



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR – LABOMAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**EROSÃO COSTEIRA NO LITORAL DO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ-CE NA ÚLTIMA
DÉCADA: CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS E PERSPECTIVAS FUTURAS**

EDUARDO LACERDA BARROS

**FORTALEZA
2018**

EDUARDO LACERDA BARROS

EROSÃO COSTEIRA NO LITORAL DO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ-CE NA ÚLTIMA DÉCADA: CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes
Orientador, Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR/UFC

Prof^a Dr^a Lidriana de Souza Pinheiro
Co-Orientadora, Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR/UFC

Prof^a Dr^a Maria Ozilea Bezerra Menezes
Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR/UFC

Prof^a Dr^o George Satander Sá Freire
Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof^a Dr^a Tatiana de Oliveira Falcão Quintela
Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Prof. Dr. Georg Friedrich Irion
Senckenberg Institute - Alemanha

**FORTALEZA, CEARÁ
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B276e Barros, Eduardo Lacerda.
Erosão Costeira no Litoral do Município de Icapuí-CE na última década: causas, consequências e perspectivas futuras / Eduardo Lacerda Barros. – 2018.
254 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Jäder Onofre de Moraes.

Coorientação: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro.

1. Erosão Costeira. 2. Linha de costa. 3. Gerenciamento Costeiro. I. Título.

CDD 551.46

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais e a minha família por todo o acompanhamento e paciência ao longo dessa caminhada acadêmica desde a graduação, passando pelo mestrado e agora nessa etapa de doutorado;

Ao Professor Jáder Onofre de Moraes e Professora Lidriana de Souza Pinheiro, meus orientadores ao longo de toda a vida acadêmica na UFC/LABOMAR e na UECE, agradeço por todas as oportunidades dadas à mim, assim como por toda a confiança depositada e por todos os ensinamentos passados que me fizeram crescer não só como profissional, mas como pessoa;

Aos também Professores e meus amigos, Davis Pereira de Paula e Paulo Roberto Silva Pessoa da Universidade Estadual do Ceará - UECE por todo o apoio ao longo dessa caminhada;

À todo Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, pelo apoio ao longo das atividades desenvolvidas não somente ao longo do Doutorado, mas também durante o Mestrado, em especial ao LOG e seus membros e à secretária da pós, Isabela, por todo o auxílio dado;

Aos membros da banca examinadora, por todas as contribuições dadas e que serviram para o engrandecimento e construção deste trabalho desde a qualificação, em especial às Professoras Maria Ozilea Bezerra Menezes, Tatiana Falcão de Oliveira Quintela e ao Professor George Satander Sá Freire;

À toda equipe do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO da Universidade Estadual do Ceará – UECE, por todo o apoio nesses 10 anos de convívio diário, seja durante o dia-a-dia, seja durante as atividades de campo, seja durante as confraternizações. Não irei destacar uma ou outra pessoa, pois sinto que estaria sendo injusto caso haja o esquecimento de minha parte em citar alguém, mas agradeço a todos com quem tive a oportunidade de conviver, desde a graduação até finalização desta etapa foi ali onde eu cresci e me tornei o profissional que sou hoje;

Em especial aos meus grandes amigos Renan Guerra e Maciel de Moura, companheiros de graduação, Mestrado e Doutorado, por todo o apoio, incentivo, puxões de orelha, desabafos e pela certeza de uma grande amizade que se formou nesses quase 10 anos de convívio;

Aos meus familiares de Icapuí, pelo acolhimento e todo o apoio durante as atividades de campo, fundamental para o desenvolvimento das atividades propostas;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela disponibilização de bolsa; E a todos que de certa forma ajudaram ao longo desses 4 anos de trabalho com palavras de apoio, incentivo e encorajamento, fundamentais para que fosse possível chegar até essa etapa.

“What’s the use of having developed a science well enough to make predictions if, in the end, all we’re willing to do is stand around and wait for them to come true?”

“Qual é a utilidade de ter desenvolvido uma ciência bem o suficiente para fazer previsões se, no final, tudo o que estamos dispostos a fazer é esperar e aguardar eles se tornarem realidade? ”

F. Sherwood Rowland – Prêmio Nobel de Química 1995

1927 - 2012

RESUMO

A erosão costeira, resultado de um balanço sedimentar negativo, pode ser causada por fatores naturais e/ou por fatores antrópicos e traz consigo sérios danos ao ambiente litorâneo, espaço este que é alvo de diversas atividades devido à sua localização estratégica. Dado este cenário, analisamos o processo de evolução da erosão costeira no município de Icapuí na última década através da reconstituição de cenários passados com notícias de jornais em associação com banco de dados oceanográficos para indicar quais as principais causas da erosão. Os perfis topográficos e levantamento da linha de costa em cada experimento de campo foram realizados utilizando um receptor DGPS ao mesmo tempo em que amostra de sedimentos eram coletadas. Analisou-se também a variação da linha de costa com imagens de satélite entre os anos de 2002 e 2015, totalizando 6 cenas analisadas. A partir dos relatórios do IPCC foi possível estabelecer cenários relativos a elevação do nível dos oceanos até o ano de 2100. Os resultados mostraram que a erosão costeira passou a ser um problema em Icapuí quando aumentou o número de construções em áreas muito próximas da linha de costa situadas nas Praias de Barreiras de Baixo e Barrinha. Após a sua emancipação como município, a erosão se agravou e se tornou frequente no noticiário entre os anos de 2011 e 2014, resultando no cenário de destruição que implicou na instalação de uma série de medidas de contenção na área. A maré é o principal processo costeiro atuante no trecho monitorado, devido a sua amplitude que pode atingir 4 m, associada à baixa declividade na faixa praia pode alcançar áreas mais distantes da linha de costa atingindo o patrimônio edificado construído e que se torna potencializada em períodos de eventos de alta energia (e.i ressacas). A praia é constituída principalmente por sedimentos finos e muito finos, devido a baixa energia do ambiente nas zonas de estirâncio e antepraia, e que podem ser facilmente transportados pelo fluxo e refluxo da maré. A fração de maior granulometria está concentrada na maior parte do tempo na porção superior dos perfis, resultado da atuação direta das ondas na porção inferior do pós-praia na preamar e apresentam elevados níveis de carbonato de cálcio em sua composição devido a presença de conchas e rodólitos. A análise da linha de costa entre os anos de 2002 e 2016 mostrou que em alguns trechos houve uma retrogradação em termos gerais de mais de 90 m em 14 anos entre as Praias de Barreiras de Cima e Barrinha, fato potencializado pela construção de um enrocamento na Praia da Barrinha. As construções na Praia de Barreiras de Cima encontram-se protegidas da erosão costeira por estarem localizadas na retaguarda de dunas frontais, além disso, esse trecho apresenta um extenso pós-praia. Foi possível verificar que todo o trecho da orla do município se encontra vulnerável à um cenário de elevação do nível do mar devido as suas características morfológicas, mesmo no prognóstico mais otimista evidenciando assim uma necessidade de maior participação do poder público em medidas que possam auxiliar na minimização dos impactos causados pela erosão no local e problemas futuros relacionados às mudanças climáticas.

Palavras-Chave: Erosão costeira, linha de costa, gerenciamento costeiro

ABSTRACT

The coastal erosion, as a result of a negative sediment balance, can be caused by natural and / or by anthropic factors and brings with it serious damage to the coastal environment, which is the target of various activities due to its strategic location. Due to this scenario, we analyze the evolution of coastal erosion in the municipality of Icapuí in the last decade through the reconstruction of past scenarios with newspapers in association with oceanographic databases to indicate the main causes of erosion. The topographic profiles and survey of the shoreline in each field experiment were performed using a DGPS receiver at the same time that sample sediment was collected. It was also analyzed the variation of the shoreline with satellite images between the years of 2002 and 2015, totaling 6 scenes analyzed. From the IPCC reports it was possible to establish scenarios related to sea level rise up to the year 2100. The results showed that coastal erosion became a problem in Icapuí when the number of constructions in areas very close to the coast located in the Beaches of Barreiras de Baixo and Barrinha. After its emancipation as a municipality, erosion worsened and became frequent in the news between 2011 and 2014, resulting in the scenario of destruction that entailed the installation of a series of containment measures in the area. The tide is the main coastal process in the monitored area, due to its amplitude that can reach 4 m, associated to the low slope in the beach range can reach areas more distant from the shoreline reaching the constructed built heritage and that becomes potentiated in periods of high energy events (i.g. stormsurges). The beach is mainly composed of fine and very fine sediments, due to the low energy of the environment in the intertidal zone and that can be easily transported by the flow of the tide. The fraction of larger particle size is concentrated mostly in the upper portion of the profiles, as a result of the direct action of the waves in the lower portion of the backshore in hightides and present high levels of calcium carbonate in its composition due to the presence of shells and rhodoliths. The analysis of the shoreline between 2002 and 2016 showed that in some stretches there was a general retrogradation of more than 90 m in 14 years between the Barreiras de Cima and Barrinha beaches, a fact enhanced by the construction of a rocky Beach of Barrinha. The constructions in the Beach of Barreiras de Cima are protected of the coastal erosion because they are located in the rear of frontal dunes, in addition, this stretch presents an extensive backshore. It was possible to verify that the entire stretch of the border of the municipality is vulnerable to a scenario of sea level rise due to its morphological characteristics, even in the more optimistic prognosis, thus evidencing a need for greater participation of the public power in measures that may help in the minimization of impacts caused by erosion and future problems related to climate change.

Key-words: Coastal Erosion, Shoreline, Coastal Management

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
1.1.	Questões norteadoras	20
1.2.	Hipótese	20
1.3.	Objetivo geral	20
1.4.	Objetivos específicos	20
2.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
2.1.	Localização da área de estudo	21
2.2.	Aspectos históricos e socioeconômicos	22
2.3.	Aspectos ambientais	25
2.3.1.	Geologia	26
2.3.2.	Geomorfologia, Unidades Geoambientais e Uso do Solo	33
2.3.3.	Análise dos registros históricos de precipitação para Icapuí	43
2.3.4.	Característica do regime de ventos em Icapuí	46
2.3.5.	Aspectos oceanográficos: ondas e marés	48
3.	REFERÊNCIAL TEÓRICO	56
3.1.	A Zona Costeira: Definição, Delimitação e Aspectos Legais	56
3.2.	O Ambiente Praial e suas características	67
3.3.	Erosão Costeira: causas, indicadores e estudos relacionados	69
3.4.	Recuo da Linha de Costa (LC) baseado em cenários do IPCC e eventos extremos	75
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	77
4.1.	ETAPA DE GABINETE	78
4.1.1.	Levantamento bibliográfico, cartográfico e fotográfico	78
4.1.2.	Levantamento do histórico da erosão em jornais e outros meios digitais	81
4.1.3.	Identificação do problema, delimitação e estabelecimento dos pontos de monitoramento	81
4.1.	ETAPA DE CAMPO	83
4.2.1.	Perfil topográfico	85
4.2.2.	Registro Fotográfico	86
4.2.3.	Coleta de Sedimentos	87
4.2.4.	Monitoramento da Linha de Costa (LC)	87
4.3.	ETAPA DE LABORATÓRIO	90
4.3.1.	Análise Granulométrica	90
4.3.2.	Determinação dos Teores de Carbonato de Cálcio	93
4.3.3.	Processamento dos dados do DGPS	94
4.3.4.	Volume Sedimentar	95
4.3.5.	Modelo Digital do Terreno (MDT) e Mapas de Distribuição Sedimentológica	96
4.3.6.	Taxas de Erosão/Progradação utilizando o Digital Shoreline Analysis System (DSAS)	97
4.3.7.	Simulação dos cenários de retrogradação da linha de costa por meio do Representative Concentration Pathways (RCP's) do IPCC	100
4.3.8.	Delimitação dos limites de ocupação de acordo com o Projeto Orla	101
5.	HOMEM X MAR NOS DIAS ATUAIS: A LUTA E RESISTÊNCIA À EROÇÃO COSTEIRA NO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ	101
5.1.	Reconstituição dos registros históricos de erosão no litoral de Icapuí e suas possíveis causas	101
5.2.	Geoindicadores de processos erosivos e medidas de contenção da erosão no litoral de Icapuí	119

6.	DINÂMICA COSTEIRA DO LITORAL DE ICAPUÍ: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DA EROSÃO	128
6.1.	Monitoramento Praia: Perfis topográficos e Balanço Sedimentar	130
6.1.1.	Setor 1: Pontos de monitoramento 1 a 4 (Praia de Barreiras de Baixo)	131
6.1.2.	Setor 2: Pontos de monitoramento 5 a 8 (Praia de Barreiras de Cima)	150
6.1.3.	Setor 3: Pontos de monitoramento 9 a 11 (Praia da Barrinha/Barra Grande)	166
6.2.	Caracterização Sedimentológica dos pontos monitorados	181
6.2.1.	Classificação Textural e Variabilidade Sedimentológica	182
6.2.2.	Parâmetros Estatísticos e Dinâmica de Transporte e Deposição dos Sedimentos	187
6.2.3.	Análise da Composição Carbonática dos Sedimentos Coletados	196
6.3.	Análise da Variação da Linha de Costa (LC) entre os anos de 2002 e 2016	204
7.	OS DESAFIOS PARA A GESTÃO DA ORLA DE ICAPUÍ	218
7.1.	Estabelecimento de limites seguros de ocupação no litoral em virtude dos cenários de elevação do mar baseados em relatórios do IPCC	218
7.2.	Classificação, Estabelecimento dos limites de orla costeira e cenários observados no litoral de Icapuí	225
8.	CONCLUSÕES	232
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	238

LISTA DE FIGURAS

Figura - 1	Mapa de localização do município de Icapuí	22
Figura - 2	Artefatos arqueológicos encontrados na Praia de Ponta Grossa que remontam aos primeiros habitantes da região (A) e utensílios trazidos por navegações por volta do início de 1500 (B)	23
Figura - 3	Mapa de Geologia dos Depósitos na área de estudo	29
Figura - 4	Mapa de Idade dos Depósitos identificados na área de estudo	30
Figura - 5	Mapa de litologia da área de estudo	31
Figura - 6	Mapa de Unidades Litoestratigráficas identificadas na área de estudo	32
Figura - 7	Planície Litorânea de Icapuí e parte das Unidades Geoambientais presentes no Município	33
Figura - 8	Mapa de Unidades Geoambientais identificadas na área de estudo	34
Figura - 9	Faixa de praia das áreas de monitoramento e seus diferentes tipos de paisagem Localização dos pontos encontra-se na figura	37
Figura - 10	A: Estuário da Barra Grande B e C: destacam a variação da maré na área	38
Figura - 11	Falésias vivas ao longo da planície litorânea de Icapuí A: Praia de Barreiras de Baixo, B e C: Praia de Ponta Grossa	39
Figura - 12	Campos de dunas do longo da planície litorânea de Icapuí A: Dunas que capeiam as falésias e servem de fonte de sedimentos para a faixa de praia; B: Dunas móveis e C: Dunas frontais	40
Figura - 13	Terraços marinhos na planície litorânea de Icapuí	40
Figura - 14	Zona de Convergência Intertropical – ZCIT sobre a região do Equador A: Atuação da ZCIT no primeiro semestre; B: Atuação da ZCIT no segundo semestre	46
Figura - 15	Direção e velocidade dos ventos predominantes para a região de Icapuí entre os anos de 2004 e 2015	47
Figura - 16	Distribuição dos tipos de marés ao longo do globo terrestre	49
Figura - 17	Condições de maré durante os meses dos experimentos de campo em Icapuí	50
Figura - 18	Mapa batimétrico da área defronte ao Município de Icapuí	55
Figura - 19	Evolução da ocupação ao longo do litoral do Brasil entre os anos de 1970 e 2010	57
Figura - 20	Vetores de ocupação da zona costeira do Estado do Ceará	59
Figura - 21	Delimitação da orla marítima de acordo com as diretrizes do Projeto Orla	64
Figura - 22	Divisão dos setores da costa do Ceara de acordo com o Gerenciamento Costeiro e situação do Projeto Orla no Ceará	66
Figura - 23	Setorização do ambiente praial	68
Figura - 24	Regra de Bruun: A) Erosão dos sedimentos na porção emersa da praia do perfil praial e deposição dos mesmos no perfil submerso como consequência da elevação do nível do mar B) processo inverso	69
Figura - 25	Fluxograma das etapas metodológicas da tese	78
Figura - 26	Imagens utilizadas ao longo da pesquisa detalhando a área de monitoramento	80
Figura - 27	Mapa de distribuição dos setores e respectivos pontos de monitoramento em Icapuí	82
Figura - 28	Transferência do Referencial de Nível (RN) para as proximidades da área de monitoramento A) Estação IBGE 2726F – 5,623m; B) RN transferido – 3,847	83
Figura - 29	Modelo de ondulação Geoidal do IBGE	84
Figura - 30	Dgps gtrg2/glonass	85
Figura - 31	Etapas do monitoramento praial	86
Figura - 32	Indicadores de linha de costa	89

Figura -33	Monitoramento da linha de costa durante os trabalhos de campo com o uso do DGPS	90
Figura -34	Sequência das etapas de análise granulométrica das amostras coletadas nos experimentos de campo	91
Figura -35	Calcímetro de Bernard e etapas da análise do teor de carbonato de cálcio das amostras	94
Figura -36	Interface dos programas novatel Connect (A) e GTR Processor 294 (B) no momento do processamento dos dados obtidos com os experimentos de campo em Icapuí	95
Figura -37	Interface do programa Surfer 13 durante a análise do volume sedimentar dos trechos monitorados	96
Figura -38	Modelo Digital de Terreno do trecho monitorado em Icapuí (A) e Mapas de distribuição sedimentar (B)	97
Figura -39	Interface do Arcgis 103 rodando a extensão DSAS durante a análise das linhas de costa do trecho monitorado	98
Figura -40	Destruição causada pela erosão no trecho monitorado do município de Icapuí	104
Figura -41	Erosão no litoral das Praias de Barreiras da Sereia e Barrinha em Icapuí no início dos anos 2000	105
Figura -42	Mapa de divisão das Unidades costeiras de acordo com o PGI de Icapuí	106
Figura -43	Relatos de jornais sobre a erosão em Icapuí e danos causados pela erosão à comunidade da Praia da Barrinha	112
Figura -44	Relatos de jornais sobre a instalação de obras de contenção da erosão em Icapuí	113
Figura -45	Relatos de jornais sobre a destruição de casas em Icapuí por causa da maré e decreto nº 8206	115
Figura -46	Problemas relacionados à ação da maré na Superlua em dezembro de 2017	116
Figura -47	Comparação entre os anos de 2012 e 2017 no trecho entre a Praia da Barrinha e Barreiras de Cima	116
Figura -48	Linha do tempo da erosão costeira no litoral do Ceará e Icapuí	118
Figura -49	Métodos de contenção da erosão identificados ao longo da orla monitorada	125
Figura -50	Enrocamento na Praia da Barrinha/Barra Grande	125
Figura -51	Métodos de contenção da erosão costeira na Praia de Barreiras de Baixo	126
Figura -52	Mapa de distribuição dos pontos de monitoramento no setor 1	131
Figura -53	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 1 durante os experimentos de campo	133
Figura -54	Alterações na cota do estirâncio superior entre os meses de outubro/15 e agosto/16 no Ponto 1	134
Figura -55	Evolução da atuação dos processos erosivos nas estruturas construídas ao longo da linha de costa na proximidade do ponto 1	134
Figura -56	Registros fotográficos do ponto de monitoramento 1 ao longo dos experimentos de campo	135
Figura -57	Alterações ocorridas nas proximidades do ponto 2	137
Figura -58	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 2 durante os experimentos de campo	139
Figura -59	Fotos tiradas em fevereiro de 2016 durante a construção do enrocamento na área do Ponto 2	140
Figura -60	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 2 ao longo do período monitorado	141
Figura -61	Alterações ocorridas nas proximidades do Ponto 3	142
Figura -62	Estruturas de contenção da erosão no ponto de monitoramento 3 em 2014	143

