 5.44 – A) Perfil praial apresentando proteção natural na base das falésias no sub-trecho S02, em 2004. B) Mesma área apresentando suaves mudanças, em 2018.



Assim como no S01, não foram identificados movimentos de massas marcantes e em grande número, mas a exemplo do primeiro, a planície que se desenvolve em sua parte média gera uma grande quantidade de escoamento superficial, o que provocou o aparecimento de diversas ravinas, uma em destaque na borda da falésia que continua a crescer e a provocar recuo da linha da borda da mesma (Figura 5.45).

Figura 5.45 – A) Grande ravina no final de sub-trecho S02, em 2004. B) Mesma área apresentando aumento da ravina e consequente aumento do recuo da linha da borda da falésia, em 2018.

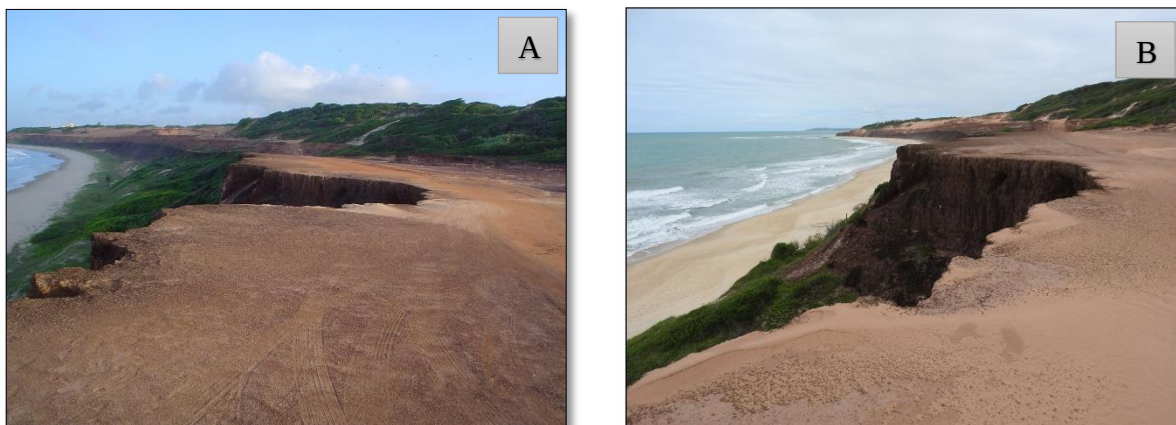


Tabela 18. Checklist do sub-trecho S02.

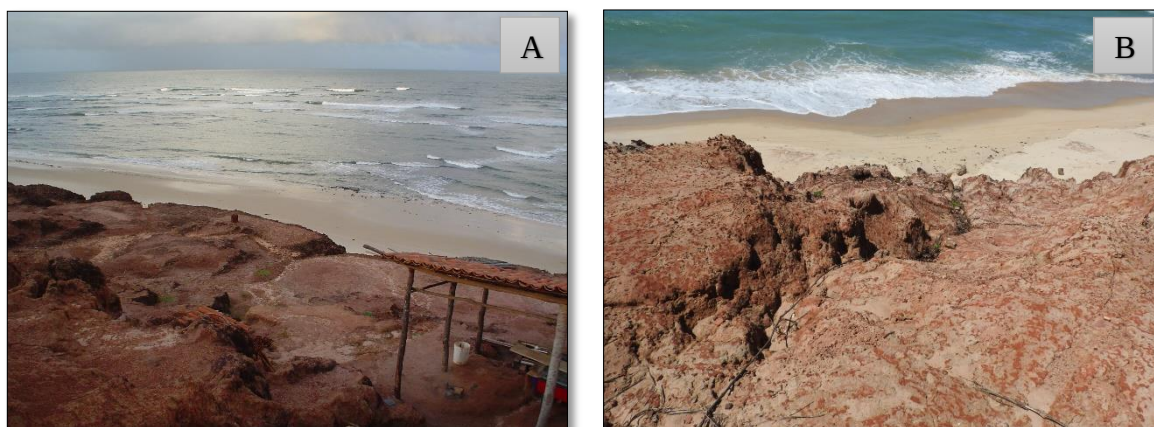
CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: <u>Praia de Minas e Pedra d'água</u> . Subtrecho: <u>S02</u> . Lua: <u>Lua Minguante</u> . Data/Horário: <u>06/06/2018 / 15:20 pm - 16:50 pm</u> . Maré: <u>03:25 am +0.4 m / 16:05 pm +0.3 m</u> .	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia:	
Falésias vivas	☐
Falésias recuadas	☒
Altura da falésia (aprox.) <u>20 m</u> . Perfil do talude (aprox.) <u>suave (30°) a médio (40°)</u> .	
Vegetação e sua distribuição: (X) Topo; (X) Face; (X) Base.	
Uso da falésia: () Acesso à praia; (X) Mirante; () Área de preservação; (X) Outros: <u>rota turística</u> .	
Estruturas na Falésia:	☐
Uso da propriedade: () Moradia; () Veraneio; () Pousada; () Comércio; () Outros: _____.	
Qual a distância da estrutura até a borda da falésia? _____.	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia?	☒
Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial?	☒
Erosão Pluvial, Qual? (ravinas, voçorocas) <u>ravinas</u> .	☒
Contribuições na erosão superficial: () Drenos de casa; () Irrigação; () Outros: _____.	
Percolação da água subterrânea:	
As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação;	
() Drenos; () Piscinas; () Outros _____.	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	☐
Há deslizamentos ativos ou históricos?	☐
Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? _____.	☐
Ação da onda:	
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: <u>20 m</u> .	☐
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: <u>dois pequenos grupos isolados de arenitos ferruginosos</u> .	☒
As ondas escovam o pé da falésia?	☐
Proteção no pé da falésia. Tipo: <u>presença de bermas e faixa de praia</u> .	☒
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: _____.	☐
A obra causa mais erosão?	☐
Obs: Figura 5.37 – Coordenada (0274564; 9307876), Figura 5.38 – Coordenada (0274492; 9307201).	