Figura -63	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 3 durante os experimentos de campo	144
Figura -64	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 3 ao longo do período monitorado	145
Figura -65	Alterações ocorridas nas proximidades do ponto 4	146
Figura -66	Colapso na estrutura do enrocamento à sotamar do marco fixo do ponto de monitoramento 4	147
Figura -67	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 4 ao longo do período monitorado	148
Figura -68	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 4 durante os experimentos de campo	149
Figura -69	Mapa de distribuição dos pontos de monitoramento no setor 2	150
Figura -70	Marco fixo do ponto de monitoramento 5	151
Figura -71	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 4 durante os experimentos de campo	153
Figura -72	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 5 ao longo do período monitorado	154
Figura -73	Marco fixo do ponto de monitoramento 6	155
Figura -74	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 6 durante os experimentos de campo	157
Figura -75	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 6 ao longo do período monitorado	158
Figura -76	Marco fixo do ponto de monitoramento 7	159
Figura -77	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 7 durante os experimentos de campo	160
Figura -78	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 7 ao longo do período monitorado	161
Figura -79	Marco fixo do ponto de monitoramento 8	162
Figura -80	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 8 durante os experimentos de campo	164
Figura -81	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 8 ao longo do período monitorado	165
Figura -82	Mapa de distribuição dos pontos de monitoramento no setor 3	166
Figura -83	Marco fixo do ponto de monitoramento 9	167
Figura -84	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 9 durante os experimentos de campo	169
Figura -85	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 9 ao longo do período monitorado	170
Figura -86	Marco fixo do ponto de monitoramento 10	171
Figura -87	Interferência do enrocamento construído no ponto 10 no recuo da linha de costa no ponto 9	172
Figura -88	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 10 durante os experimentos de campo	174
Figura -89	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 10 ao longo do período monitorado	175
Figura -90	Marco fixo do ponto de monitoramento 11	176
Figura -91	Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 11 ao longo do período monitorado	177
Figura -92	Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 11 durante os experimentos de campo	179
Figura -93	Modelo de praias R+LTT (Reflective Plus Low Tide Terrace) (Superior) e Modelo de Praia Ultradissipativa (UD) (Inferior)	181
Figura -94	Mapa de Classificação pela média (D50) dos sedimentos do trecho monitorado em Icapuí	186

Figura -95	Mapas de distribuição do Desvio Padrão (Grau de Seleccionamento) do trecho monitorado	189
Figura -96	Mapas de distribuição da Curtose do trecho monitorado	192
Figura -97	Mapas de distribuição da assimetria dos sedimentos coletados	195
Figura -98	Material bioclástico intercalado com material siliciclástico em trincheiras das salinas em Icapuí	196
Figura -99	Acúmulo de algas e rodólitos na faixa de praias dos trechos monitorados	197
Figura -100	Mapa de distribuição dos teores de carbonato de cálcio nas amostras coletadas	202
Figura -101	Trecho costeiro monitorado na década de 1980 em Icapuí	204
Figura -102	Mapa com a representação de todas as linhas de costa utilizadas para análise	205
Figura -103	Mapa com a representação das linhas de costa de 2002, obtida com imagem de satélite e 2016, obtida no experimento de campo com o uso de DGPS	206
Figura -104	Transectos estabelecidos pelo DSAS ao longo do trecho monitorado em Icapuí	207
Figura -105	Mapa das taxas de erosão e progradação da linha de costa do trecho monitorado em Icapuí segundo o End Point Rate obtido com o DSAS	214
Figura -106	Mapa das taxas de erosão e progradação da linha de costa do trecho monitorado em Icapuí segundo o Linear Rate Regression obtido com o DSAS	215
Figura -107	Faixas de segurança de ocupação relativas ao RCP 26 para a orla de Icapuí	224
Figura -108	Faixas de segurança de ocupação relativas ao RCP 85 para a orla de Icapuí	224
Figura -109	Faixas de segurança de ocupação relativas ao RCP 85 (extremo) para a orla de Icapuí	225
Figura -110	Mapa de classificações dos tipos de orla de acordo com o Projeto Orla para o trecho monitorado	226
Figura -111	Limites genéricos de ocupação da orla ao longo do trecho costeiro monitorado	227
Figura -112	Cenário da situação da erosão nos setores de monitoramento	228
Figura -113	Cenário configuração atual da erosão nos setores de monitoramento	229
Figura -114	Cenário da adaptação à situação atual à erosão nos setores de monitoramento	230
Figura -115	Limite genérico de orla marinha para o trecho monitorado	115

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico - 1	Evolução das Pirâmides etárias do município de Icapuí entre 2000 e 2010	25
Gráfico -2	Produto Interno Bruto – PIB do Município de Icapuí em comparação com o Estado do Ceará e com o Brasil e distribuição das fontes de renda	25
Gráfico -3	Distribuição (Km ² e %) das classes de Unidades Geoambientais em relação à área total do Município de Icapuí	36
Gráfico -4	Distribuição (Km ² e %) das classes de uso e cobertura do solo em relação à área total do Município de Icapuí	42
Gráfico -5	Série histórica da chuva para o Posto Icapuí entre os anos de 1988 e 2016	44
Gráfico -6	Precipitação acumulada registrada no Posto de Icapuí para o ano de 2009	44
Gráfico -7	Precipitação acumulada registrada no Posto de Icapuí para o ano de 2012	45
Gráfico -8	Amplitude de marés registradas ao longo dos trabalhos de campo	51
Gráfico -	Direção e período de ondas para o ano de 2015. A) HS, B) Swell e C) Sea	53
Gráfico -10	Dados de ondas do modelo Wavewatch III para a região de Icapuí entre 2006 e 2016 de janeiro a dezembro (esquerda – direita). Não há dados referentes ao ano de 2007 no banco de dados disponibilizado para a área	54
Gráfico -11	Evolução das notícias relacionadas à erosão costeira e suas consequências entre os anos de 2002 e 2017.	104
Gráfico -12	Correlação entre os principais eventos erosivos relatados em Icapuí e as condições oceanográficas nos dias dos registros	117
Gráfico -13	Dados de ondas para o dia dos experimentos de campo realizados em 2015 e 2016	129
Gráfico -14	Dados de ondas para o dia dos experimentos de campo realizados em 2015 e 2016	130
Gráfico -	Volume e balanço sedimentar do Ponto de monitoramento 1	132
Gráfico -	Volume e balanço sedimentar do Ponto de monitoramento 2	138
Gráfico -17	Volume e balanço sedimentar do Ponto de monitoramento 3	143
Gráfico -18	Volume e balanço sedimentar do Ponto de monitoramento 4	148
Gráfico -19	Volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 5	152
Gráfico -20	Volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 6	156
Gráfico -21	Volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 7	159
Gráfico -22	Volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 8	163
Gráfico -23	Volume e balanço sedimentar do Ponto de Monitoramento 9	168
Gráfico -24	Volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 10	173
Gráfico -25	Volume e balanço sedimentar do Ponto de Monitoramento 11	177
Gráfico -26	Classificação textural dos sedimentos coletados no trecho monitorado em Icapuí	182
Gráfico -27	Varição textural dos sedimentos coletados no Pós-Praia dos pontos monitorados	183
Gráfico -28	Varição textural dos sedimentos coletados no Estirâncio dos pontos monitorados	184
Gráfico -29	Varição textural dos sedimentos coletados no Antepraia dos pontos monitorados	185
Gráfico -30	Desvio padrão dos sedimentos coletados no trecho monitorado de Icapuí	188
Gráfico -31	Curtose dos sedimentos coletados no trecho monitorado em Icapuí	191
Gráfico -32	Assimetria dos sedimentos coletados no trecho monitorado de Icapuí	194
Gráfico -33	A) Variações dos teores de carbonato de cálcio medidos nas amostras coletadas durante os trabalhos de campo no berma, B) Variação longitudinal do carbonato no pós-praia ao longo dos perfis de monitoramento	198

Gráfico -34	A) Variações dos teores de carbonato de cálcio medidos nas amostras coletadas durante os trabalhos de campo no estirâncio; B) Variação longitudinal do carbonato de cálcio no estirâncio ao longo dos perfis de monitoramento	199
Gráfico -35	A) Variações dos teores de carbonato de cálcio medidos nas amostras coletadas durante os trabalhos de campo na antepraia; B) Variação longitudinal do carbonato de cálcio na antepraia ao longo dos perfis de monitoramento	200
Gráfico -36	Classificação de Larssonneur (1977) para os sedimentos coletados na faixa de praia em Icapuí	203
Gráfico -37	Resultados obtidos da variação da linha de costa com o DSAS	208
Gráfico -38	Resultados obtidos com a análise do DSAS com destaque para as taxas de erosão e progradação EPR e LRR para o setor 1	209
Gráfico -39	Resultados obtidos com a análise do DSAS com destaque para as taxas de erosão e progradação EPR e LRR para o setor 2	211
Gráfico -40	Resultados obtidos com a análise do DSAS com destaque para as taxas de erosão e progradação EPR e LRR para o setor 3	213
Gráfico -41	Cenário otimista de retrogradação da linha de costa do trecho monitoramento em Icapuí de acordo com o RCP 2.6	221
Gráfico -42	Cenário de retrogradação da linha de costa do trecho monitoramento em Icapuí de acordo com o RCP 2.6	222
Gráfico -43	Cenário de retrogradação da linha de costa do trecho monitoramento em Icapuí de acordo com o RCP 8.5 (2081 – 2100)	222

LISTA DE QUADROS

Quadro -1	Histórico da criação do município de Icapuí	23
Quadro -2	Quantitativo das classes de Unidades Geoambientais no Município de Icapuí	35
Quadro -3	Quantitativo das classes de uso e cobertura do solo no Município de Icapuí	41
Quadro -4	Detalhamento dos Instrumentos que compõem o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC	61
Quadro -5	Delimitação genérica de acordo com o Projeto Orla	62
Quadro -6	Delimitação genérica em situações específicas de acordo com o Projeto Orla	63
Quadro -7	Situação do Projeto Orla no Estado do Ceará	65
Quadro -8	Setorização do ambiente praial e respectivas definições e características	67
Quadro -9	Indicadores de erosão costeira	70
Quadro -10	Causas naturais da Erosão Costeira	72
Quadro -11	Causas antrópicas da Erosão Costeira	72
Quadro -12	Tipos de métodos para investigação e identificação de processos erosivos	73
Quadro -13	Características dos métodos de investigação e identificação de processos erosivos	73
Quadro -14	Cenários do IPCC para o período entre os anos de 2010 e 2100	76
Quadro -15	Características das imagens utilizadas durante a pesquisa	79
Quadro -16	Características da linha de costa analisada	81
Quadro -17	Localização geográfica dos pontos de monitoramento	82
Quadro -18	Métodos estatísticos utilizados pela extensão do DSAS e suas características	98
Quadro -19	Notícias relacionadas à erosão costeira no litoral do Ceará e em Icapuí. Em vermelho notícias que tratam diretamente de Icapuí	103
Quadro -20	Cenários estabelecidos para a Praia de Barreiras da Sereia pelo Plano de Intervenção da Orla Marítima de Icapuí – CE	108
Quadro -21	Situação dos conflitos na Praia de Barreiras da Sereia em meados de 2005	109
Quadro -22	Cenários estabelecidos para a Praia da Barrinha pelo Plano de Intervenção da Orla Marítima de Icapuí – CE	110
Quadro -23	Indicadores de erosão costeira no litoral do monitorado em Icapuí	120
Quadro -24	Causas antrópicas da erosão costeira em Icapuí	122
Quadro -25	Limites de classificação da assimetria	187
Quadro -26	Limites de classificação da Curtose	190
Quadro -27	Correlação entre a curtose e o tamanho médio dos sedimentos analisados	191
Quadro -28	Limites de classificação da Assimetria	193
Quadro -29	Correlação entre o tamanho médio dos grãos de sedimentos e assimetria dos sedimentos analisados	194
Quadro -30	Teores de carbonato de cálcio obtidos na berma durante o monitoramento	198
Quadro -31	Teores de carbonato de cálcio obtidos no estirâncio durante o monitoramento	199
Quadro -32	Teores de carbonato de cálcio obtidos na antepraia durante o monitoramento	200
Quadro -33	Correlação entre os teores de carbonato de cálcio e desvio padrão dos sedimentos coletados	201
Quadro -34	Correlação entre carbonato de cálcio e tamanho médio dos sedimentos coletados	201
Quadro -35	Taxas de EPR e LRR do setor 1 monitorado	209

Quadro -36	Taxas de EPR e LRR do setor 2 monitorado	211
Quadro -37	Taxas de EPR e LRR do setor 3 monitorado	213
Quadro -38	Dados relativos à variação da Linha de Costa nos transectos próximos aos Pontos de Monitoramento no intervalo de 2002 a 2016	216
Quadro -39	Parâmetros de ondas (Hs) para região do trecho monitorado	219
Quadro -40	Cenários do IPCC sobre elevação do nível dos oceanos	220
Quadro -41	Dados do trecho monitorado utilizados para cálculo da Lei de Bruun	220

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DGPS	Differential Global Positioning System
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
EPR	End Point Rate
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GNSS	Global Navigation Satellite System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Km	Kilômetros
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar
LGCO	Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica
LMS	Least Median of Squares
LOG	Laboratório de Oceanografia Geológica
LRR	Linear Regression Rate
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NM	Nível do Mar
NMM	Nível Médio do Mar
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSM	Net Shoreline Movement
PAF	Plano de Ação Federal
PCD	Posto de Coleta de Dados
PEGC	Plano de Gestão Regional do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro
PGI	Plano de Gestão Integrada
PGZC	Plano de Gestão da Zona Costeira
PMGC	Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro
PMI	Prefeitura Municipal de Icapuí
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
RCP	Representative Concentration Pathways
RN	Referencial de Nível
RQA-ZC	Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira
SAG	Sistema de Análise Granulométrica
SCE	Shoreline Change Envelope
SCO	Sistemas Costeiros e Oceânicos
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SMA-ZC	Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira
UFC	Universidade Federal do Ceará
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UTM	Unidade Transversa de Mercator
WLR	Weighted Least Squares
ZCIT	Zona de Convergência Tropical
ZEE	Zoneamento Econômico Ecológico

1. INTRODUÇÃO

A erosão costeira é um fato constantemente evidenciado em diversas regiões litorâneas do Planeta, não sendo algo restrito apenas ao Brasil e mais especificamente ao Estado do Ceará. Devemos entender que se trata de um processo inerente à dinâmica costeira e que está ligado diretamente ao equilíbrio do ambiente praias, tendo como principais agentes influenciadores os fatores climáticos, fatores oceanográficos globais, fatores locais, como poucas áreas fonte de sedimentos e além disso, também pode ser ocasionada por interferências antrópicas que alteram a dinâmica natural e conseqüentemente os padrões de abastecimento para as praias, tornando o balanço sedimentar negativo.

Desta forma, a erosão passou a ser um problema no momento em que a mesma passa a ter influência direta no dia-a-dia da população que vive nas proximidades do litoral, chegando a causar danos as estruturas construídas nestes espaços e que se reverte em perdas econômicas para o município e para a população que vivem nas proximidades ao ponto de ser tratada constantemente nos noticiários locais. Tal fato passou a ser fator de preocupação em Icapuí por volta do início dos anos 2000, quando as primeiras notícias de erosão no município passaram a ter espaço no noticiário Estadual com mais frequência a partir de 2011, neste período foram relatadas uma série de danos às residências por conta da atuação direta da maré sobre elas.

O município passou então elaborar medidas de minimização dos impactos causados pela erosão em virtude do cenário de destruição observados nas Praias de Barreiras de Baixo e Barrinha desde a elaboração do Plano de Gerenciamento Integrado (PGI) até instalação obras de contenção do processo erosivo, ao mesmo tempo em que a população também criou as suas, desta forma alterando assim a dinâmica costeira local, conforme foi possível verificar no trecho entre as Praias de Barreiras de Cima e Barrinha. Tal situação induziu o município de Icapuí a gastar quase R\$16 milhões em medidas de contenção da erosão costeira até os dias atuais.

Desta forma, esta pesquisa teve por objetivo analisar a evolução da erosão costeira na área de monitoramento em Icapuí, apontado as principais causas para a intensificação do problema, bem como seus impactos ambientais e socioeconômicos para o município e para as comunidades costeiras, gerando assim, informações que possam ser utilizadas pela administração pública para desenvolver medidas de médio a longo prazo para minimização de futuros impactos causados pela erosão costeira motivados por fatores locais e globais.

1.1. Questões norteadoras

A pesquisa desenvolvida apoia-se nos seguintes questionamentos:

- Quais os principais fatores que aceleraram o processo de erosão no litoral do Município de Icapuí nos últimos anos? Existe alguma relação entre o avanço da ocupação antrópica no local com este processo?
- Quais os impactos ambientais, sociais e econômicos que essa erosão trouxe para o município e que poderão ser agravados caso essa erosão não seja controlada?
- Qual a influência dos processos costeiros na atual configuração da planície costeira do município? Quais mudanças poderão ocorrer em um cenário futuro para a região?

1.2. Hipótese

Os danos causados pela erosão costeira nos setores analisados do município de Icapuí tem-se mostrado acelerados na última década em virtude de um aumento da expansão urbana de forma irregular e sem controle muito próxima da linha de costa. Fato que é potencializado pelas condições naturais do ambiente como praias que apresentam baixas cotas altimétricas e baixo grau de declividade no estirâncio e antepraia que estão sujeitos às elevadas amplitudes de maré no local e que pode ter seu alcance e potencial maximizado em eventos como superluas e ressacas.

1.3. Objetivo geral

Investigar a evolução da erosão costeira no município de Icapuí com foco nos impactos ambientais e socioeconômicos causados às comunidades litorâneas, apontando suas causas e consequências, além de gerar informações que podem servir de apoio ao plano de gestão costeira integrada do município futuramente.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o histórico da erosão costeira no litoral de Icapuí relacionando-o com o início do processo de ocupação do litoral, apontando os principais causas e consequências para a comunidade;
- Averiguar os aspectos morfológicos da praia por meio dos perfis de praia e sedimentos coletados no trecho monitorado;

- Investigar a variação da linha de costa entre os anos de 2002 e 2016 ao longo do trecho monitorado evidenciando as principais modificações e suas consequências para o município;
- Discutir alternativas para uma melhor gestão da orla do município em de acordo os aspectos ambientais e legais da zona costeira, levando em consideração as áreas mais vulneráveis à erosão.

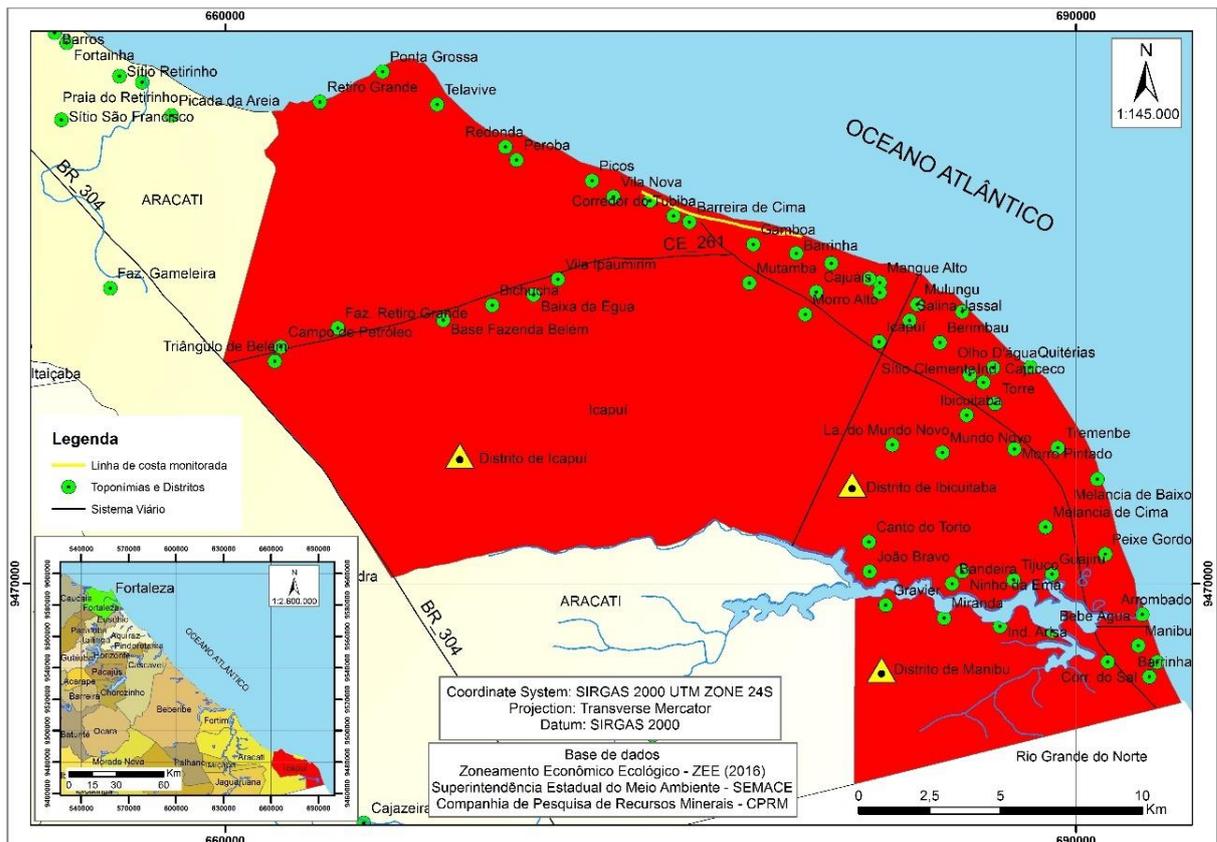
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo serão descritas as principais características do ambiente físico e social da área em estudo abordando desde a história, o social, a economia, a geologia, as unidades geoambientais, a climatologia e a oceanografia, permitindo assim, estabelecer as relações necessárias para entendimento do atual cenário em que se enquadra a área de monitoramento.

2.1. Localização da área de estudo

A área em questão encontra-se localizada no município de Icapuí ($4^{\circ} 42' 46''$ S, $37^{\circ} 21' 18''$ W), situado no extremo leste do Estado do Ceará, a 206 km de Fortaleza tendo seu acesso através das CE-040, BR-304, CE-261 e CE-240, localizado na microrregião do baixo-Jaguaribe, faz divisa com o Estado do Rio Grande do Norte e a oeste e sul com a cidade de Aracati (Figura 1). O município possui 64 km de linha de costa divididos em 14 praias e está organizado administrativamente em três distritos: Icapuí (Sede municipal), Ibicuitaba e Manibu.

Figura 1: Mapa de localização do município de Icapuí



Fonte: Autoria própria.

2.2. Aspectos históricos e socioeconômicos

O município de Icapuí faz parte de um importante cenário na história do próprio Estado do Ceará, conforme aponta Bustamante (2005), a passagem de Vicente Yañes Pinzón por águas brasileiras, mais precisamente entre o que é hoje o município de Aracati e Icapuí, pode ser considerada como marco inaugural da presença de influências ibéricas no nosso país, tal fato, antes mesmo da “descoberta” por Portugal em 22 de abril de 1500 por Pedro Álvares Cabral, em Porto Seguro, Bahia.

A mesma autora op.cit afirma que através de suas análises de registros históricos de navegações da época, pode-se afirmar que há documentação referente à passagem de Vicente Yañez Pinzón por pontos da costa do Ceará em janeiro de 1500, época em que Cristóvão Colombo fazia sua expedição pelo “Novo Mundo”, ou seja, em terras americanas, além disso, relatos de moradores mais antigos da região e de historiadores apontam que a área que hoje é conhecida por Praia de Ponta Grossa, em Icapuí, foi o primeiro local em que Vicente Pinzón

teria aportado e posteriormente em outros locais do Nordeste, deixando uma série de artefatos nestes locais (Figura 2).

Figura 2: Artefatos arqueológicos encontrados na Praia de Ponta Grossa que remontam aos primeiros habitantes da região (A) e utensílios trazidos por navegações por volta do início de 1500 (B).



Fonte: Autor, 2015.

A origem do atual município de Icapuí está relacionada à uma vila de pescadores chamada “caiçara” cujo significado está ligado à uma “cerca de galhos” que protegia e delimitava as tribos de índios da região. Alguns registros históricos (Quadro 1) apontam que a partir de 1943, mais precisamente em 30 de dezembro deste ano, o município passou a ter o atual nome, que por sua vez tem sua origem relacionada ao termo “canoa veloz”.

Quadro 1: histórico da criação do município de Icapuí.

Marcos históricos oficiais da criação do município de Icapuí
Distrito criado com a denominação de Caiçara, pelo decreto estadual nº 448, de 20-12-1938, com terras desmembradas do distrito de Areias, subordinado ao município de Aracati
No quadro fixado para vigorar no período de 1939-1943, o distrito de Caiçara figura no município de Aracati
Pelo decreto-lei estadual nº 1114, de 30-12-1943, o distrito de Caiçara passou a denominar-se Icapuí.
No quadro fixado para vigorar no período de 1944-1948, o distrito já denominado Icapuí figura no município de Aracati.
Em divisão territorial datada de 1-VII-1950, o distrito de Icapuí permanece no município de Aracati.
Elevado à categoria de município com a denominação de Icapuí, pela lei estadual nº 4461, 15-01-1959, desmembrado de Aracati. Sede no antigo distrito de Icapuí. Constituído de 3 distritos: Icapuí, Cuipiranga e Ibicuitaba.
Em divisão territorial datada de 1-VII-1960, o município é constituído de 3 distritos: Icapuí, Cuipiranga e Ibicuitaba.

Pela lei estadual nº 8339, de 14-12-1965, o município de Icapuí é extinto, sendo seu território anexado ao município de Aracati.
Em divisão territorial datada de 31-XII-1968, o distrito de Icapuí, figura no município de Aracati.
Elevado novamente à categoria de município com a denominação de Icapuí, pela lei estadual nº 11003, de 15-01-1985, desmembrado de Aracati. Sede no antigo distrito de Icapuí. Constituído de 3 distritos: Icapuí, Ibicuitaba e Manibu (ex-Cuipiranga). Instalado em 01-01-1986. Sob a mesma lei acima citado o distrito de Cuipiranga passou a denominar-se Manibu.
Em divisão territorial datada de 1988 até os dias atuais, o município é constituído de 3 distritos: Icapuí, Ibicuitaba e Manibu.

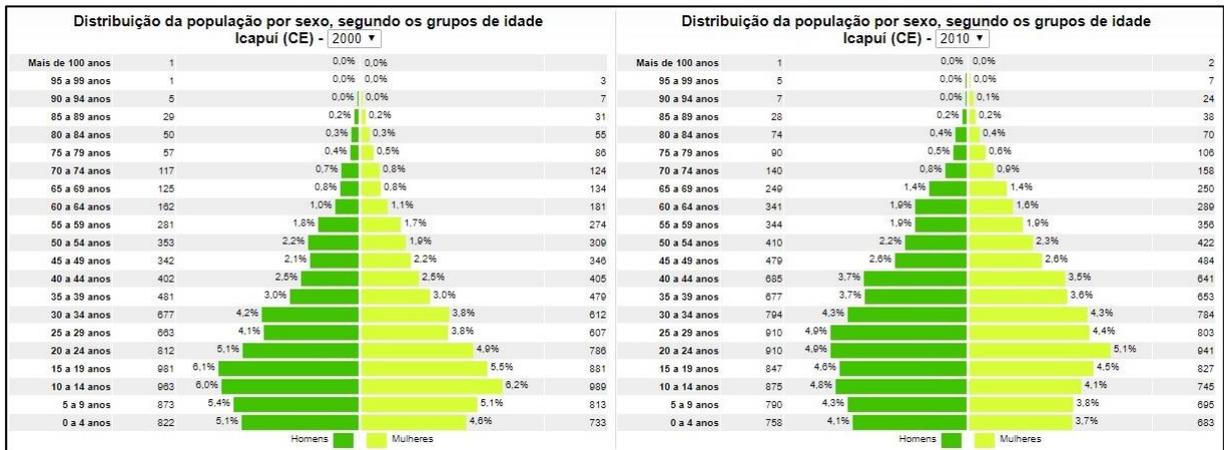
Fonte: adaptado de Biblioteca IBGE.

Segundo o último censo do IBGE realizado em 2010, Icapuí possuía uma população de 18.392 habitantes, em uma área territorial de 423,448 Km² o que implica em uma densidade demográfica de aproximadamente 43,43 hab./km². A estimativa para o ano de 2018 segundo o IBGE aponta para uma população de aproximadamente 19.685.

Segundo histórico do município disponível na biblioteca do IBGE, as famílias são compostas em sua maioria por 6 pessoas, os dados censitários de 2000 apresentam uma população relativamente jovem, com a sua maioria tendo entre 4 e 34 anos, passados 10 anos, a população mais jovem continua sendo a predominante, porém se fez notar um aumento nos residentes com idade acima dos 44 anos, demonstrando um envelhecimento gradual da população (Gráfico 1).

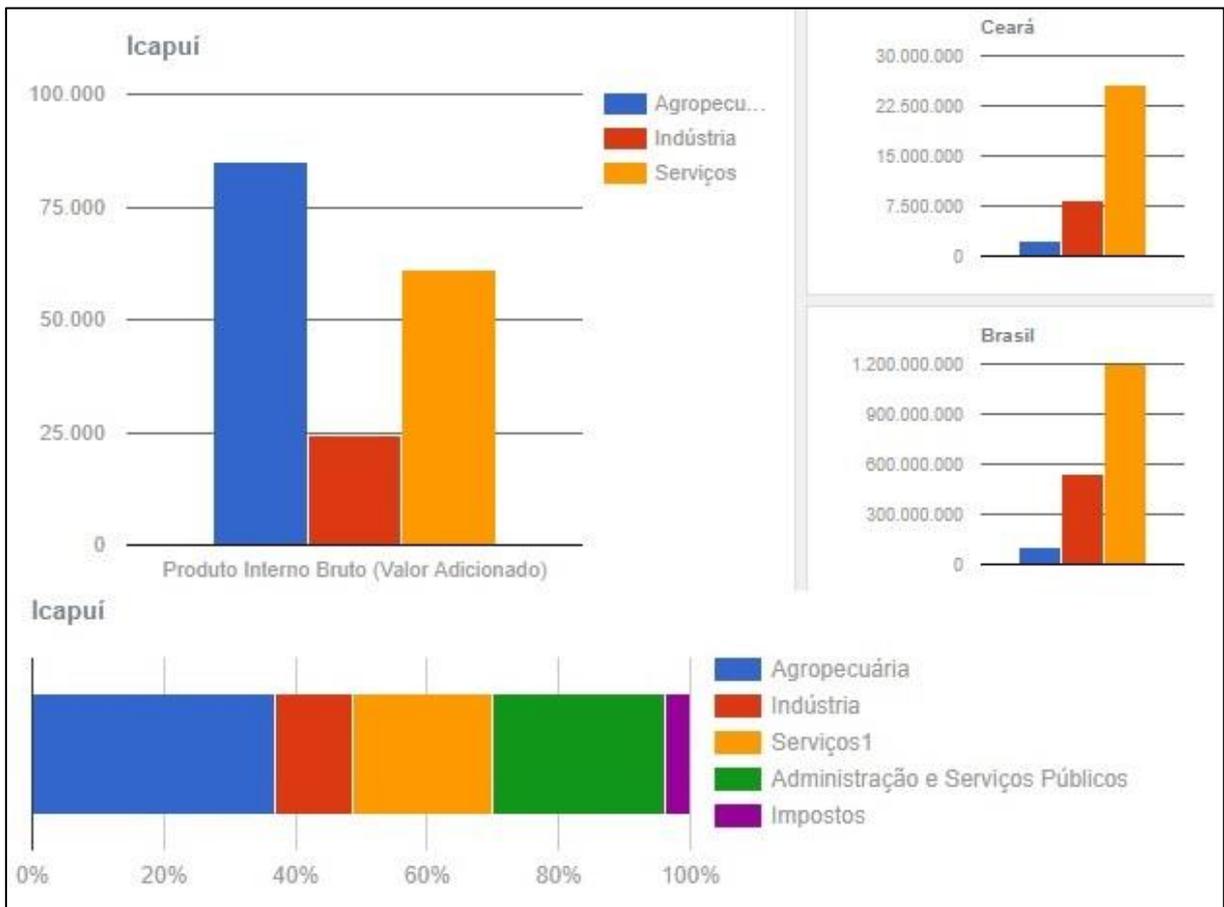
A economia de Icapuí é principalmente voltada para as atividades agropecuárias (e.i. bovino e caprino), tradicionais (e.g. plantações de coco, caju, mandioca e milho), a pesca (Lagosta, mesmo estando em declínio), sendo essas atividades reforçadas pela organização popular através de associações e grupos comunitários. Outras atividades desenvolvidas na região são a explorações de petróleo, iniciada em 1990 na Fazenda Belém, as salinas que remontam ao período crescimento deste tipo de atividade, fruto da influência com o Rio Grande do Norte, a criação de camarão em cativeiro, os frigoríficos, as beneficiadoras de coco e mais recentemente o beneficiamento de algas marinhas (Gráfico 2).

Gráfico 1: Evolução das Pirâmides etárias do município de Icapuí entre 2000 e 2010.



Fonte: Censo IBGE 2010.

Gráfico 2: Produto Interno Bruto – PIB do Município de Icapuí em comparação com o Estado do Ceará e com o Brasil e distribuição das fontes de renda.



Fonte: Censo IBGE 2010.

2.3.Aspectos ambientais

Nos próximos tópicos serão apresentadas as principais características ambientais da área de estudo, serão abordados os aspectos geológicos, os aspectos da geomorfologia e unidades

geoambientais, os aspectos climatológicos e por fim os aspectos oceanográficos. O entendimento destes componentes ambientais, quando juntos analisados, permitem um melhor entendimento da dinâmica atuante na área em questão.

2.3.1. Geologia

A elaboração da série de sistemas geomorfológicos e ecossistêmicos que compõem o litoral do Ceará foi formada graças às sucessões de eventos transgressivos e regressivos do nível do mar durante o tempo geológico. Assim, a sucessão destes processos proporcionou a origem de fluxos de material em virtude dos diversos processos, desde erosão, transporte e deposição que são provocados e influenciados por agentes fluviais e agentes costeiros, como ondas, correntes, marés além de componentes climatológicos, deram origem à uma extensa e complexa planície litorânea no Estado (CEARÁ, 2016).

De acordo com o relatório do ZEE 2016, essa variação do nível do mar, datada não de forma absoluta, mas relativa através de testemunhos, foi responsável pela configuração de uma ampla plataforma de deposição de sedimentos continentais em conjunto com nascentes fluviais em bacias sedimentares e que junto com a oscilação climática afetaram diretamente no aumento de volume de sedimentos transportados nas calhas fluviais.

A análise do relatório op.cit. proporcionou a delimitação dos Ambientes Geológicos, sendo destacados de acordo com os processos que os originaram, para Icapuí, a Figura 3 destaca os seguintes ambientes: Depósitos Aluviais, Depósitos Eólicos, Depósitos Fluviolacustres, Depósitos Lacustres, Depósitos Lagunares, Depósitos Marinhos Praiais, Depósitos Paludiais e Formação Barreiras.

Os **Depósitos Aluviais** são datados do Holoceno Superior a Inferior, sendo representado pelas Planícies Fluviais, que em Icapuí concentram-se na porção central do Município, próximas às salinas. São compostos por sedimentos Quaternários, areno-argilosos mal selecionados, sedimentos de granulometria fina a grossa e sua topografia plana e baixa facilita os processos de inundação em períodos de pluviometria acima do normal (MARINO et al, 2012; CEARÁ, 2016).

Os **Depósitos Eólicos** em Icapuí são datados do Holoceno Superior a Inferior, sendo originados a partir das recorrentes variações climáticas deste período, mais precisamente na transição do Pleistoceno para o Holoceno, durante a regressão marinha, quando houve emersão da Plataforma Continental, ocorrendo o inverso no momento da transgressão. São sedimentos

areno-quartzosos, com granulometria fina a média, bem selecionados por transporte eólico e capeiam a Formação Barreiras, e aparecem na forma de Dunas Frontais, Dunas Móveis, Dunas Fixas e Semifixas, além das planícies de Deflação Ativa e Estabilizadas (MARINO et al, 2012; CEARÁ, 2016).

Os **Depósitos Fluviolacustres**, são sedimentos muito finos, silte, argila de coloração escura, resultado do acúmulo de matéria orgânica, e ocorrem nas partes internas das lagoas costeiras. Segundo Marino et. Al, (2012), são datados do Holoceno Superior a Inferior e tem sua origem ligada a dois ambientes de sedimentação, um lacustre e outro fluvial. São depósitos que se originaram em climas úmidos durante o Pleistoceno e durante a transição entre climas úmidos e secos durante o Holoceno.

Os **Depósitos Lacustres** possuem a sua deposição relacionada aos depósitos fluvioaluvionares, com a presença de sedimentos fluviais e lacustres, onde predominam areias, cascalhos, siltes e argilas, porém a predominância é a de sedimentos finos associados as elevadas quantidades de matéria orgânica (MARINO et al, 2012; CEARÁ, 2016).