Sub-trecho S03

O sub-trecho S03 começa numa ponta impregnada de arenitos, que se entendem além da linha da costa (Tabela 19).

Foram observados ravinas que em 2004 foram verificados como pequenos canais indicativos de erosão pluvial que até então ainda não tinham provocado grandes estragos no topo da falésia (Figura 5.46).

Figura 5.46 – A) Pequenos canais indicativos de erosão pluvial no sub-trecho S03, em 2004. B) Mesma área apresentando grande ravina, em 2018.



Em 2004, Braga (2005) não observou erosão marinha, porém em 2018, verifica-se uma forte erosão que aflorou o terraço de abrasão e apresenta escavonamento na base da falésia (Figura 5.47).

Figura 5.47 – A) Terraço de abrasão aflorando e incisões na base da falésia no sub-trecho S03, em 2018.



A influência antrópica intensifica mais a erosão com estruturas comprometidas e com risco de tombamento e através de estruturas de drenagem que intensificam a erosão na base das falésias (Figura 5.48).

Figura 5.48 – A) Obras e estruturas danificadas devido a erosão no sub-trecho S03, em 2018. B) Estrutura de drenagem provocando erosão na base da falésia, em 2018.



Tabela 19. Checklist do sub-trecho S03.

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO	
Nome/Lugar: <u>Rio Catú</u> .	Subtrecho: <u>S03</u> .
Data/Horário: <u>06/06/2018 / 16:55 pm - 17:25 pm</u> .	Lua: <u>Minguante</u> .
Maré: <u>03:25 am +0.4 m / 16:05 pm +0.3 m</u> .	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da Falésia:	
Falésias vivas	☒
Falésias recuadas	☐
Altura da falésia (aprox.) <u>10 m</u> . Perfil do talude (aprox.) <u>médio (40°)</u> .	
Vegetação e sua distribuição: () Topo; () Face; (X) Base.	
Uso da falésia: () Acesso à praia; () Mirante; () Área de preservação; (X) Outros: <u>rota turística</u> .	
Estruturas na Falésia:	☒
Uso da propriedade: (X) Moradia; (X) Veraneio; () Pousada; () Comércio; () Outros: _____.	
Qual a distância da estrutura até a borda da falésia? <u>instal. na borda</u> .	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz um escoamento descontrolado pela face da falésia?	☒
Existem sistemas de fraturas, nesta planície, que condicionam o escoamento superficial?	☒
Erosão Pluvial, Qual? (ravinas, voçorocas) <u>ravinas</u> .	☒
Contribuições na erosão superficial: () Drenos de casa; () Irrigação; () Outros: _____.	
Percolação da água subterrânea:	
As maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: () Tanques sépticos; () Irrigação; () Drenos; () Piscinas; () Outros _____.	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	☒
Há deslizamentos ativos ou históricos?	☐
Qualquer outro tipo de movimento de massa. Qual? _____.	☐
Ação da onda:	
Na maré alta existe uma faixa de praia? Largura: <u>3 m</u> .	☐
Linhas de arenito na faixa de praia. Tipo: _____.	☒
As ondas escovam o pé da falésia?	☐
Proteção no pé da falésia. Tipo: <u>faixa de praia</u> .	☒
Há alguma obra de controle da erosão? Tipo: _____.	☐
A obra causa mais erosão?	☐
Obs: <u>Figuras 5.39 e 5.41 – Coordenada (0274898; 9305868),</u> <u>Figura 5.40 – Coordenada (0274899; 9305787),</u> <u>Zona de Percolação – Coordenada (0274898; 9305787).</u>	

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise multitemporal através da ferramenta DSAS utilizando os métodos estatísticos da Taxa de Regressão Linear e Taxa de Ponto Final em imagens de resolução espacial média dos satélites Landsat 5 e 7 numa escala temporal de 3 décadas, identificou 5 trechos de falésias nos municípios de Porto do Mangue e Touros, no litoral setentrional do RN, e nos municípios de Parnamirim, Tibau do Sul e Baía Formosa, no litoral oriental do mesmo Estado, que estão em contínuo processo de recuo erosivo da linha de costa, essa linha delimitada pelas bordas das falésias.

Ao longo de 3 décadas, verifica-se que a falésia em Porto do Mangue foi a que apresentou maior recuo erosivo, com 101,1 metros em uma regressão constante entre as décadas analisadas, indicando intensa erosão ativa em todos os períodos analisados. Em contrapartida, inserido na mesma região setentrional do RN, a falésia em Touros foi a que apresentou menor recuo erosivo na linha de costa. O recuo erosivo máximo ocorreu na porção central da falésia com 18,76 metros com uma regressão também constante entre as décadas analisadas.

Já no litoral oriental, a falésia em Parnamirim apresentou recuos erosivos na ordem 34,44 metros no extremo Norte da falésia, local com pressão antrópica e onde se encontra instalado a base aérea Barreira do Inferno. Em sua porção mais ao Sul, o recuo diminui para 13,44 metros. Quanto a constante LR^2 , da Taxa de Regressão Linear, o resultado obtido foi de 0,55 e isso indica que provavelmente esses recuos variaram bastante de intensidade no decorrer de cada década e que os recuos são mais provenientes de eventos episódicos torrenciais ou de maré de Sizígia do que uma erosão constante.

Outro trecho onde a erosão se mostrou mais significativa foi em Tibau do Sul, cujo as áreas com os maiores recuos erosivos estão no extremo Norte da primeira parte, apresentando 68,32 metros de recuo ao longo das três décadas, e no extremo Sul da segunda parte, apresentando 56 metros recuados da linha da borda de falésia. Assim como nas falésias do litoral setentrional, essas falésias apresentaram a constante LR^2 0,97 significando que a erosão foi constante entre os períodos de análise.