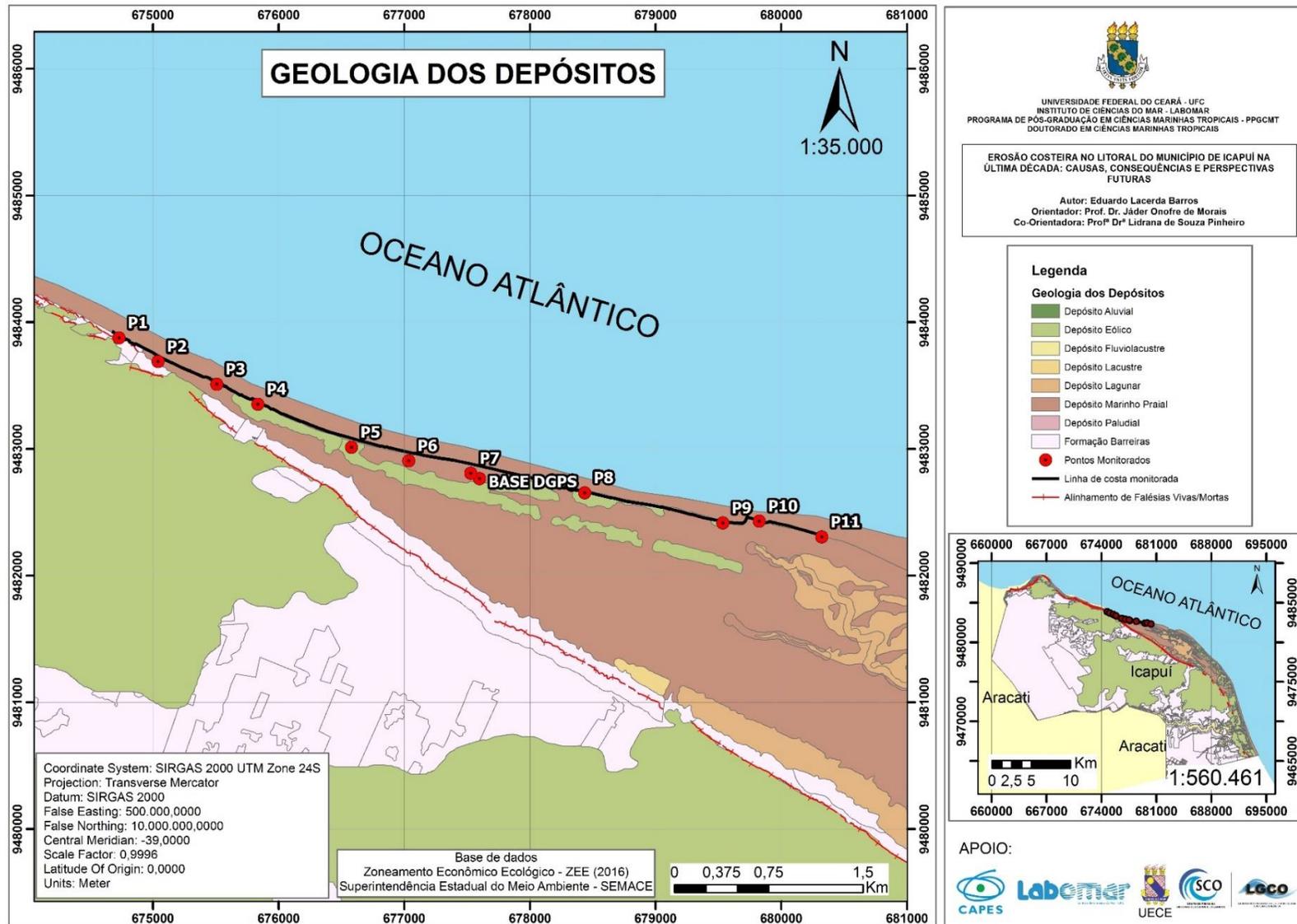
Segundo Marino et. Al, (2012) os **Depósitos Marinhos Praiais** são datados do período de regressão durante o Holoceno Superior a Inferior, foram e continuam sendo moldados pelas variações sazonais de marés, ondas e correntes. São sedimentos arenosos de origem marinha, de granulometria média, com grãos de quartzo subarredondados. A granulometria pode variar para areias de calibre mais grosso e fino, e ainda apresentar seixos e grânulos próximos a desembocadura de rios e em alguns casos pode apresentar também fragmentos de conchas, matéria orgânica e minerais pesados na sua composição. Este material é transportado pela deriva litorânea e apresenta continua mobilização pela ação eólica e constante retrabalhamento pela abrasão marinha na faixa de praia.

Os **Depósitos Paludiais** foram originados durante o Holoceno Superior e Inferior, estando atrelados aos processos naturais de colmatação dos corpos aquosos costeiros que passam a ter vegetação ao passo que as laminas d'água diminuem. São sedimentos argilo-arenosos e siltosos, ricos em matéria orgânica e estão sujeitos às oscilações de maré e processos continentais. Apresentam-se na forma de Planícies Flúvio-marinhas e Planícies Lagunares (MARINO et al, 2012; CEARÁ, 2016).

E por fim, na área que se encontra o Município de Icapuí, temos a **Formação Barreiras** datada do Terciário e Mio-Pleistoceno. Segundo Moraes (2000), Souza (2000) e Marino et. Al,

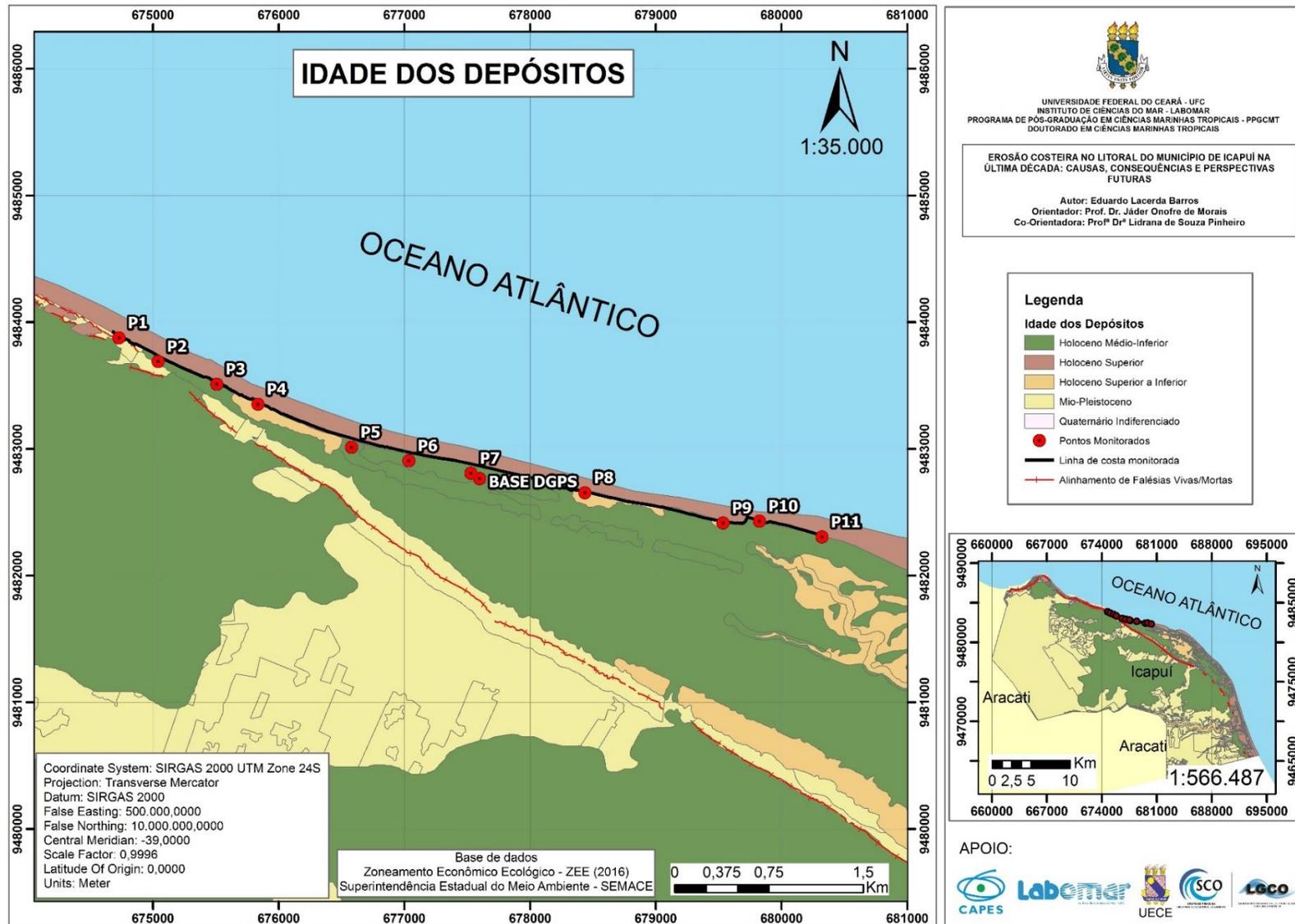
(2012), se apresentam como faixas alongadas e de largura variável dispostos ao longo da linha de costa na forma de Tabuleiros Pré-Litorâneos, dando origem às falésias vivas. Esta unidade geológica está atrelada aos leques aluviais que ocupam a zona costeira e plataforma continental que forma originados pelas frequentes variações do nível do mar. São formados por arenitos grosso e conglomerados mal selecionados, há também a presença de sedimentação detrítica com textura areno-argilosa e coloração que varia entre vermelha, creme e amarela. A espacialização destes ambientes geológicos em detalhe para a área de estudo, assim como suas idades, litologia e unidades Litoestratigráficas encontram-se representados nas figuras 3, 4, 5, e 6.

Figura 3: Mapa de Geologia dos Depósitos na área de estudo.



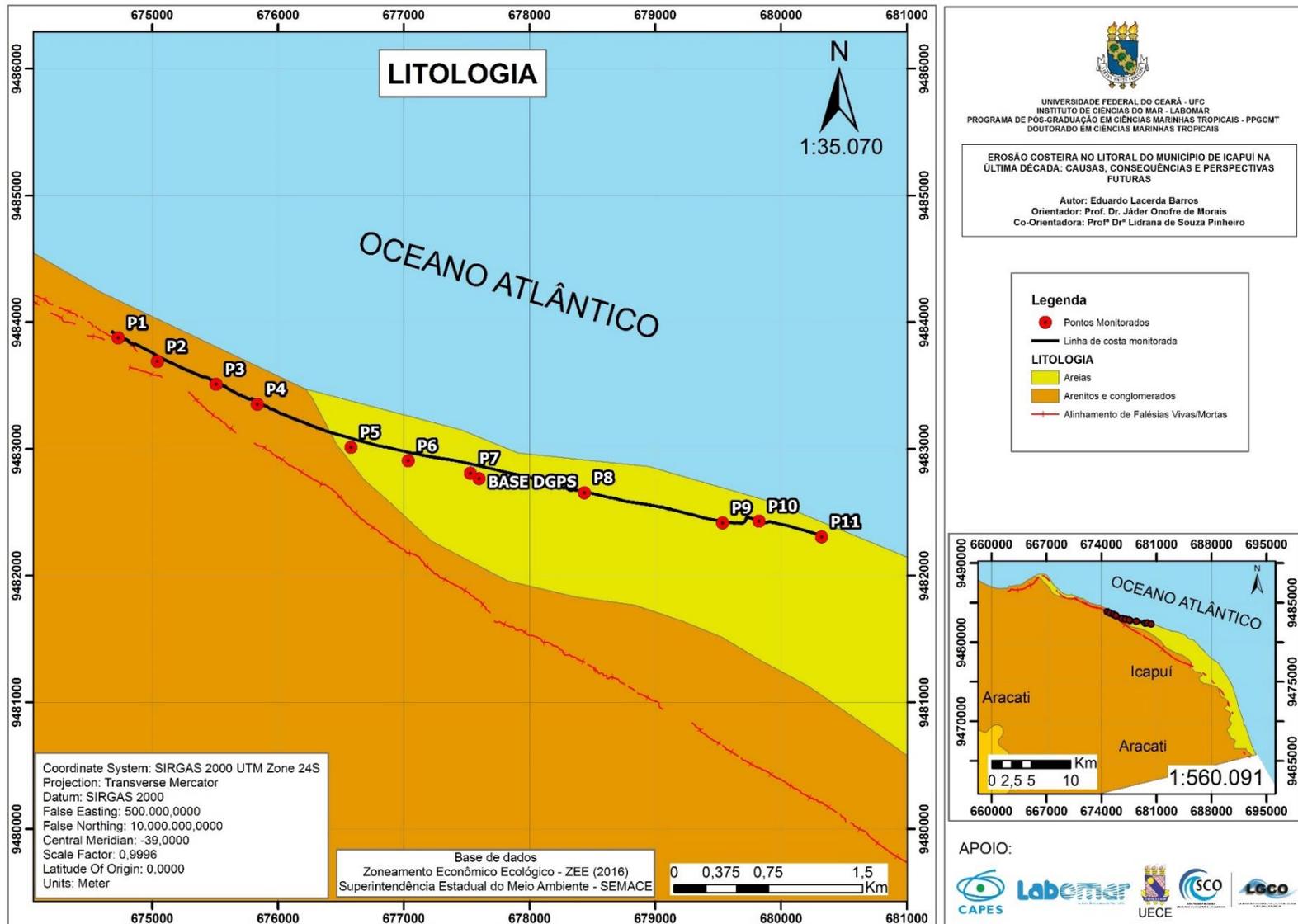
Fonte: Autoria própria

Figura 4: Mapa de Idade dos Depósitos identificados na área de estudo.



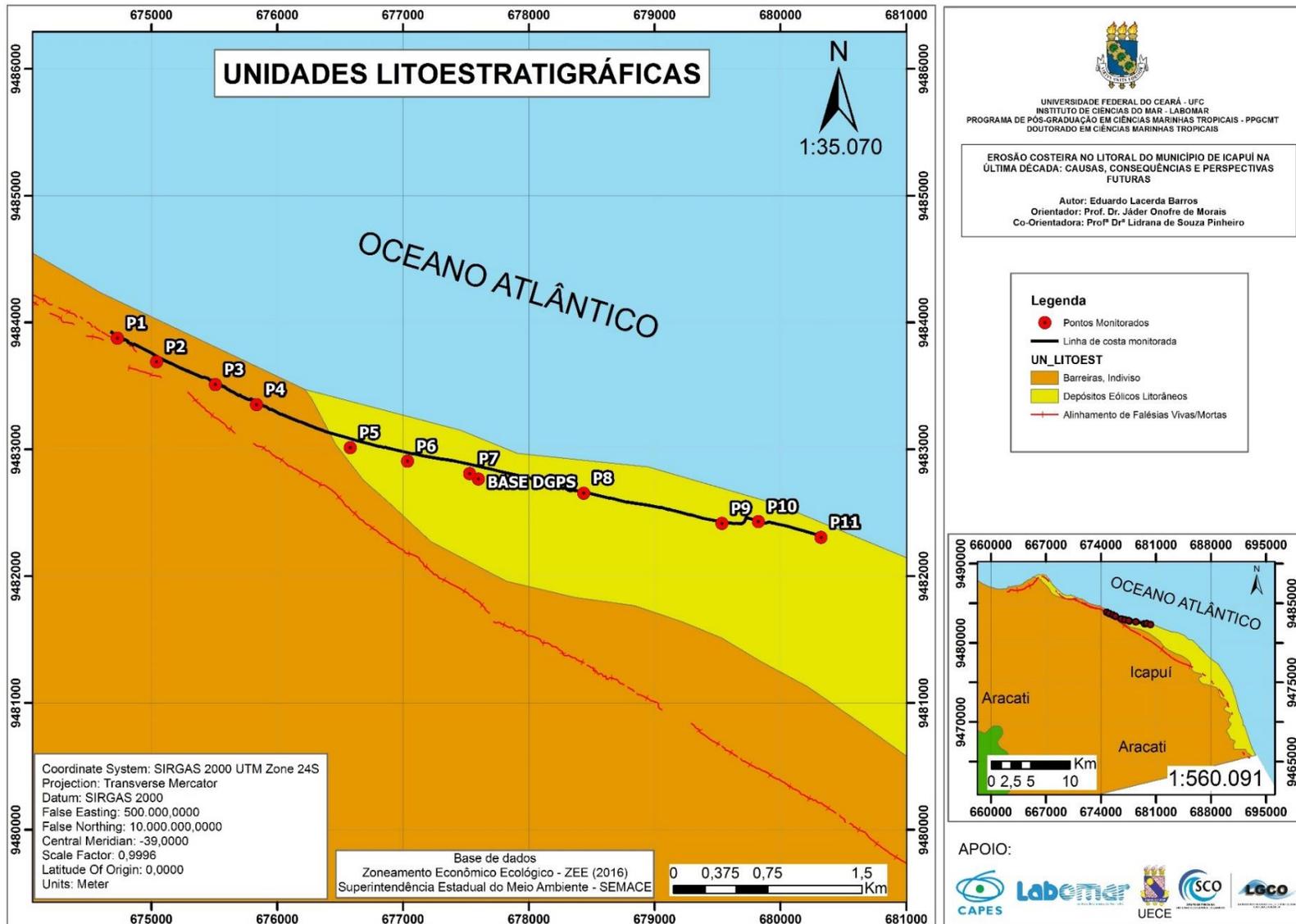
Fonte: Autoria própria

Figura 5: Mapa de litologia da área de estudo.



Fonte: Autoria própria

Figura 6: Mapa de Unidades Litoestratigráficas identificadas na área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

2.3.2. Geomorfologia, Unidades Geoambientais e Uso do Solo

A Planície litorânea em que o município de Icapuí encontra-se localizado é caracterizada pela presença de feições geomorfológicas que são resultantes de constantes variações do nível do mar e flutuações climáticas durante o Quaternário. Os Terraços Marinheiros Holocênicos, as Dunas, Falésias vivas e mortas, praia, laguna e lagoas costeiras tiveram a sua origem e evolução através de eventos de abrangência global relacionadas com os processos de regressão e transgressão marinha conforme aponta (MEIRELES et al., 1990; MEIRELES, 2005 e MEIRELES & SANTOS, 2012).

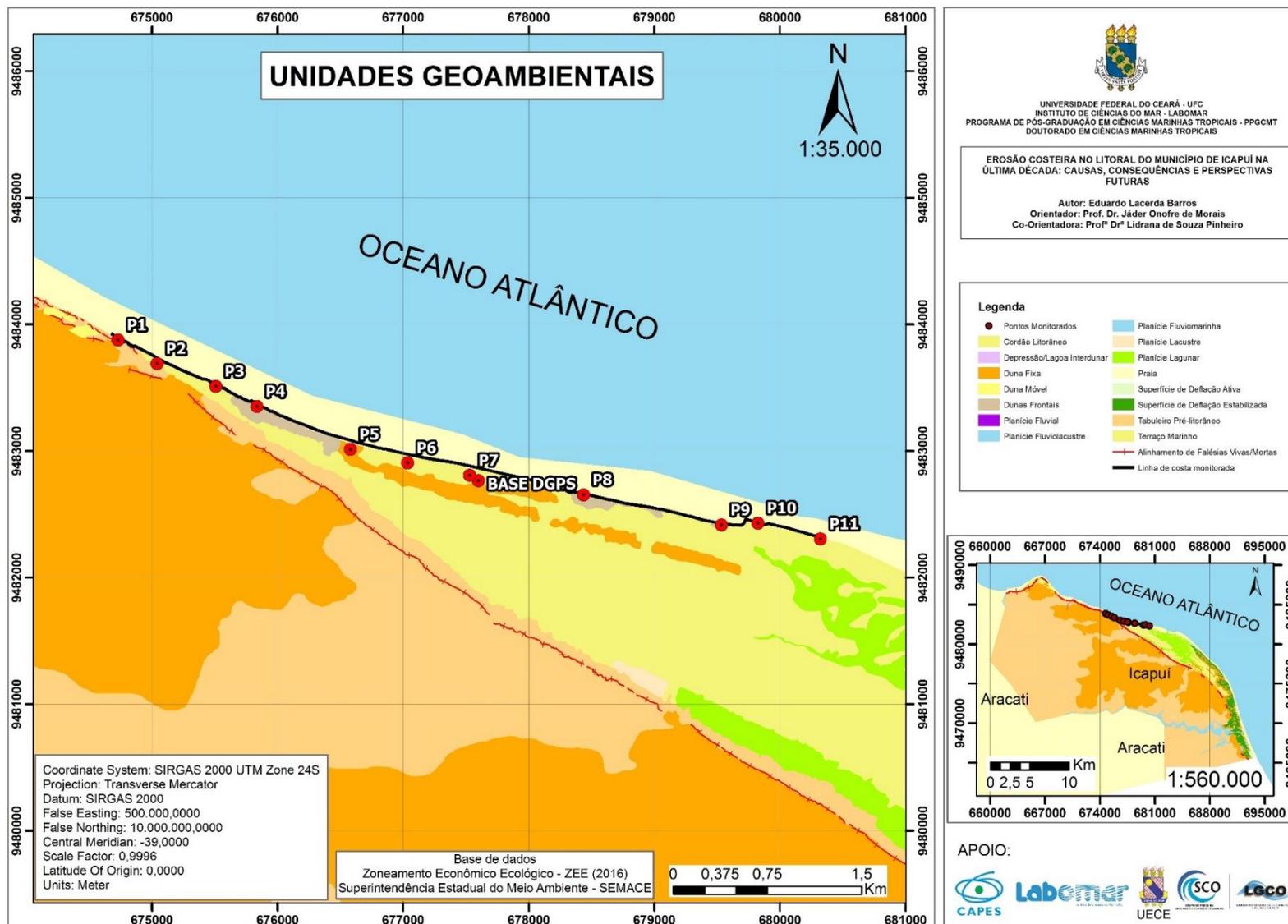
A observação e análise das falésias mortas que se formaram graças a um nível de mar mais elevado que o atual, além dos movimentos de placas tectônicas relacionados com a formação do Oceano Atlântico e alternâncias entre climas de características úmidas e semiáridas se apresentaram fundamentais na dinâmica ambiental e posterior formação das Unidades Geoambientais na área em questão (MEIRELES, 2005 e MEIRELES & SANTOS, 2012) (Figura 7 e 8).

Figura 7: Unidades Geoambientais da Planície Litorânea de Icapuí .



Fonte: Adaptado de frames retirados de imagens obtidas com drone, Prefeitura Municipal de Icapuí

Figura 8: Mapa de Unidades Geoambientais identificadas na área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

O Quadro 2 e o gráfico 3 apresentam respectivamente o quantitativo e a distribuição (em Km² e %) das classes de Unidades Geoambientais de acordo com o último relatório do Zoneamento Econômico Ecológico – ZEE do Ceará, elaborado pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE em todo o Município de Icapuí. De acordo com o relatório, o município é caracterizado por apresentar extensões de terraço marinho muito próximo à linha de costa, onde são encontradas também a presença de dunas fixas, superfície de deflação estabilizada e planície lagunar, sendo os tabuleiros pré-litorâneos e as dunas fixas as classes que apresentam uma maior representatividade dentro da área total do Município.

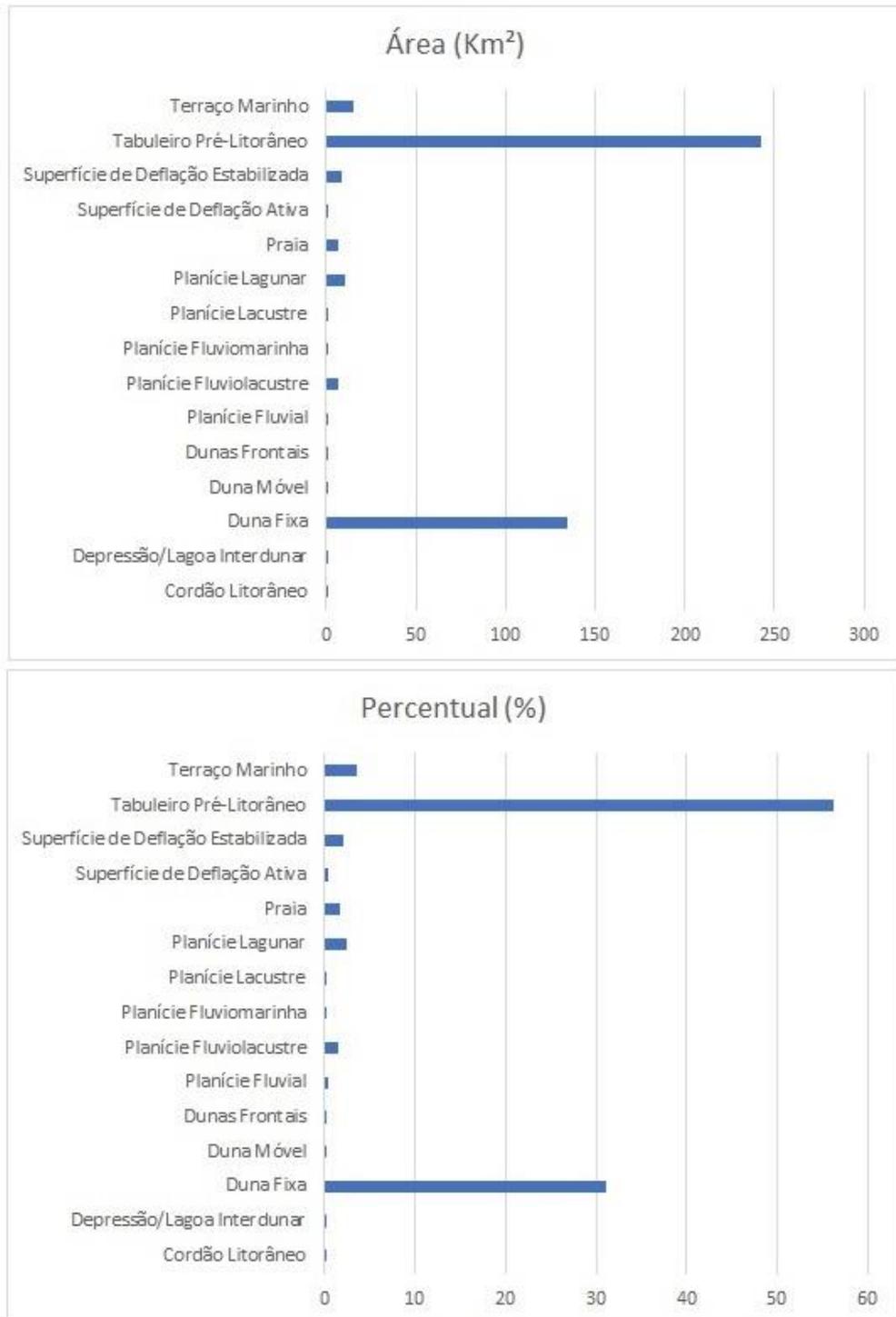
Quadro 2: Quantitativo das classes de Unidades Geoambientais no Município de Icapuí

Classe	Área (Km²)	Percentual (%)
Cordão Litorâneo	0,34	0,08
Depressão/Lagoa Interdunar	0,08	0,02
Duna Fixa	134,08	31,09
Duna Móvel	0,97	0,23
Dunas Frontais	0,80	0,19
Planície Fluvial	1,44	0,33
Planície Fluviolacustre	6,76	1,57
Planície Fluviomarinha	0,23	0,05
Planície Lacustre	0,57	0,13
Planície Lagunar	10,50	2,44
Praia	7,03	1,63
Superfície de Deflação Ativa	1,45	0,34
Superfície de Deflação Estabilizada	8,68	2,01
Tabuleiro Pré-Litorâneo	242,82	56,31
Terraço Marinho	15,48	3,59
Total	431,2	100,00

Fonte: adaptado de CEARÁ (2016)

A faixa de praia, objeto de estudo deste pesquisa, foi modelada pelos processos de variação do nível e flutuações climáticas no passado e atualmente continua sendo modelada nas condições atuais pelos processos costeiros atuantes na área (*e.i. ventos, ondas, marés e correntes*) e apresenta-se predominantemente arenosa, como boa parte das praias do longo do Estado, mas vale ressaltar que esta característica arenosa interrompida pela presença de afloramentos rochosos (*e.i. rochas do pré-cambriano e fanerozóicas*) como pode-se observar no trecho entre as Praias de Ponta Grossa e Barreiras da Sereia, área onde se fazem presentes falésias vivas que sofrem constantemente com a atuação da abrasão marinha.

Gráfico 3: Distribuição (Km² e %) das classes de Unidades Geoambientais em relação à área total do Município de Icapuí.



Fonte: adaptado de CEARÁ (2016)

A faixa de praia atual da região pode ser dividida em três setores Segundo MEIRELES & SANTOS, 2012a área central, com barreiras arenosas nas proximidades do estuário da Barra Grande e do delta de maré; a área de praias vinculadas aos terraços marinhos, extremamente planas; e por fim, a área de praias rochosas e arenosas associadas às falésias vivas. A área de

monitoramento está em uma área que apresenta faixa de praia em sua maioria do tipo arenosa, exceto os pontos localizados na Praia de Barreiras de Baixo, cuja as praias estão associadas às falésias vivas (Figura 9).

Figura 9: Diversidade da paisagem nos pontos monitorados na faixa de praia.





Fonte: O autor, 2015 a 2016.

A Planície Lagunar está concentrada nas proximidades da Barra Grande e está associada ao estuário da Barra Grande, que nasce nas falésias mortas e recebe água doce compondo assim os níveis de salinidade e nutrientes. A deposição de material siltsoso é predominante na área, rica em matéria orgânica e microorganismos (MEIRELES, 2012; CEARÁ, 2016) (Figura 10).

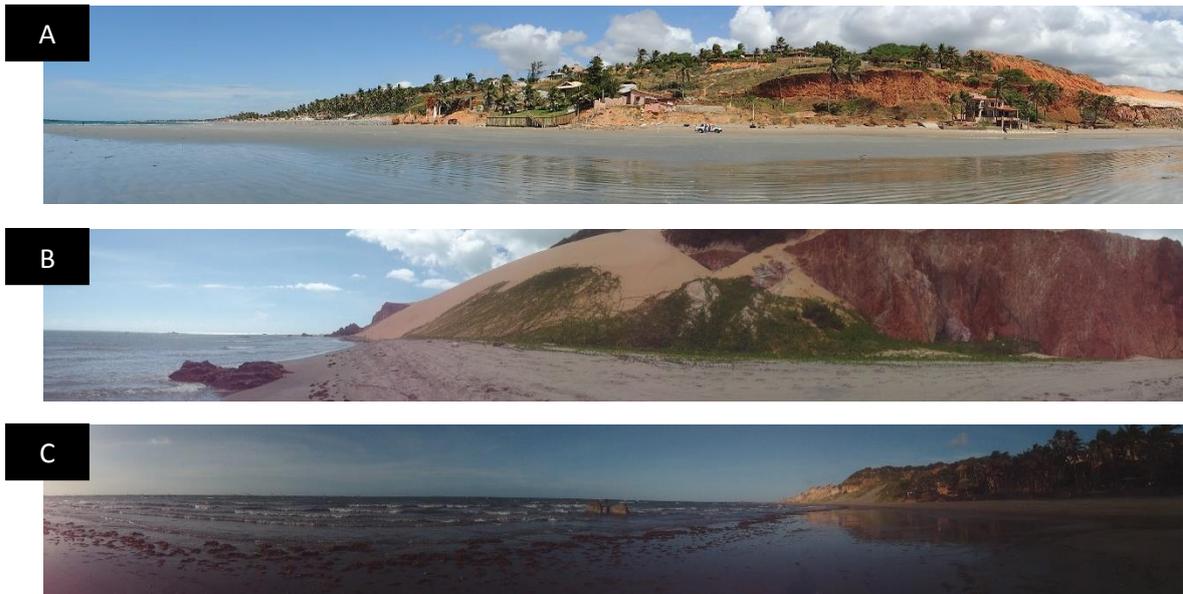
Figura 10: A: Estuário da Barra Grande. B e C: destacam a variação da maré na área.



Fonte: Autoria própria

As Falésias vivas estão localizadas na porção noroeste do município de Icapuí, com uma extensão de aproximadamente 4 km, são feições de caimento abrupto em direção ao litoral e são diariamente esculpidas pela ação das ondas e marés (Figura 11).

Figura 11: Falésias vivas ao longo da planície litorânea de Icapuí. A: Praia de Barreiras de Baixo, B e C: Praia de Ponta Grossa.



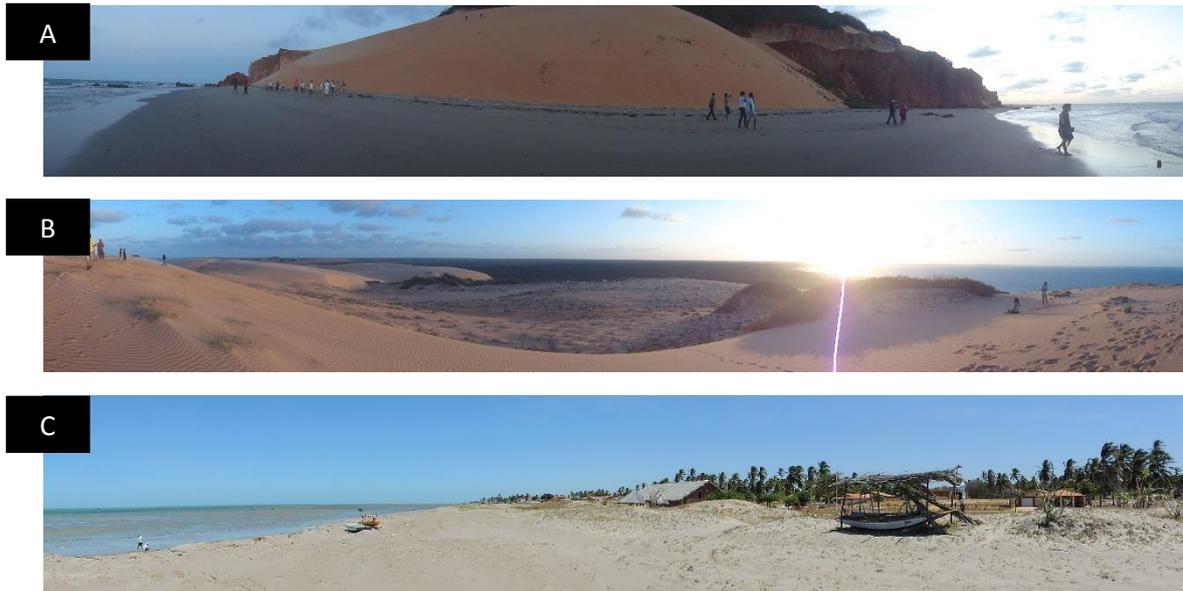
Fonte: Autoria própria.

Quando a abrasão marinha não se faz mais presente no retrabalhamento das falésias, as mesmas são chamadas de Falésias mortas, que no caso de Icapuí estão relacionadas às variações no nível do mar na região e estão na retaguarda dos Terraços Marinheiros.

De acordo com Meireles (1991) e Meireles & Santos(2012), podem ser evidenciadas três tipos de geração de dunas que estão associadas diretamente às variações do mar, disponibilidade de sedimentos arenosos para remobilização eólica, direção e velocidade dos ventos, são dunas do tipo barcana, transversal, dômica e parabólicas, além de dunas frontais que podem ser identificadas na região.

A primeira geração das dunas é identificada na região de Ponta Grossa, onde estão dispostas em cima dos terraços marinhos, onde migraram e também passaram a recobrir parte das falésias mortas e estão provavelmente associadas ao máximo transgressivo no pleistoceno. As dunas de segunda e terceira geração podem ser observadas ao longo da linha de costa e estão postadas na faixa de praia, na retaguarda do berma (Figura 12).

Figura 12: Campos de dunas do longo da planície litorânea de Icapuí. A: Dunas que capeiam as falésias e servem de fonte de sedimentos para a faixa de praia; B: Dunas móveis e C: Dunas frontais.



Fonte: O autor, 2015 a 2016.

Os terraços marinhos são antigas praias originadas durante os últimos eventos transgressivos (MEIRELES, 1990; MEIRELES & SANTOS, 2012, 2012). Podendo serem observados ao longo de toda a planície litorânea de Icapuí, sendo este ocupado por residências de pescadores e vias de acesso ao município (Figura 13).

Figura 13: Terraços marinhos na planície litorânea de Icapuí



Fonte: Autoria Própria.

O ZEE 2016 ainda apresenta os quantitativos e a distribuição percentual referente às classes de uso e cobertura do solo, tipos de solo, fragilidade do solo em relação à declividade e os tipos de cobertura vegetal para o Município de Icapuí (Quadro 3 e Gráfico 4). A classe mais predominante refere-se à vegetação antropizada com cultura/reflorestamento, ocorrendo em 32,8% da área total do Município, principalmente na porção oeste, onde podem ser encontrados diversos tipos de culturas tradicionais. Destaca-se também a vegetação natural/arbustiva com 31,49%, ocorrendo principalmente na porção central da localidade, sendo limitado pela vegetação de cultura/reflorestamento e por último, a vegetação antropizada com padrão irregular que ocorre principalmente na porção leste de Icapuí, onde há uma maior concentração de ocupação e representa 25,13% das classes identificadas (CEARÁ, 2016).

Em contrapartida, as classes que possuem menos representatividade em Icapuí são as áreas degradadas com solo exposto com 0,08%, vegetação natural de mangue/apicum com 0,14% e vegetação natural herbácea com 0,36%. A área que corresponde à aquicultura e salinas com 1,44% é mais perceptível na porção central do município enquanto aos trechos onde houve algum tipo de alteração tecnogênica com 1,91% encontra-se localizada em maior número na porção leste de Icapuí, isto devido à produção de Petróleo na Fazenda Belém (CEARÁ, 2016).

O mesmo relatório op. Cit. quando trata da ocupação humana, ou seja, área edificada/em edificação com 2,41%, aponta que os trechos que apresentam este tipo de classificação encontram-se principalmente nas proximidades e ao redor da sede do Município, além disso, tal classe pode ser facilmente identificada ao longo do litoral de Icapuí, algo que será bastante discutido ao longo desta pesquisa.