Por último, foi estudado as falésias de Baía Formosa, cujo a análise realizada durante as três décadas, como nas áreas anteriores que sofreram recuo, observou-se que somente na primeira década, entre os anos de 1986 a 1994, foi observado recuo da borda de falésia, onde foi observado o maior recuo na porção extremo Oeste com 27,44 metros

recuados e a regressão linear apresentou um resultado de LR^2 a 0,54 devido ao recuo estar concentrado somente na primeira década, entre os anos de 1986 a 1994.

A segunda análise multitemporal utilizando a mesma metodologia em imagens ópticas do sensor Quickbird de alta resolução espacial numa escala temporal de 10 anos, apresentou que 34% de todo o litoral com falésia em Tibau do Sul sofreu recuo erosivo da linha de costa delimitada pelas bordas das falésias. Foi identificado recuo em todos os três trechos estudados, com destaque para o trecho Central, nos subtrechos C01 e C03, onde se encontram as maiores porções de falésia que recuaram entre 2003 e 2013. Porém os maiores recuos identificados se encontram nos subtrechos N02 com 1,5 metros de linha de borda da falésia recuada, subtrecho C03 com recuo de 1,71 metros e por último, o subtrecho S02 apresentando recuo de 1,99 metros.

Ao analisar também a constante LR^2 dada pela Taxa de Regressão Linear que é a razão entre os recuos em metros dos diferentes anos analisados, foi observado que todos os resultados foram acima de 0,69 o que caracteriza que tais recuos não ocorreram por eventos episódicos de tempestade ou ressaca no mar, mas que há um constante processo erosivo ativo atuando nessas áreas que estão recuando e que o recuo se manteve em uma intensidade similar no decorrer dos anos ao longo dessa década entre 2003 a 2013.

Quanto a aplicação do *checklist* desenvolvido por Braga (2005), o mesmo apresentou-se como uma ferramenta apropriada na identificação de processos erosivos costeiros principalmente no que concerne às falésias, dinamizando de forma organizada a coleta e análise das informações referentes à área de atuação e características desencadeadoras da erosão marinha e pluvial nesses ambientes. A partir dele, pôde-se constatar os conflitos existentes entre a erosão marinha e pluvial nas praias de Tibau do Sul e a ocupação humana representada pela pressão da indústria turística local.

Quanto a comparação entre as informações de Braga (2005) coletadas em 2004 e as coletadas em 2018, verifica-se mudanças em todos os trechos estudados. No trecho Norte, o sub-trecho N01 que antes tinha como principal erosão a costeira, hoje apresenta a forte influência também da erosão pluvial. Já o sub-trecho N02, verifica-se a evolução das ravinas, oriundas da erosão pluvial, danificarem até as estruturas de drenagem e colocarem em risco as estradas no topo da falésia. Porém o sub-trecho N03 se manteve estável, mesmo com uma pressão antrópica cada vez maior.

O trecho Central, no sub-trecho C01 as incisões mais profundas na base das falésias e os maiores movimentos de massa e gravitacional foram identificados o que se identifica uma forte evolução desses processos erosivos que já tinham sido observados em 2004, mesmo sendo uma porção inserida em uma reserva de proteção ambiental e não sofrer pressão antrópica. Enquanto que o sub-trecho C02, porção com maior pressão antrópica, antigas estruturas de enrocamento apresentadas no *checklist* de Braga (2005) já foram erodidas e as obras por essas estruturas defendidas já estão sofrendo colapso como é o caso da escada que dá acesso à praia, no entanto novas obras sobre a face de praia estão sendo erguidas e novas estruturas de proteção costeira estão sendo criadas. Já o sub-trecho C03 apresenta uma diminuição da intensidade da erosão pluvial que ainda continua sendo a erosão principal, tornando esse o sub-trecho o mais estável do trecho Central.

Por fim, o trecho Sul, em seu sub-trecho S01, a erosão marinha se mantém praticamente nula como no sub-trecho C03, devido ao contexto geomorfológico e ambiental, no entanto, a erosão pluvial está bastante ativa intensificando as ravinas e aumentando as mesmas tanto em profundidade quanto em largura. O sub-trecho S02 segue com a mesma situação de equilíbrio da erosão marinha, porém com bastante intensidade na erosão pluvial. Por fim, o sub-trecho S03, que em 2004 só apresentava erosão pluvial, atualmente se verifica forte incisões e cavidades na base das falésias com o afloramento do terraço de abrasão. A pressão antrópica nessa porção vem intensificando a erosão com estruturas de drenagens que canalizam a água pluvial para a base das falésias e com estruturas que já estão sofrendo graves danos devido à erosão marinha presente.

Sendo assim, a análise multitemporal de imagens ópticas com resolução espacial média a alta utilizando os métodos através do DSAS e o *checklist* mostram-se como instrumentos imprescindíveis para um estudo prévio da área de pesquisa com objetivo de identificar os melhores locais que apresentam erosão marinha e/ou pluvial e recuo erosivo da linha de costa para a escolha dos melhores locais para realizar pesquisas mais detalhadas, só que também mais custosas, como mapeamento com drones, laser scan e Lidar. Além de serem importantes no auxílio das tarefas de controle e gestão ambiental e na promoção do desenvolvimento sustentável das comunidades costeiras.

A região onde está inserida a área de estudo possui uma diversidade de paisagens muita rica, os processos naturais existentes são muito dinâmicos e sensíveis a qualquer

modificação em seu ambiente. Desse modo toda ocupação tem que ser feita respeitando os limites impostos pela natureza.

Recomenda-se a elaboração e aplicação de *checklists* para outros tipos de costas existentes no entorno da região de Tibau do Sul, a fim de armazenar as informações coletadas para que no momento oportuno sejam utilizadas na geração de subsídios a uma política de gerenciamento costeiro compatível com o contexto ambiental da região.