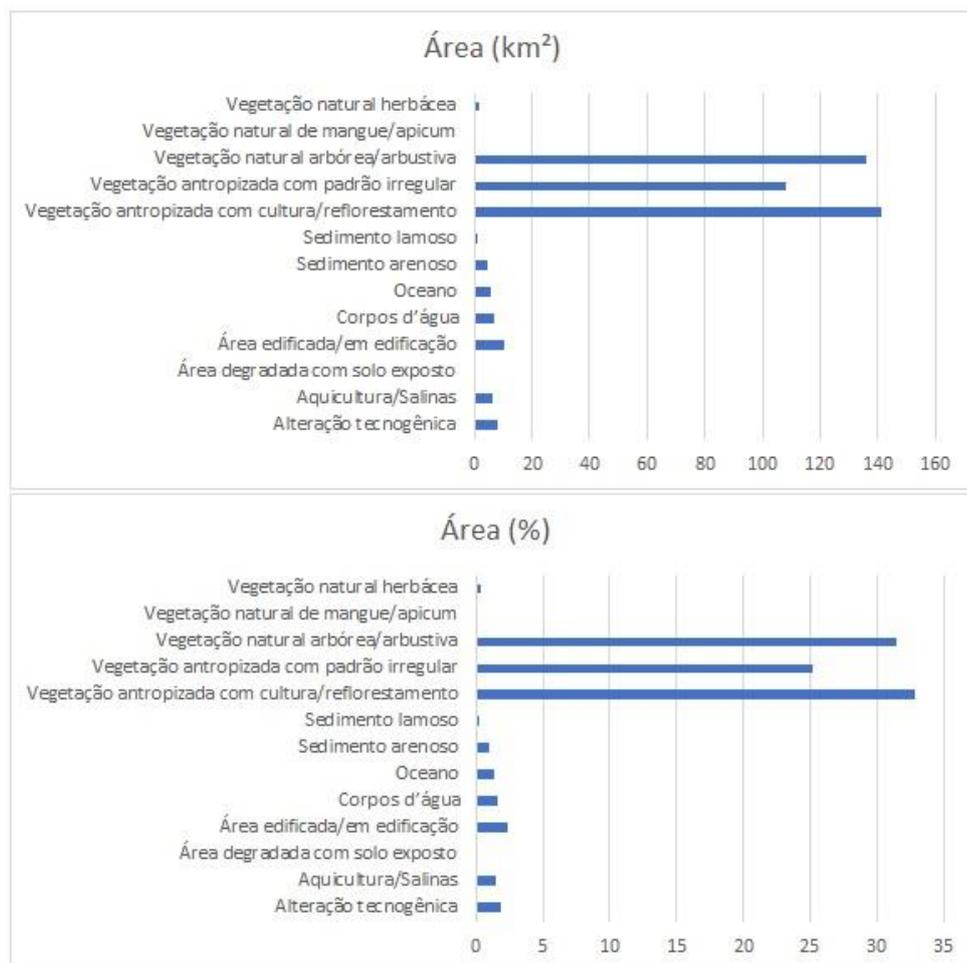
Quadro 3: Quantitativo das classes de uso e cobertura do solo no Município de Icapuí.

Classe	Área (km²)	Área (%)
Alteração tecnogênica	8,26	1,91
Aquicultura/Salinas	6,22	1,44
Área degradada com solo exposto	0,36	0,08
Área edificada/em edificação	10,4	2,41
Corpos d'água	6,98	1,62
Oceano	5,75	1,33
Sedimento arenoso	4,3	1
Sedimento lamoso	1,25	0,29
Vegetação antropizada com cultura/reflorestamento	141,43	32,8

Vegetação antropizada com padrão irregular	108,36	25,13
Vegetação natural arbórea/arbustiva	135,78	31,49
Vegetação natural de mangue/apicum	0,6	0,14
Vegetação natural herbácea	1,53	0,36
Total	431,2	100

Fonte: CEARÁ (2016)

Gráfico 4: Distribuição (Km² e %) das classes de uso e cobertura do solo em relação à área total do Município de Icapuí.



Fonte: CEARÁ (2016)

2.3.3. Análise dos registros históricos de precipitação para Icapuí

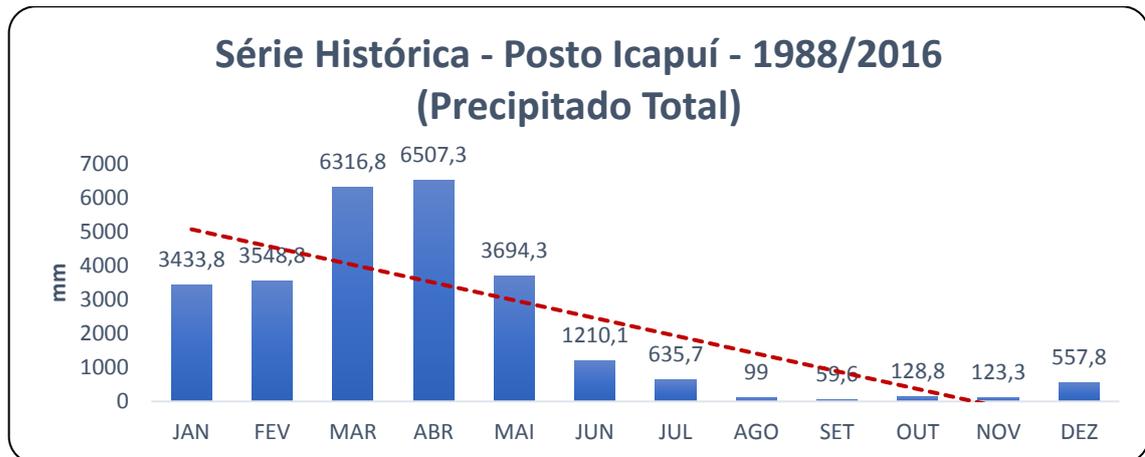
Por estar localizada no litoral, a área de estudo assume características importantes que não podem ser desconsideradas, nessas áreas os períodos mais secos tendem a ter sua temperatura mais amena devido à proximidade com o litoral. Desta forma, devemos também considerar que mudanças sazonais entre precipitações pluviométricas, alterações na velocidade dos ventos e regime de ondas passam a ter importância na atuação dos processos que dão forma e mobilidade na planície costeira de Icapuí.

O Estado do Ceará está em uma área que apresenta cinco tipos de clima, são eles: Clima Tropical Quente Semiárido, Clima Tropical Quente Semiárido Brando, Clima Tropical Quente Subúmido, Clima Tropical Quente Úmido e por fim, Clima Tropical Subquente Subúmido (FUNCEME, 2016). Em se tratando de precipitação, o Ceará apresenta dois períodos distintos quanto ao acumulado total, com o seu máximo sendo atingido entre os meses de fevereiro e maio, apresentando médias de aproximadas de 1.331,7 mm conforme aponta (MEIRELES, 2012), em contrapartida, o período que vai de julho a novembro é marcado pelos baixos índices pluviométricos.

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME disponibiliza em sua base de dados para a região de Icapuí registros pluviométricos que datam a partir de 1988 até os dias atuais para o posto de monitoramento que leva o mesmo nome do município, portanto, 28 anos de registros para a área de monitoramento.

Ao analisarmos os dados de precipitação foi possível observar que, assim como boa parte do litoral do Estado, as chuvas em Icapuí também se encontram concentradas entre os meses de fevereiro e maio tendo chovido nestes meses pouco mais de 20.000 mm, com média de 5.016,8 mm, entre os anos de 1988 e 2016. O período que vai de agosto a novembro são os que apresentam os menores índices pluviométricos quando observamos os registros, apenas 410,7 mm, com média de 102,6 mm em 28 anos de análise (Gráfico 5).

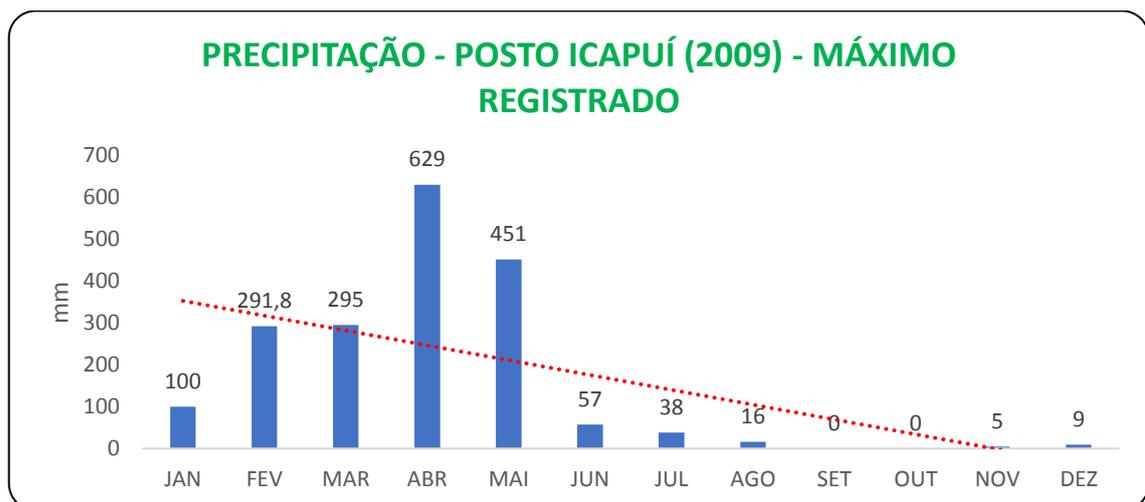
Gráfico 5: Série histórica da chuva para o Posto Icapuí entre os anos de 1988 e 2016



Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos- FUNCEME, 2016

Ao analisarmos os registros individualmente por ano, podemos destacar dois períodos distintos quanto aos níveis totais pluviométricos, mas com curto período de tempo entre eles, são os anos de 2009 e 2012. Os dados coletados pelo Posto Icapuí para o ano de 2009 mostra que choveu 1891,8 mm em todo o ano, o maior já registrado desde 1988 para o município. Se levarmos em consideração apenas a quadra chuvosa que vai de fevereiro a maio choveu 1666,8 mm, com média de 416,7 mm, muito acima da média para o mesmo período em 28 anos, que é de 172,9 mm (Gráfico 6).

Gráfico 6: Precipitação acumulada registrada no Posto de Icapuí para o ano de 2009

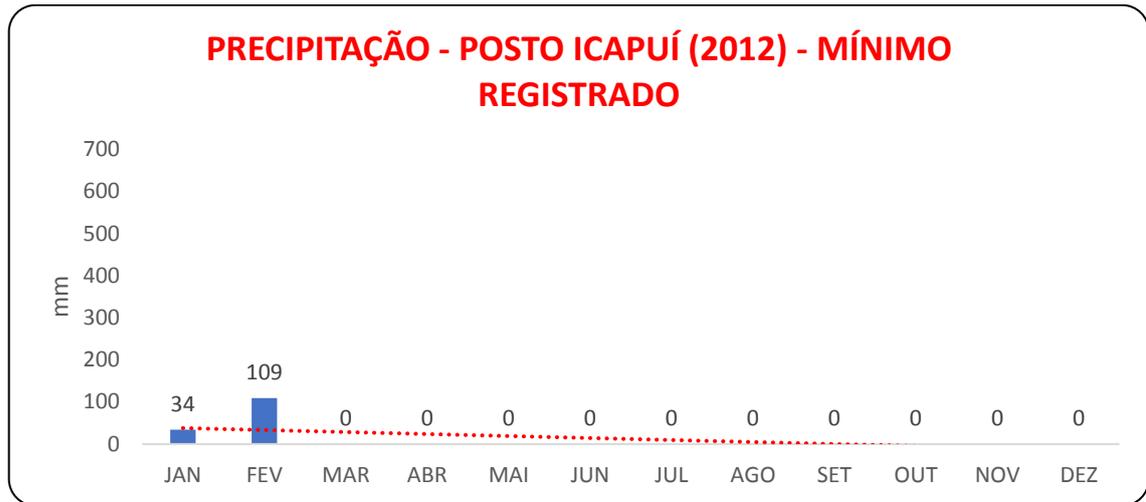


Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos- FUNCEME, 2016

Segundo FUNCEME (2010) choveu 59% a mais que a média no Estado durante a quadra chuvosa de 2009, o que pode ser explicado por um aquecimento anormal causado no Atlântico Sul, proporcionando assim níveis de chuva acima da média para a região. Em 2012

o baixo registro de precipitações foi notório em todo o Estado, sendo marcado pela irregularidade espacial e temporal dessas precipitações, estando as observações 50,7 % abaixo da média histórica. Tal fato pode ser observado também em Icapuí, onde foram observados apenas 143 mm em todo o ano, tendo fevereiro apresentado o maior registro, 109 mm (Gráfico 7).

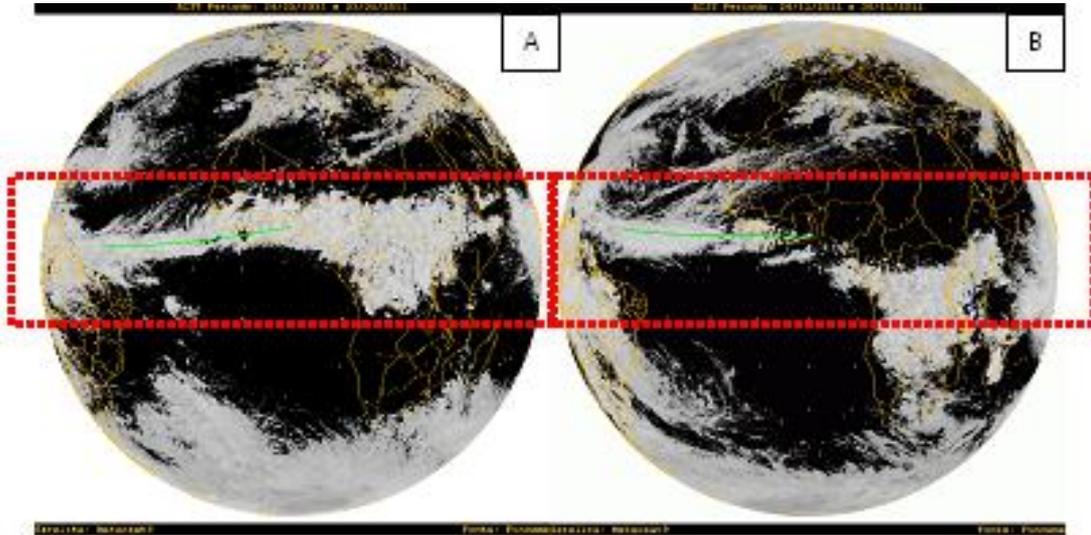
Gráfico 7: Precipitação acumulada registrada no Posto de Icapuí para o ano de 2012



Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos- FUNCEME, 2016

Isto pode ser explicado pelo fato de que mesmo sendo um ano marcado pela atuação do fenômeno La Niña no Atlântico Sul, o que normalmente é um indicativo de chuvas mais regulares no Estado, houve uma indefinição da temperatura do oceano causando um distanciamento da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, que é o principal sistema causador de chuvas no Ceará (Figura 14).

Figura 14: Zona de Convergência Intertropical – ZCIT sobre a região do Equador. A: Atuação da ZCIT no primeiro semestre; B: Atuação da ZCIT no segundo semestre



Fonte: Adaptado de Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos- FUNCEME, 2016

A Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, circunda a Terra nas proximidades da região do equador, região que é fortemente marcada pela convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste que são responsáveis por dar origem à uma intensa nebulosidade e baixa pressão atmosférica (ZANELLA,2005). Na região do hemisfério norte, os ventos alísios se movimentam na direção nordeste, enquanto que no hemisfério sul, os ventos alísios vão de sudeste para noroeste, porém, essas direções variam conforme a força de Coriolis, originada pelo movimento de rotação da Terra.

A localização dessa Zona de Convergência Intertropical - ZCIT varia de acordo com as estações do ano, atingindo a sua posição mais ao norte durante o verão no hemisfério norte, e tem sua posição mais ao sul durante os meses de fevereiro, março, abril e maio.

2.3.4. Característica do regime de ventos em Icapuí

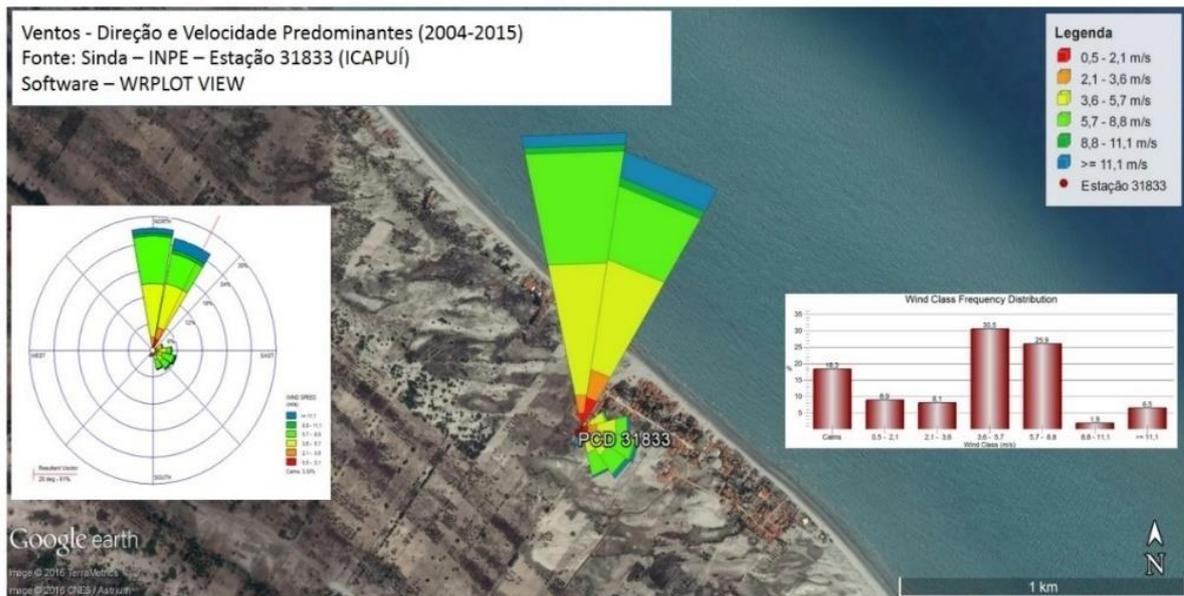
O vento, um dos principais agentes de transporte de material, age como um dos principais fatores na formação e modificação da paisagem e é de fundamental importância para o controle das chuvas, provocadas pela variação da ZCIT sobre a região Nordeste, da direção de ondas e correntes.

Segundo Meireles (2012), as direções predominantes dos ventos incidentes no litoral cearense são de SE, ESE, E e NE. As médias de velocidade chegam a superar os 4,5 m/s, nos meses mais secos, entre julho e novembro podem alcançar 11 m/s. O mesmo autor ainda ressalta

ainda que nos períodos de estiagem há uma predominância dos ventos de SE, esta direção muda com a atuação da ZCIT e o começo da quadra chuvosa, onde registra-se ventos predominantes de nordeste.

A figura abaixo apresenta a localização da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) (Estação Automática de número 31833), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizada nas proximidades da área de estudo, em Icapuí. A base de dados disponibilizados pelo INPE apresenta registros para esta estação a partir de 2004 até 2015, desta forma é possível identificar que para a área em questão há uma grande predominância de ventos incidentes de N e NE, com 34% destes chegando a atingir entre 3,6 e 5,7 m/s e outros 30% que atingem velocidades entre 5,7 e 8,8 m/s, registrados durante o primeiro semestre do ano, os ventos de SE, E e ESE são aparentes no segundo semestre do ano, mas apresentam uma frequência menor em relação aos de N e NE (Figura 15).

Figura 15: Direção e velocidade dos ventos predominantes para a região de Icapuí entre os anos de 2004 e 2015



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2015

2.3.5. Aspectos oceanográficos: ondas e marés

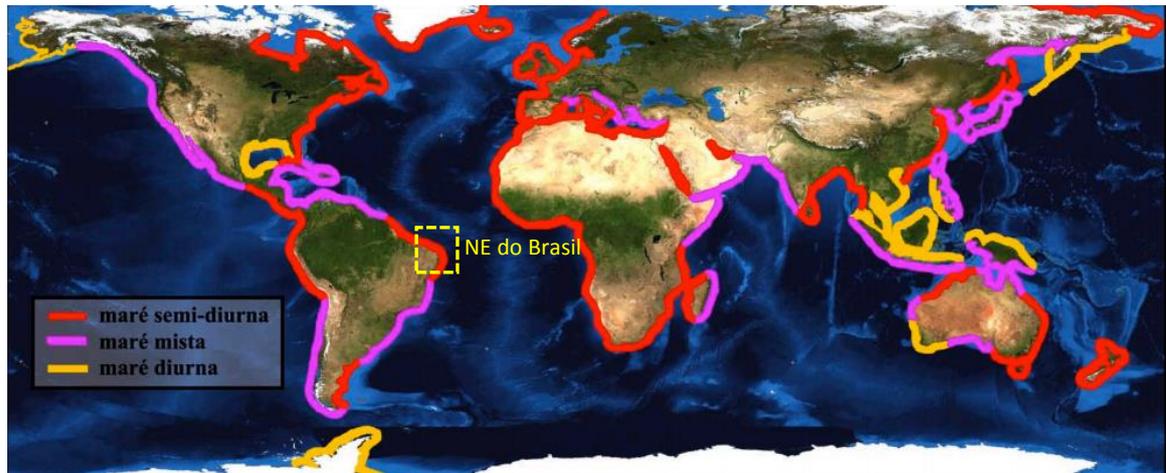
Para um melhor entendimento de como funciona a dinâmica costeira na área em estudo, é necessário examinar os processos físicos que são responsáveis diretamente pela modelagem da morfologia costeira e pela dinâmica sedimentar e marinha (*e.i. marés, ondas e correntes*). Desta forma, foram extraídos dados da base de dados de órgãos como a Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN e do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE. A análise das marés, assim como a dos ventos e das ondas, possui um caráter de fundamental importância quando nos referimos às modificações ao longo do perfil praial, a sua variação entre preamar e baixamar acaba por diretamente influenciar na mobilização dos sedimentos entre a zona de espraiamento e arrebentação.

A maré tem origem através da influência de forças gravitacionais do sistema Sol-Terra-Lua, esse sistema dá origem a dois tipos de maré, as marés de sizígia e marés de quadratura. As marés de sizígia acontecem ocorrem quando as forças dos astros estão alinhadas formando uma linha reta, marcado pelas luas Nova e Cheia e as marés de quadratura ocorrem quando o Sol, a Terra e a Lua formam um ângulo de 90° , assim, a força do Sol é anulada pela força da Lua e ocorrem nas luas crescente e minguante (SOUSA, 2007 e MOURA, 2009)

Segundo Morais (1996) as marés podem ser classificadas quanto à frequência com que ocorrem em:

- Maré diurna: ocorrem apenas uma preamar e uma baixa-mar aproximadamente iguais a cada dia lunar;
- Maré Semi-Diurna: ocorrem duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar (24h 50 min.);
- Maré mista: normalmente ocorrem duas preamares e duas baixa-mares com grande diferença de altura entre as mesmas (figura 16).

Figura 16: Distribuição dos tipos de marés ao longo do globo terrestre



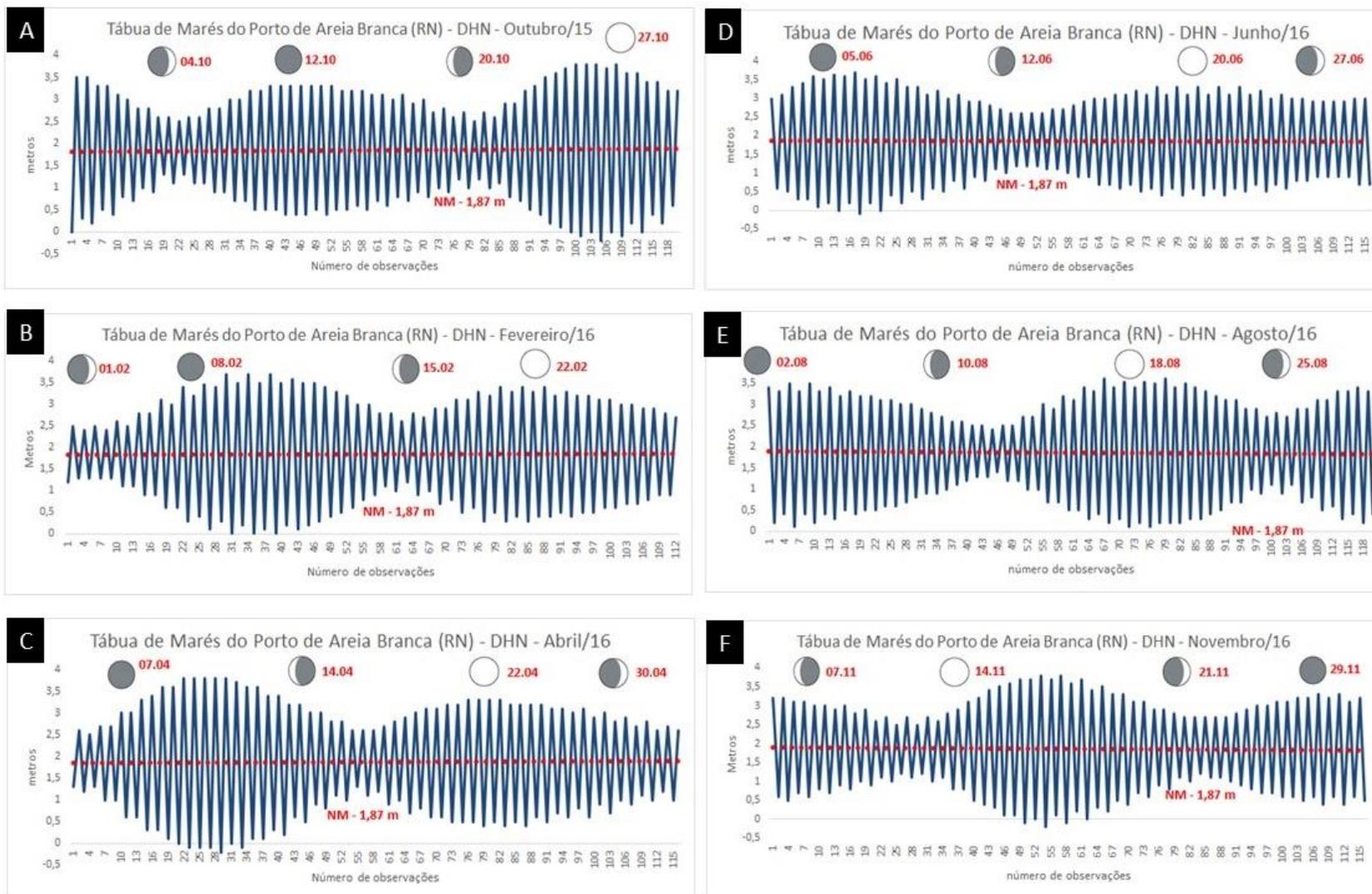
Fonte: Modificado de APRH, 2016

As marés ainda podem ser classificadas quanto à sua amplitude, desta forma *Davies* (1964) destaca:

- Ambientes de micromaré: variações na maré menores que 2 metros;
- Ambientes de mesomaré: variações na maré entre 2 e 4 metros;
- Ambientes de macromaré: variações na maré maiores que 4 metros.

Assim, no Ceará as marés são do tipo semi-diurna com características de ambientes de mesomaré, com amplitude média de aproximadamente 3,2 m (MORAIS, 1981; MAIA 1998; PINHEIRO *et al* 2016). As figuras abaixo mostram as previsões para a tábua de marés do Porto de Areia Branca (RN), marégrafo mais próximo à área de estudo em questão, foram destacados os registros para os meses onde foram realizados os trabalhos de campo (Figura 17).

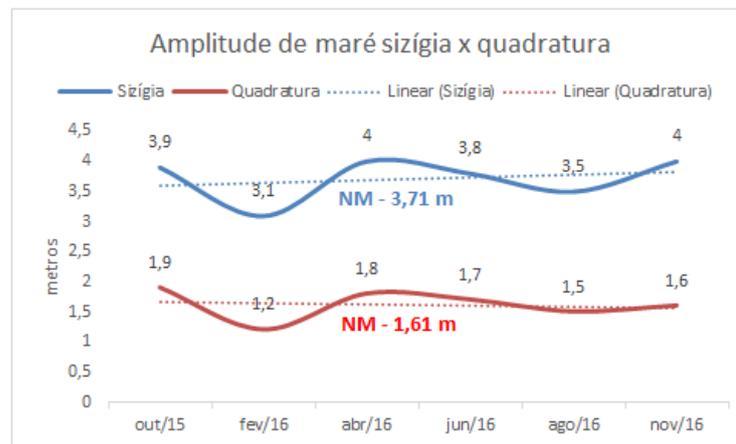
Figura 17: Condições de maré durante os meses dos experimentos de campo em Icapuí.



Fonte: Dados da Tábua de Marés do Porto de Areia Branca para o ano de 2016, Rio Grande do Norte, Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, Marinha do Brasil.

As marés na área podem chegar aos 4 m na sizígia, com média de 3,7 m, conforme registrado nos meses de abril e novembro de 2016, nas marés de quadratura os valores atingem um máximo de variação de 1,9 m, com média de 1,61 m, registrado no mês de outubro de 2015 (Gráfico 8).

Gráfico 8: Amplitude de marés registradas ao longo dos trabalhos de campo



Fonte: Dados da Tábua de Marés do Porto de Areia Branca para o ano de 2016, Rio Grande do Norte, Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, Marinha do Brasil.

A hidrodinâmica existente ao longo da praia, emersa e submersa, é resultante da interação das ondas incidentes, permanentes e aperiódicas e dos fluxos gerados por ondas e marés. Esse movimento gera um atrito sobre os sedimentos dos quais passam a serem carregados em suspensão, causando gradientes espaciais e temporais no seu percurso. Desta forma, à medida que esse processo produz determinadas morfologias, indica que a morfologia e hidrodinâmica evoluem em conjunto, a recorrência de tempestades, a energia e a intensidade dessas ondas também influem sobre o acúmulo de sedimentos na linha de costa (WRIGHT & SHORT, 1984; MUEHE, 1998, MUEHE, 2014).

Ainda sobre a importância das ondas na modelagem costeira, Moura (2009) afirma que as ondas constituem a forma da superfície da água, ou seja, uma deformação da superfície de um corpo d'água provocada principalmente pela ação do vento e são consideradas o principal fator de modelagem das zonas costeiras, pois ao chegarem à praia dão origem a um movimento resultante chamado corrente longitudinal que realiza o transporte de sedimentos, chamada também de deriva litorânea.

Segundo Morais (1996), as ondas são caracterizadas principalmente pela sua forma, que deriva do vento. A movimentação orbital é originada a partir da atuação de duas forças, a

potencial e a cinética. A crista é o ponto mais alto e a depressão o ponto mais baixo. A altura é a distância vertical entre cristas e as depressões e a amplitude mostram a variação da altura, correspondendo metade desta. E por fim, o comprimento é a distância entre duas depressões ou duas cristas e o período é o tempo necessário para duas cristas passem em um ponto, sendo a frequência variável que quantifica o número de cristas ou depressões que passam em um ponto por segundo.

As ondas ainda podem ser classificadas por tipo comprimento e período de acordo com MAIA (1998):

- *Sea*: são caracterizadas pelo pequeno e diferente comprimento de ondas, com direções variadas e períodos e direções;
- *Swell*: são caracterizadas pela distância de onde são originadas, podendo se propagar por grandes distâncias, apresenta grandes comprimentos de onda e pequenas amplitudes, tendo seu período acima dos 10 segundos.

Pinheiro *et al* (2016) ressalta que no Ceará, as ondas do tipo *Sea* são as mais predominantes, cerca de 80%, com períodos que variam entre 1 e 9 segundos, o *Swell* é aparente em 20% das ondas que incidem sobre o litoral do Estado e apresentam períodos acima dos 10 segundos, sendo mais atuantes durante os meses de dezembro e abril.

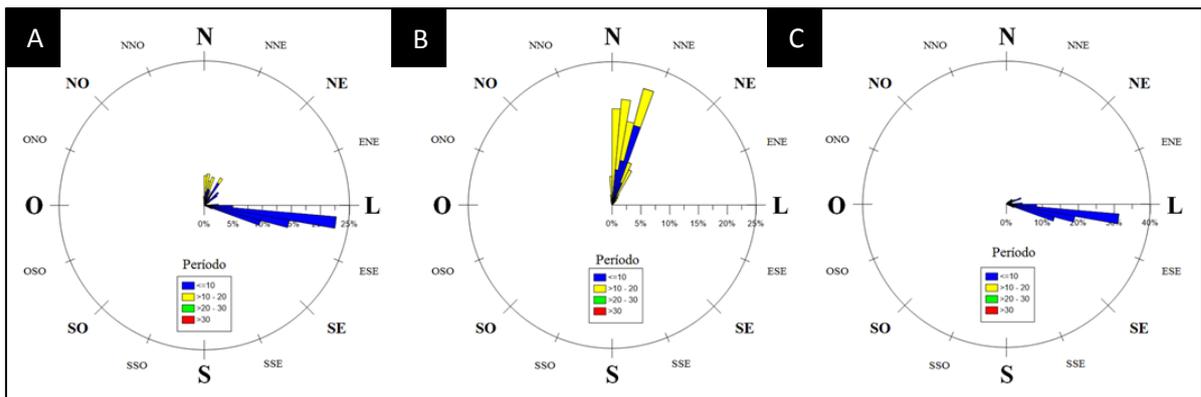
A base de dados é oriunda do modelo de ondas *Wavewatch*, em sua terceira versão, desenvolvido pelos laboratórios do *National Centers for Environmental Prediction – NCEP* da *National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA* dos Estados Unidos. A sua primeira versão foi desenvolvida pela Universidade de Delft na Holanda e a segunda pela americana *National Aeronautics and Space Administration – NASA*.

O *Wavewatch* III lançado em 2014 apresenta algumas melhorias em relação às suas versões anteriores com a inclusão da refração e das forçantes dos campos de onda, em meio às variações temporais e espaciais da profundidade média da água e as correntes médias, em sua versão 3.14 o modelo passa a ser aplicado para águas extremamente rasas, ou seja, zona de arrebentação (TOLMAN, 2009; TOLMAN, 2014). Assim, com as melhorias e ajustes disponibilizados pelo *Surfguru*, implementando uma grade de $\frac{1}{4}$ de grau (15 minutos) através de uma máquina de 32 processadores da Intel, é possível ter uma precisão para a costa brasileira melhor do que a que é entregue pelo NOAA atualmente. O modelo ainda permite a

diferenciação entre ondas do tipo *Swell* e do tipo *Sea*. Para a caracterização das ondas incidentes em Icapuí foram utilizados os dados disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INP) e pelo site Surf guru, onde mesmo o apresenta dados climáticos e oceanográficos para todo o litoral brasileiro dos últimos 10 anos (Quadro 10 e Quadro 11).

Para fins de caracterização da área, foram detalhados a seguir os dados completos para o ano de 2015 (Gráfico 10), início dos trabalhos de campo. Durante o ano, as ondas na área apresentam uma direção predominantes de E e ESE, mas ainda com a presença, em menor proporção, de ondas oriundas dos quadrantes N, NNE e NE. Na região as ondas do tipo *Swell* possuem direções predominantes de N, NNE e as ondas do tipo *Sea* possuem suas direções predominantes de E e ESE (Gráfico 9).

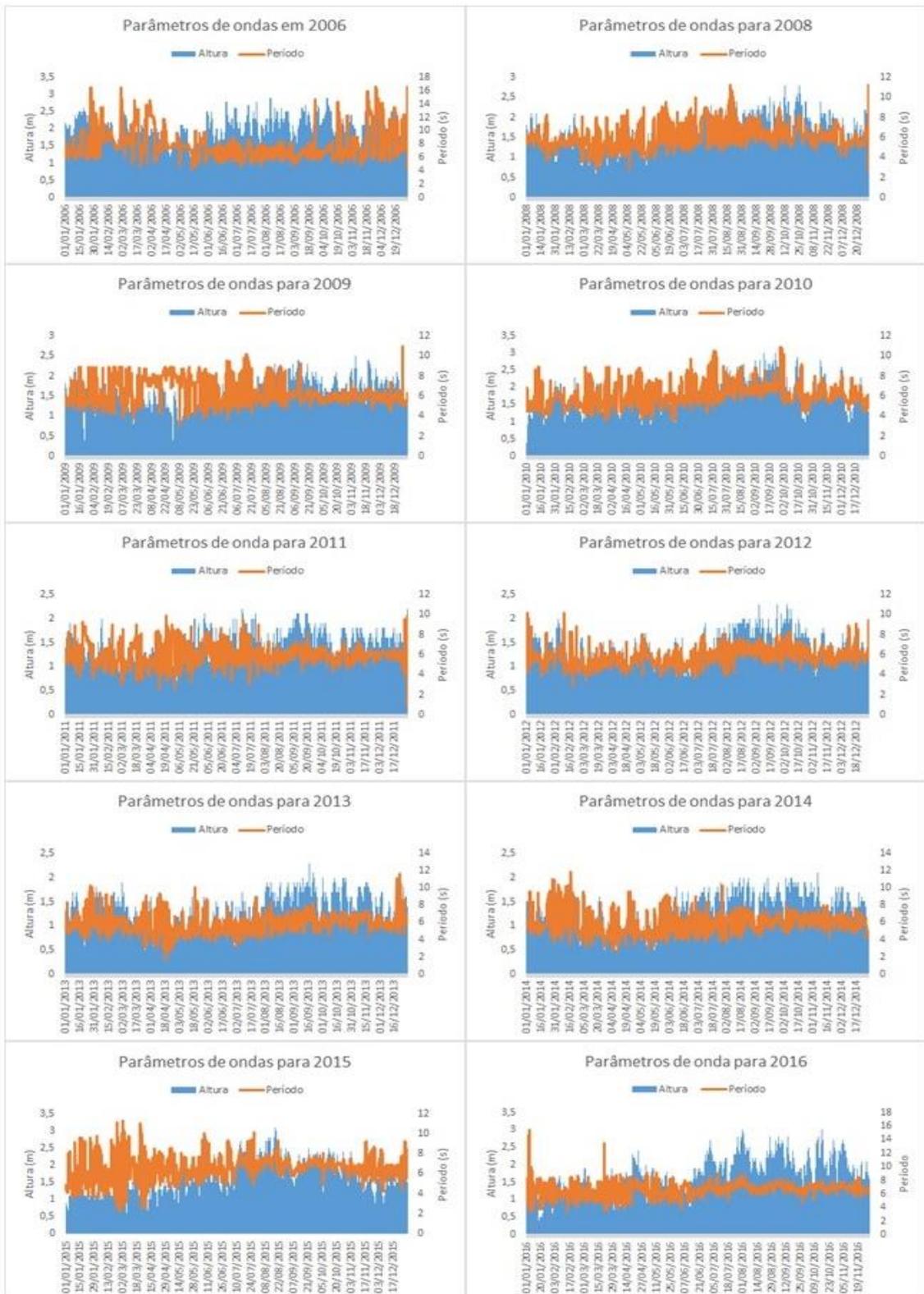
Gráfico 9: Direção e período de ondas para o ano de 2015. A) Altura Significativa (H_s), B) Swell e C) Sea



Fonte: Modelo de ondas Wavewatch III – NOAA, Surf guru, CPTEC/INPE.