É necessário também determinar a velocidade de recuo da linha de costa e monitorá-la com o uso de sensores remotos de alta resolução como as novas tecnologias já citadas, de forma que o uso e ocupação da região costeira sejam feitos de maneira mais responsável. Principalmente nos sub-trechos que foram identificados os maiores recuos erosivos N02, C03 e S02, além do sub-trecho C02 por ser o mais ocupado de todos, onde são necessários estudos mais pontuais da variação da linha de costa.

Recomenda-se o monitoramento das taxas de erosões provocadas pelas obras existentes na área de pesquisa, juntamente com uma discussão mais aprofundada das possíveis soluções para o problema da erosão marinha presente em toda região.

Recomenda-se também a execução de um levantamento dos perfis de praia e sua dinâmica, bem como do comportamento da linha de costa levando em consideração a sazonalidade das correntes costeiras. E finalmente, a realização de um estudo hidrodinâmico para obtenção de dados de clima de onda e de correntes.

REFERÊNCIAS

- ABUODHA P.A.O. e WOODROFFE C.D. (2010). Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: a case study from southeast Australia. *Journal of Coastal Conservation*, 14, 189-215, doi: 10.1007/s11852-010-0097-0.
- AB’SÁBER, A. N. A Serra do Mar na Região de Cubatão: avalanches de janeiro de 1985. *Estudos Avançados*, São Paulo, maio de 2001. (Coleção Documentos, Série Ciências Ambientais, n. 2) [publicado originalmente com o título A Serra do Mar na Região de Cubatão: avalanches de janeiro de 1985. A ruptura do equilíbrio ecológico da Serra de Paranapiacaba e a Poluição Industrial. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA – Síntese dos Conhecimentos, Cananéia. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1987, p. 74-116].
- AGRAWAL, G., SARUP, J. Comparision of QUAC and FLAASH Atmospheric Correction Modules on EO-1 Hyperion Data of Sanchi. (Ijaest) *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*. Vol No. 4, Issue No. 1, 178 – 186, 2011.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F. A Formação Barreiras. Revisão geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Estudos Geológicos (Série B Estudos e Pesquisas)*, v. 10, p. 77-88, 1991.
- ALHEIROS, M. M. Et al. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35.1988, Belém. *Anais...Belém: SBG*, 1988. v. 2, p. 753-760.
- ALMEIDA JR, E. B.; ZICKEL, C. S.; PIMENTEL, R. M. M. 2006. Caracterização e Espectro Biológico da Vegetação do Litoral Arenoso do Rio Grande do Norte. *Revista de Geografia (Recife) do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco*. V. 23, n. 3
- ALMEIDA, J.E. Avaliação da retração no curto prazo da falésia marinha ativa da Barreira do Inferno com o uso do Laser Escâner Terrestre. 2017. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- AL-TAHIR, R.; ALI A. Assessing land cover changes in the coastal zone using aerial photography. *Surveying and Land Information Science*, 64, 2004, p. 107-112.

AMARAL, R. F. Contribuição ao Estudo da Evolução morfodinâmica do litoral oriental sul do Rio Grande do Norte, entre a Ponta de Búzios e Baía Formosa. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Pós-Graduação em Geociências. (1999).

AMARAL, R. F. A Dinâmica Ambiental e o Problema da Erosão na Zona Costeira do Município de Tibau do Sul. IDEMA. Relatório interno. 45 p. 2001.

AMARO, V.E.; SANTOS, M.S. T.; SOUTO, M.V.S. Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão. Natal: Edição do Autor. 118p. 2012.

AMARO, V. E. et al. Multitemporal analysis of coastal erosion based on multisource satellite images, Ponta Negra beach, Natal City, Northeast Brazil. *Marine Geodesy*, v. 38, p. 1-25, 2015. ISSN DOI: 10.1080/01490419.2014.904257.

AMARO, V. E.; LIMA, F. G. F.; SANTOS, M. S. T. Na Evaluation of Digital Elevation Models to Short-Term Monitoring if a High energy Barrier Island, Northeast Brazil. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2013. 317-324.

ARC - Auckland Regional Council (2000). Coastal Hazard Strategy and Coastal Erosion Management Manual. Technical Publication No. 130.

ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. J. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 127-141, 1994.

ARAÚJO, V.D.; Caracterização caracterização geológica tridimensional e Monitoramento de dunas no litoral oriental do Rio Grande do Norte. Dissertação nº. 60 / ppgg. 95p. 2006.

A. S. GENZ, C. H. FLERCHER, R. A. DUNN, L. N. FRAZER E J. J. ROONEY. “A Precisão Preditiva dos Métodos de Taxa de Mudança do Shoreline e Alongside Beach Variation em Maui, Hawaii, ” *Journal of Coastal Pesquisa*, v. 23, n. 1, 2007, pp. 87–105.

ASSUMPÇÃO, M. The regional intraplate stress field in South America. *Journal of Geophysical Research*. V.97, n.138,p.11889-11903. 1992.

BARBOSA, J. A. 2007. A deposição carbonática na faixa costeira recife-natal, NE do Brasil: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos. Tese de Doutorado, PósGraduação em Geociências – UFPE, 270p.

- BARBOSA, J. A., MORAES, M. A., NASCIMENTO, M. C., NEUMANN, V. H. 2005a. Porosidade provocada por bioturbação em carbonatos da Sub-bacia de Canguaretama, Bacia Potiguar. In: SBG XXI Simp. Geol. Nord. Boletim de Resumos Expandidos, 238-241.
- BARBOSA, J. A., MORAES, M. A., NASCIMENTO, M. C., NEUMANN, V. H. 2005b. Porosidade associada a microestruturas de bioturbação em carbonatos da Subbacia Canguaretama, Bacia Potiguar. Estudos Geológicos, 15: 41-54
- BARBOSA, J. A & LIMA FILHO, M. F. 2006. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. Boletim de Geociências da Petrobras, 14(1): 287-306.
- 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. Geol. USP Sér. Cient.; São Paulo, vol. 4, n. 2, p. 1-12, out. 2004.
- BATISTA, E.M.; SOUZA FILHO, P.W.; SILVEIRA, O.F.M. Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos. Revista Brasileira de Geofísica, v.27, n.1, p. 83-96. 2009.
- BLANCO-CHAO R., PEDOJA K. (2014) in Rock Coast Geomorphology: A Global Synthesis, The rock coast of South and Central America, Geological Society, London, Memoirs, eds Kennedy D. M., Stephenson W. J., Naylor L. A. <http://dx.doi.org/10.1144/M40.10>, 40, pp 155–191.
- BERTANI RT, COSTA IG & MATOS RMD. 1990. Evolução tectono- ~ sedimentar, estilo estrutural e habitat do petróleo na Bacia Potiguar. In: GABAGLIA GPR & MILANI EJ (Eds.). Origem e Evolução das Bacias ~ Sedimentares. Petrobras, Rio de Janeiro, 291–310.
- BEZERRA, F. H. R., Et al. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. In: STEWART, I.S., VITA-FENZI, C. Coastal Tectonics London: Geological Society. 146, 279-293. 1998. Special Publications.
- BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITAFINZI, C.; SAADI, A. 2001. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. Journal of South American Earth Sciences. V. 14: 61-75.

BRAGA, K. G. 2005. Uso de Checklist para Identificação da Erosão Costeira em Tibau do Sul/RN. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BIANCHI C.N., ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A., COLANTONI R., DIVIACCO G., MORRI C., TUNES L. (2003) - La cartografia del bentos. In Manuale di metodologie di studio del bentos marino mediterraneo. Biol. Mar. Medit., 10: 367-394.

BIRD, Erick Charles Frederick. Coastal Geomorphology: An Introduction. 2. ed. Melbourne: John Wiley & Sons, Ltd, 2008. 436 p.

BIRD, E. 2016. Coastal cliffs: Morphology and Management. Switzerland: Springer.

BOAK, ELIZABETH H. AND TURNER, IAN L. (2005) Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research: Volume 21, Issue 4: pp. 688 – 703.

BRANNER, J. C. The stone reefs of Brazil, their geological and geographical relations. Bulletin. Museum Comparative Zoology. Geological Series 7, v. 44, 1904.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL (Folha SB.24; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra). Rio de Janeiro, 1981. 552 pp.

BUSMAN, D. V.; AMARO, V. E.; PRUDÊNCIO, M. C. Comparison of prognostic models in diferente scenarios of shoreline position on Ponta Negra beach in Northeast Brazil. World Academy of Science, Engineering and Technology, v. 8, p. 17-21, 2004.

CAMBERS, G., 1998. Coping with Beach Erosion with Case Studies from Caribbean Coastal Management Sourcebooks. Enviroment and Developmet UNESCO Publishing. UNESCO Paris, 120pp.

CAMPANHA, V. A. 1979. Contribuição ao estudo do Calcário Oiteiros, RN. Revista. Brasileira de Geociências. 9(4): 219-231.

CAMPANHA, V. A., SAAD, A. R., 1999. A Arquitetura Depositional Carbonática do Senoniano no Nordeste Brasileiro e o posicionamento dos Calcários Miriri e Oiteiros. In: V Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil. Boletim de resumos, 1: 115-119.

CANTARELLI, J.R.R. 2003. Florística e estrutura de uma restinga da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe - litoral sul de Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CARVALHO, R.C. Avaliação da suscetibilidade à erosão no centro de lançamento da Barreira do Inferno. 2017. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

CASSAB, RITA DE CASSIA TARDIN Paleontologia da Formação Jandaíra, Cretáceo Superior da Bacia Potiguar, com Ênfase na paleobiologia dos gastrópodos. [Rio de Janeiro, 2003] xix, 184 p., 29,7 cm (Instituto de Geociências - UFRJ, D. Sc. Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2003).

CESTARO, L. A.; ARAÚJO, P. C. MEDEIROS, C. N.; CISNEIROS, R.; ARAÚJO, L. P. Proposta de unidades geoambientais para o Rio Grande do Norte. Anais: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – Natureza, Geotecnologia, Ética e Gestão do Território. Natal, 09 a 13 de julho de 2007.

CONVÊNIO DE MAPEAMENTO DE SOLOS MA/DNPEA-SUDENE/DRN/BRASIL. Divisão de Pesquisa Pedológica - Dnpea (Org.). Aptidão agrícola dos solos Estado do Rio Grande do Norte (interpretação do levantamento exploratório-reconhecimento de solos): sistema de manejo desenvolvido (sem irrigação). Mapa II. Recife: Ministério da Agricultura, 1971. 536 p. (Pedologia nº 9).

CPRM. 2006. Cartografia Geológica Regional. https://www.google.com.br/search?q=CPRM+2006&rlz=1C1CHBF_pt-BRBR759BR759&oq=CPRM+2006&aqs=chrome..69i57j0l2.5874j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

CREMONINI, O. A. Caracterização estrutural e evolução da área de Ubarana, porção submersa da Bacia Potiguar, Brasil. 1993. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1993.

CROWELL, J. C.; FRANKS, L. A. Phanerozoic glaciation and the causes of ice ages. American Journal Of Science: An international earth science journal. United States, p. 193-224. mar. 1997.

DAHDOUH-GUEBAS, F., VERHEYDEN, A., KAIRO, J.G., JAYATISSA, L.P. AND KOEDAM, N.2006. Capacity building in tropical coastal recourse monitoring in developing countries: A re-appreciation of the oldest remote sensing method. International Journal of Sustainable Development and World Ecology. v13;1 pp62-76.

- DAMASCENO, J. M, FARIAS, C. C., MABESOONE, J. M., OLIVEIRA, L. D. D., OLIVEIRA, M. I. M. 1984. Sedimentos da faixa Afonso Bezerra – Macaíba (borda meridional da Bacia Potiguar) – 6. Interpretação Estratigráfica. In: SBG XI Simp. Geol. Nord. Boletim de resumos 9, 135-141.
- DAMASCENO, J. M, OLIVEIRA, L. D. D., OLIVEIRA, M. I. M., NASCIMENTO, J. M. S. 1986. Estudo Correlativo das microfácies carbonáticas da região ocidental de Natal e Canguaretama – RN. In: SBG XII Simp. Geol. Nord. Anais, 20-38.
- DAVIDSON-ARNOTT, Robin. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. Cambridge: Cambridge University, 2010. 442 p.
- DINIZ, R.F. (2002). A erosão costeira ao longo do litoral oriental do Rio Grande do Norte: causas, conseqüências e influências nos processos de uso e ocupação da região costeira. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. Curso de Pós-graduação em Geologia.
- DINIZ, M. T M., OLIVEIRA, G. P., Proposta de Compartimentação em Mesoescala para o Litoral do Nordeste Brasileiro. Revista Brasileira de Geomorfologia. V. 17, nº 3, 2016. Pág. 565 – 590.
- DOLAN R., FENSTER M.S., HOLME S.T. 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. Journal of Coastal Research, 7(3): 723-744.
- EMERY, K. O. & KUHN, G. G. 1982. Sea cliffs: their processes, profiles, and classifications. Geological Society of American Bulletin 93, 644-654.
- FLETCHER, C.H.; MULLANE, R.A.; RICHMOND, B.M. Beach loss along armored shorelines of Oahu, Hawaiian Islands. Journal of Coastal Research, v.13, p. 209-215. 2003.
- FEITOSA. E. C. & FEITOSA, F. A. C. 1986. Considerações sobre a Bacia Potiguar – Bacia Costeira Pernambuco-Paraíba Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco. Estudos Geológicos, 8: 71-78.
- FEITOSA E. C., FEITOSA, F. A. C., Lira, H M. P. 2002. Relações estratigráficas e estruturais entre a Bacia Potiguar e a Bacia Costeira PE/PB – uma hipótese de trabalho. In: XII Congresso Brasileiro de águas subterrâneas, Anais em CD-ROM.

GOBBI, E. S.; LADEIRA, F. S. B. Proposta para Mapeamento de Riscos Associados à Movimento de Massa e Inundação: o caso de Ubatuba, SP. Geociências (UNESP. Impresso), V. 30, P. 445-456, 2011.

GODA, Y. (1995). Guidelines for Coastal Reconnaissance for Shore Protection and Coastal Development. Internacional Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries. RJ – Brasil, 25/29 de setembro de 1995.

GRIGGS, G.B. AND PATSCH, K.B., 2004. Cliff erosion and bluff retreat along the California coast, Sea Technology 45(9): 36-40.

GRIGGS, G.B. AND TRENHAILE, A.S. 1994. Coastal Cliffs and Platforms. In: Carter, R.W.G. and Woodroffe, C.D., Eds., Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics, Cambridge University Press, Cambridge, 425-450.

GOMES, I. P. 2008. A Importância das Fraturas no Desenvolvimento de Feições Cársticas em Calcários da Formação Jandaíra (Cretáceo da Bacia Potiguar), Felipe Guerra – RN. Dissertação. UFRN.

GUILCHER A., 1985. Red Sea Coasts. In: E.C.F. Bird and M.L. Schwartz (Editors), The World's Coastline. Van Nostrand Reinhold Co., NY, pp. 713-717.

IDEC (1978). Mapa Pedológico do RN.

HESSEL, M. A. & BARBOSA, J. A. 2005a. Gastrópodos e bivalvíos Neocretácicos da região de Pedro Velho, Rio Grande do Norte. In: SBG XXI Simp. Geol. Nord. Boletim de Resumos Expandidos, 278-281. Hessel, M. A. & Barbosa, J. A. 2005b. Moluscos Neocretáceos da região de Pedro Velho-Canguaretama (RN), Bacia Potiguar. Estudos Geológicos, 15: 128-138.

IDEMA. Perfil do seu município. Natal, 2008. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=CATALG&TARG=61&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL=Socioecon%C3%B4mico>. Acesso: 31/07/2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, <http://www.mma.com.br/> e <http://www.inpe.br/>

KIRK, R. M. 34. 1975: Coastal changes at Kaikoura, 1942- 1974, determined from air photographs. N.Z. Journal of Geology and Geophysics 18: 787-801.

- LANA, M. C. C., & ROESNER, E. H. 1999a. Palinologia do Cretáceo Superior marinho subaflorante na região de Natal, RN. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71(1): 149-50.
- LANA, M. C. C., & ROESNER, E. H. 1999a. 1999b. O Cretáceo Superior na região de Natal, RN: novas interpretações com base na palinologia. In: SBP XVI Cong. Bras. Paleont. *Anais*, 55-56.
- LADEIRA, F. S. B.; SANTOS, M. O uso de paleossolos e perfis de alteração para a identificação e análise de superfícies geomórficas regionais: o caso da Serra de Itaqueri (SP). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, V. 6, P. 3-20, 2005.
- LIMA, Z. M. C., *Ambiente Costeiro*. Natal: UFRN, 2006.
- LI LIN & PGRNI PUSSELLA, 2017. Assessment of vulnerability for coastal erosion with GIS and AHP techniques case study: Southern coastline of Sri Lanka. Pág. 12. *Natural Resource Modeling*.
- LUCENA, L. R. F. Mapeamento Geológico/Gravimétrico da faixa costeira entre Parnamirim e São José do Mipibu (RN). Relatório (Graduação em Geologia) – Departamento de Geologia da UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. 1993. P. 168-171.
- MABESOONE, J. M., DAMASCENO, J. M., OLIVEIRA, L. D. D., OLIVEIRA, M. I. M. 1991. Sedimentos cretáceos do litoral leste do Rio Grande do Norte. In: Mabesoone, J.M. (coord.). *Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte*. Estudos Geológicos, Série. B, 10: 73-75.
- MABESOONE, J. M. & SILVA, J. C. 1991. Aspectos geomorfológicos – faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. In: J.M. Mabesoone, (coord.), *Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte*. Estudos Geológicos, Série B, 10: 117–132.
- MABESOONE, J. M. & ALHEIROS, M. M. 1993. Evolution of the Pernambuco-ParaíbaRio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic connection. *Geologie en Mijnbouw*, 71: 351-362.
- MABESOONE, J. M. & ALHEIROS, M. M. 1988. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. *Rev. Bras. Geoc.* 18(4):476-482.

- MABESOONE, J.M., COUTINHO, P.N. (1970) Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. *Trabalh. Inst. Oceanogr. Univ. Fed. Pernambuco* 13: 1-21
- MABESOONE, J. M. (1966). Relief of Northeastern Brazil and its correlated sediments. *Zeif. F. Geomorph.* 10: 419 – 453.
- MATOS R. M. D. 1987. Expressão sísmica de prováveis falhas de transferência na Bacia Potiguar emersa e Gráben de Jacuána/CE. In: *Seminário de Geofísica, 2. Nova Friburgo. Anais...* Nova Friburgo: Petrobras/Depex.
- MATOS, R.M.D. 1992. The northeast Brazilian rifts system. *Tectonics*, 11: 766–791.
- MARK C.; BRUCE C. D.; & STEPHEN P. L.; 1997. On Forecasting Future U.S. Shoreline Positions: A Test of Algorithms. *Journal of Coastal Research*. Pag. 1245-1255.
- MELO, J. G. 1980. Estudo Hidrogeológico da Bacia de Jatobá (PE) Recursos Exploráveis e Dispositivos de Captação. Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 134 p.
- MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. D. 2012 *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Universidade de Brasília, Brasília, 266 p.
- MEYERS, R.D. (1993). *Slope Stabilization and Erosion Control Using Vegetation: A Manual of Practice for Coastal Property Owners*. Shorelands and Coastal Zone Management Program, Washington Department of Ecology, Olympia. Pub. No. 93-30.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Gerenciamento Costeiro no Brasil. 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro>. Acesso: 22/01/17.
- MOREIRA, N., ARAÚJO, A., PEDRO, J.C., DIAS, R. (2014): Evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena no contexto do SW Ibérico durante o Ciclo Varisco. *Comunicações Geológicas* 101 (Vol. Especial I), 275-278.
- M. S. HARRIS, E. E. WRIGHT, L. FUQUA E T. P. TINKER. "Comparação de Taxas de erosão da linha costeira derivadas de vários tipos de dados: dados Compilação de Linhas de Recolhimento Legislativo em South Caroline (EUA) ", *Revista de Pesquisa Costeira*, SI 56, pp. 1224-1228 [10 International Simpósio Costeiro, Lisboa, Portugal, 2009].

NOGUEIRA, A. M. B.; LIMA, M. S.; SALIM, J.; SÁ, J. M.; MANSO, V. A.V. Estudo das areias de dunas da faixa litorânea de Natal – Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 7., 1975. Fortaleza. Boletim de Resumos... Fortaleza: SBG-Núcleo Nordeste, 1975. p. 39.

NOGUEIRA, A. M. B., Et al. 1990. Evolução ambiental da faixa costeira entre Ponta do Calcanhar e Ponta do Marcos-RN. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. Anais..., Natal: [s.n.], v.2. 1990. p. 784-795.

NRPC - Northwest Regional Planning Commission (2003). The Shoreline Stabilization Handbook for Lake Champlain and Other Inland Lakes. Lake Champlain Sea Grant. University of Vermont.

NUNES, L. S. 2009. Monitoramento Geoambiental da Praia de Areia Preta, Natal/RN. Monografia – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 132p.

NUNES, Lidiane de Souza. Dinâmica Costeira entre as Praias de Areia Preta e do Forte, Natal/RN. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

OLIVEIRA, P. E.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. 1997. Paleovegetação e paleoclima do Quaternário Tardio da Caatinga Brasileira: O Campo de Dunas do Médio Rio São Francisco, Bahia. In: VI Congresso da ABEQUA e Reunião sobre o Quaternário da América do Sul, 1997, Curitiba. Resumos expandidos. Curitiba. Ed. UFPR, V.1. p. 473-477.

PEREIRA, I. C. B. B. A. 2004. Contribuição ao Conhecimento do Meio Físico da Região do Complexo Estuarino-Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaraíras. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.

PEREIRA, K. L. A. 2012. Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.

PESSOA NETO, O. DA C. Estratigrafia de sequências da plataforma mista neogênica na bacia potiguar, margem equatorial brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, volume 33, 2007.

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) – UFRN, Natal – RN.

PRATES, Margarete; GATTO, Luiz Carlos Soares; COSTA, Maria Iranice Passos. Geomorfologia. In: Brasil. Ministério das Minas e Energias. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SB. 24/25 Jaguaribe/Natal. Rio de Janeiro 1981.

PONTELLI, M. E.; PAISANI, J. C. Identificação de Áreas de Risco a Inundações de Diferentes Magnitudes em Ambiente de Leques Aluviais: o caso do sul do Estado de Santa Catarina. *Geografia (Londrina)*, V. 14, P. 19/-30, 2005.

RABELO, T. O. Geodiversidade em Ambientes Costeiros: discussões e aplicações no setor sudeste da Ilha do Maranhão, MA-Brasil. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFRN, Natal.

RIBEIRO, J. R. C. Análise paramétrica da estabilidade de falésias/arribas e estudo de caso da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul/RN. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRN, Natal.

SANTOS S. C. N. 2009. Análise estratigráfica e caracterização faciológica de depósitos neocretácicos pertencentes a Formação Açu, Bacia Potiguar emersa – RN. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 60 p.

SANTOS JUNIOR, O. F.; SEVERO, R. N. F.; SCUDELARI, A. C.; AMARAL, R. F. 2008. Processo de Instabilização em Falésias: Estudo de um Caso no Nordeste do Brasil. *Revista Luso-Brasileira de Geotecnia*, SPG, ABMS, ABGE. N. 114, pp. 71-90.

SANTOS JUNIOR, O. F.; COUTINHO, R. Q.; SEVERO, R. N. F. 2015. Propriedades Geotécnicas dos Sedimentos da Formação Barreiras no Litoral do Rio Grande do Norte – Brasil. *Revista de Geotecnica*, nº 134, pp. 87-108.

SCUDELARI, A. C.; FREIRE, L. C. S. Determinação dos Impactos Ambientais na Construção de um Sistema Hoteleiro nas Falésias em Tibau Do Sul, RN. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 9, n. 1, p. 39-43, 2005.

SERRA, J.; MONTORI, C.; VILLARES, M.; ROCA, E.; GELIZO, O. (2002). Eurosion: Assessment on local information system for coastal erosion management. Proc. of the “Littoral 2002: The Changing Coast” Conference. Porto.

SEVERO, R N F. 2005. Análise da Estabilidade das Falésias/arribas entre Tibau do Sul e Pipa – RN. Dissertação (mestrado em Engenharia Sanitária) – UFRN, Natal.

SEVERO, R. N. F. 2011. Caracterização geotécnica da falésia da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul-RN considerando a influência do comportamento dos solos nos estados indeformado e cimentado artificialmente. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SILVA, W. S. 2003. Estudo da Dinâmica Superficial e Geotécnico das Falésias do Município de Tibau do Sul – Litoral Oriental do RN. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SILVEIRA, J.D. (1964) Morfologia do litoral. In: Azevedo, A. (ed). Brasil: a terra e o homem. Companhia Editora Nacional, São Paulo. Volume 1: 253-305.

SOUZA SM. 1982. Atualização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar. In: ~ Congresso Brasileiro de Geologia, 32. 1982. Salvador. Anais de São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 5: 2392–2406.

SOUZA, Z. S.; VASCONCELOS, P. M.; NASCIMENTO, M. A. L.; SILVEIRA, F. V.; PAIVA, H. S.; DIAS, L. G. S.; THIEDE, D.; CARMO, I. O. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Mesozoic and Cenozoic magmatism in NE Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4. 2003, Salvador. Short Papers. Salvador: CBPM, 2003. v. 2. p. 691-694.

SOUZA JUNIOR, C. S. 2013. Análise da Estabilidade de Falésias na Zona Costeira de Baía Formosa/RN. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SOUZA JÚNIOR, C. S. Análise da Estabilidade de Falésias/arribas na Zona Costeira de Baía Formosa/RN. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, p. 141. 2013.

SOUZA, E.M. 2006. Estratigrafia da sequência clástica inferior (andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba, e suas implicações paleogeográficas. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências – UFPE, 350p.

SOUZA JÚNIOR, C. 2014. Análise de estabilidade de falésias na zona costeira de Baía Formosa - RN. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SMALL, SMALL, C. AND NICHOLLS, ROBERT J. (2003) A global analysis of human settlement in coastal zones *Journal of Coastal Research*, 19, (3), pp. 584-599.

SOUTO, M.V.S.; CASTRO, A.F.; GRIGIO, A.M.; AMARO, V.E.; VITAL, H. Multitemporal Analysis of Geoenvironmental Elements of the Coastal Dynamics of the Region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the Basis of Remote Sensing Products and Integration in GIS. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (ICS 2004 Proceedings), p. 1618-1621, 2006.

SOUTO, M. V. S. Análise da Evolução Costeira do Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, Região sob Influência da Indústria Petrolífera. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 177. 2009.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. & AZEVEDO, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15 (4): 273 – 286. São Paulo.

SUNAMURA T. 2015. Rocky coast processes: with special reference to the recession of soft rock cliffs. *Proceedings of the Japan Academy, Series B Physical and Biological Sciences*. Vol. 91. 481-500p.

TAINTER S.P. (1982). *Bluff Slumping and Stability: a consumer's guide*. Michigan Sea Grant Program. Report N° Michu-SG-82-902. Ann Arbor. Michigan.

TAQUEZ, D. E. D., 2017. Susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa e avaliação da estabilidade de falésias sob condição não saturada: estudo de caso no centro de lançamentos da barreira do inferno - Brasil. 216 f.

TRENHAILE, 1987. *The Geomorphology of Rock Coasts*, Clarendon Press, Oxford, 384 p.

THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; ERGUL, A. “DSAS 4.0 Instruções de Instalação e Guia do Usuário ”, em Digital Shoreline Analysis System (DSAS) versão 4.0 - uma extensão do ArcGIS para Calculando a mudança da linha costeira. Relatório de Arquivo Aberto do Levantamento Geológico dos EUA 2008-1278. 2009.

VITAL, H.; SILVEIRA I. M.; AMARO V. E.; MELO F. T. L.; SOUZA F. E. S; CHAVES M. S.; LIMA Z. M. C.; FRAZÃO E. P.; TABOSA W. F. Erosão e Progradação no Litoral do Rio Grande do Norte. MMA. 2006.

WASHINGTON DEPARTMENT OF ECOLOGY (2004). Managing Drainage on Coastal Bluffs and Controlling Erosion Using Vegetation. Disponível em < <http://www.ecy.wa.gov/programs/sea/pubs/95-107/using01.html> > Acesso em: 29 de novembro de 2004.