A altura significativa (H_s) média das ondas foi de 1,64 m, com máximas de 3,1 m e mínimas de 0,80 m e período médio de 8,2 s, máximo de 17,9 s e mínimo de 4,6 s. A altura média das ondas do tipo Swell foi de 0,72 m, com máximas de 2 m e mínimas de 0,20 m, e período médio de 11,2 s, com máximo de 11,2 s e mínimos de 5,9 s, atingiram seus valores máximos principalmente entre os meses de dezembro e abril. A altura média das ondas Sea foi de 1,44 m, com um máximo atingido de 3,1 m e mínimo de 0,10 m e com período médio de 6,6 s, máximo de 11,3 s e mínimo de 2,2 s com seus picos de altura registrados entre os meses de abril e novembro (Gráfico 10).

Gráfico 10: Dados de ondas do modelo Wavewatch III para a região de Icapuí entre 2006 e 2016 de janeiro a dezembro (esquerda – direita). Não há dados referentes ao ano de 2007 no banco de dados disponibilizado para a área.

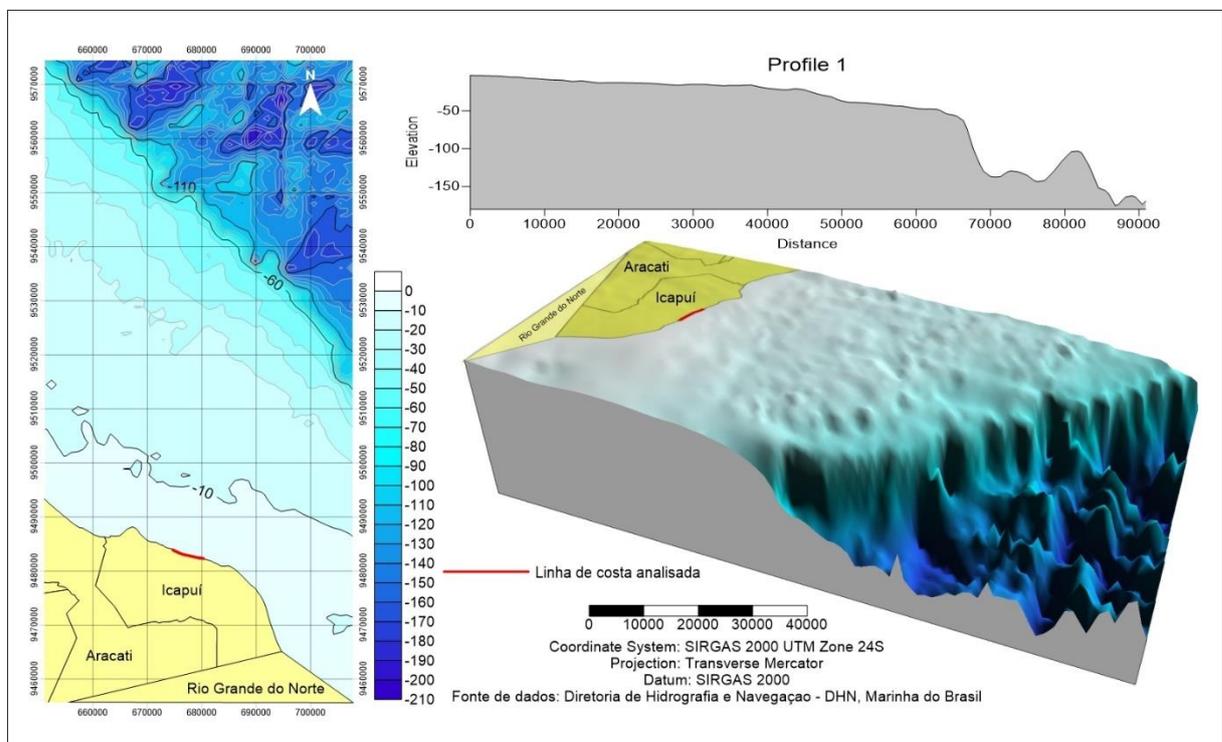


Fonte: Modelo Wavewatch III.

Uma particularidade importante quando se trabalha com a dinâmica e interação entre as ondas incidentes em uma região é a importância de se levar em consideração a análise das formas de fundo à qual a praia em questão está e isto acaba não se tornando um padrão na maioria dos trabalhos que tratam de estudos em praias arenosas (BELLIGOTTI, 2009). A região do litoral de Icapuí apresenta uma configuração batimétrica que foi resultante inicialmente dos processos tectônicos que influenciaram a atual configuração das margens continentais do Brasil, e que passaram por uma série de modificações ao longo das oscilações do nível dos oceanos ao longo do tempo, contribuindo assim para a acumulação de sedimentos o que deu origem à nossa atual plataforma continental.

A área em questão apresenta uma plataforma continental com distância média até o talude continental em torno de 41 km, e com um baixo gradiente de elevação, ou seja, uma plataforma continental plana e rasa ao longo de toda a sua extensão (MORAIS, 2000). A batimetria referente à área de estudo encontra-se representada na figura 18, onde pode-se notar uma plataforma continental rasa e extensa, tal fato se mantém refletido também na parte emersa e submersa contígua ao trecho de linha de costa analisado.

Figura 18: Mapa batimétrico da área defronte ao Município de Icapuí.



Fonte: Base de dados fornecido pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN, Marinha do Brasil.

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1. A ZONA COSTEIRA: DEFINIÇÃO, DELIMITAÇÃO E ASPECTOS LEGAIS

Sendo o foco principal o ambiente costeiro cujo qual o Município de Icapuí se insere, devemos primeiramente contextualizar a dinâmica presentes nos sistemas costeiros, bem como suas principais características e processos atuantes, relacionando-os com a suas definições, sejam elas ambientais ou legais.

Sendo assim, entende-se por Zona Costeira, no que se refere à sua espacialidade, uma área dotada de uma série de sistemas ambientais altamente complexos que são originados através da interação entre os oceanos, os continentes e a atmosfera. A partir dessa complexidade, surgem os grandes atrativos atrelados às inúmeras potencialidades características destas regiões (DIAS, 2005). Nos últimos anos um novo fator passou a ser fundamental na análise das interações relativas aos sistemas ambientais que compõem a Zona Costeira: a atuação antrópica e suas influências na dinamicidade destes ambientes.

Segundo Santos & Câmara (2002) e Meireles & Santos (2012) a grande diversidade de ecossistemas presentes na Zona Costeira: mangues, campos de dunas e falésias, e estuários, recifes e corais, praias e cordões arenosos, costões rochosos e planícies de marés, conferem a ela diversas situações que são favoráveis às atividades econômicas, como por exemplo, a pesca, a agricultura, a aquicultura, a exploração de recursos minerais e o turismo. Desta forma, nota-se que os ambientes naturais existentes na zona costeira se encontram profundamente alterados em todo o País.

Partindo desse pressuposto, Moraes (2007) em seu livro afirma que em virtude do processo de ocupação do território brasileiro ter se originado do litoral para o interior gerou um processo pontual de ocupação no nosso litoral, havendo áreas de elevado adensamento populacional ao mesmo tempo em que existem áreas de povoamento disperso ao longo de toda a costa.

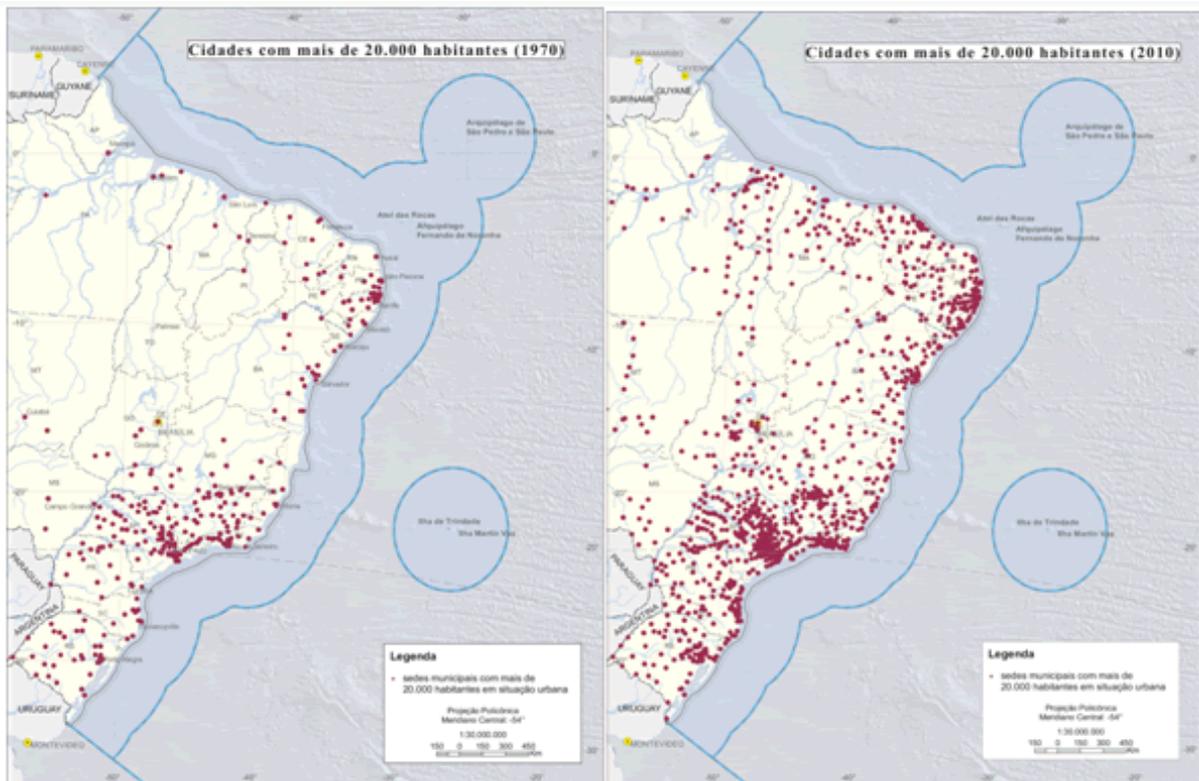
O mesmo autor *op.cit.* aponta que este processo influenciou no desenvolvimento e evolução de conturbados meios urbanos, originando em uma série de descasos com o meio ambiente, onde há carência de serviços urbanos básicos, configurando-se assim em áreas críticas que passaram a serem alvos do planejamento ambiental da zona costeira no Brasil. A relação entre essas áreas de considerável adensamento populacional convivendo com áreas de

povoamento disperso são povoadas pelas comunidades de pescadores artesanais, tribos indígenas e outros gêneros considerados tradicionais (MORAES, 2007).

O Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil, desenvolvido pelo IBGE e Marinha do Brasil aponta que em 2011 cerca de 26,6% da população brasileira mora em municípios litorâneos, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes. Essa população encontra-se ocupada em atividades que estão, direta ou indiretamente, ligadas às atividades turísticas, pesca, produção de petróleo e gás natural, além de outros serviços que atendem à dinamicidade da economia gerada nestas localidades e região próxima.

Ao analisarmos a figura 19 é possível notar esse crescimento populacional entre as décadas de 1970 e 2010 no Brasil. Tal fato é notório nas proximidades das grandes regiões metropolitanas e claramente acompanharam o seu desenvolvimento, como no caso da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF, como melhorias ao longo do litoral leste do Estado que impulsionaram novas formas de uso destes espaços ao longo das décadas.

Figura 19: Evolução da ocupação ao longo do litoral do Brasil entre os anos de 1970 e 2010



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE 2011.

O crescimento desta importância está relacionado principalmente às tendências de crescimento e desenvolvimento de estruturas populacionais que estão de certa forma ligadas ao comércio mundial e a tendência de crescimento populacional nestas áreas litorâneas (NEUMANN, 2015).

Vários são os estudos que tratam do crescimento vertiginoso nas zonas costeiras no Brasil e no mundo nas últimas décadas e seus impactos associados, trabalhos como os de Morais (1980); Bird (1985); Pinheiro (2000); Muehe (2001); Woodroffe, (2002); Small & Nicholls (2003); Pollete & Pogetti(2003); Neumann (2015); Moura (2012); Paula (2012) e Paula (2015).

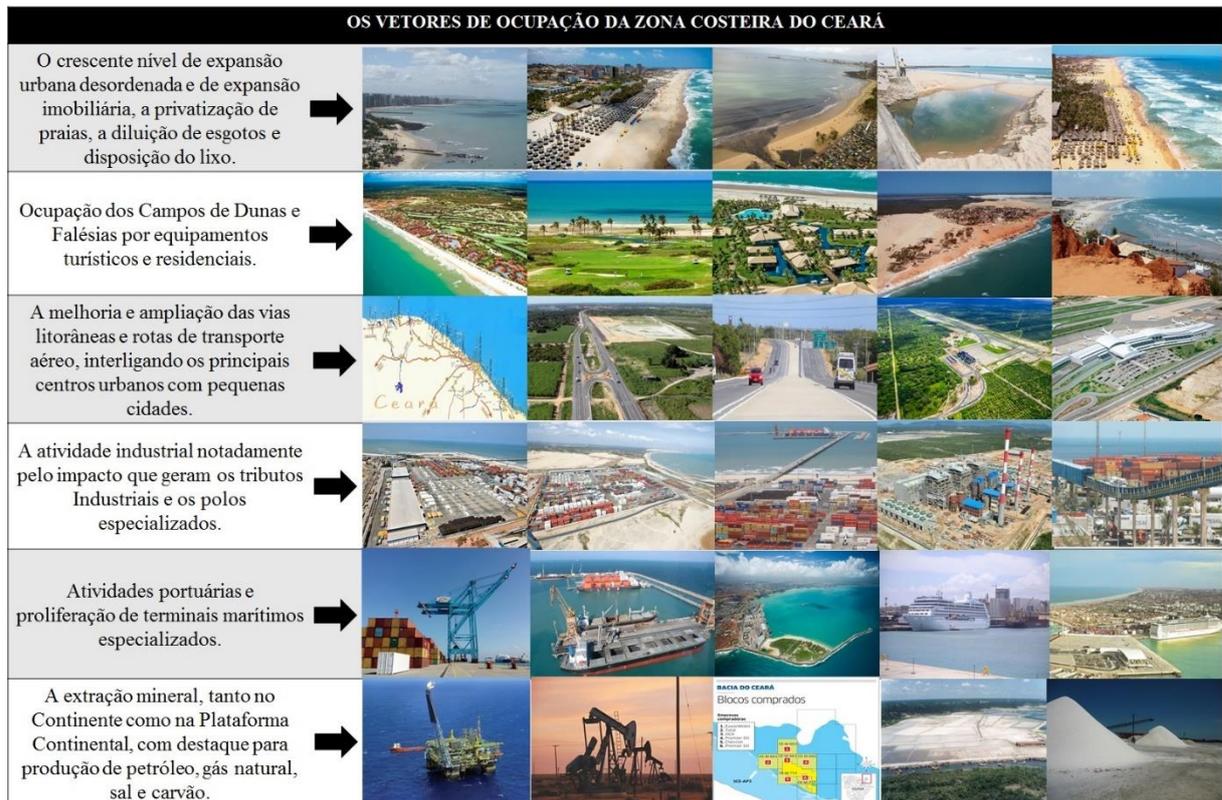
Desta forma fica claro que a densidade populacional é significativamente maior nas zonas costeiras do que em áreas mais afastadas da costa. Mcgranaham (2007) e Smith (2011) afirmam em seus estudos que as taxas de desenvolvimento econômico das áreas litorâneas é em muito superior às das áreas mais afastadas da costa e que este crescimento impulsiona em muitos casos uma imigração acima do normal. Vale ressaltar que esse crescimento não é uniforme conforme observado por Seto (2011), os números podem variar de região para região, os maiores números desse crescimento podem ser encontrados na Ásia e Índia e os menores ao redor da Europa, América do Norte e Oceania, fato que pode ser explicado pela existência de megacidades associadas à região costeira e que não possuem mais espaços para se expandirem.

Não devemos esquecer ainda que vários são estudos que relacionam essa proximidade da ocupação no litoral com problemas relacionados às mudanças globais, principalmente aquelas que se referem variação do nível do mar até o ano de 2100, estudos como o do IPCC (2012), Church et al (2013), IPCC (2014) e Nicholls (2014) apontam que aumento em até 1m no nível atual dos oceanos pode ocasionar em severos impactos, não só de ordens estruturais, mas de ordem econômicas e sociais.

Em virtude desse cenário global, não é incomum destacarmos uma série de impactos causados por vetores que estão relacionados à esse crescimento da pressão descontrolada sobre a zona costeira, que vai desde a supressão de culturas tradicionais, como a pesca, contaminação do lençol freático e demais corpos hídricos, diminuição dos recursos minerais, supressão da vegetação do litoral, supressão de ambientes estuarinos, diminuição dos campos de dunas e erosão costeira provocada por ocupações irregulares e outros tipos de estruturas antrópicas, alteração da linha de costa e intrusão salina (NICHOLLS, 2010; BROWN et. Al, 2013 e HALLEGATE, 2013).

Nota-se um interessante aspecto associado aos tipos de usos desses espaços e dos recursos ambientais aferidos pela Zona Costeira, encontram-se nesses locais os mais variados problemas no tocante a gestão ambiental, demandando ações de caráter corretivo por parte dos órgãos públicos interferindo nos “múltiplos conflitos de uso” dos espaços costeiros (SOUZA, 2003) (Figura 20).

Figura 20: Vetores de ocupação da zona costeira do Estado do Ceará.



Fonte: Adaptado de Campos et al., 2003 : Google Imagens.

A evolução das ocupações ao longo do litoral e suas consequências levou ao surgimento do “The Coastal Zone Management Act” em 1972 nos Estados Unidos e se tornou o primeiro documento e instrumento político com vistas ao gerenciamento e planejamento das regiões costeiras (POLETTE E PAGETTI SILVA, 2003).

O autor op.cit. aponta que o conceito de Gerenciamento Costeiro Integrado – CGI passou por grandes reveses ao longo da década de 1980, mesmo tendo sido reconhecido por diversos países como ferramenta que levaria a um desenvolvimento sustentável das Zonas Costeiras. O documento gerado e suas diretrizes não se firmaram de maneira eficaz no primeiro momento, necessitando ainda de um maior entendimento destes ambientes e da sua dinâmica

associada com um novo momento da sociedade global. Isto se deu, em muito, na necessidade de uma grande articulação política e diferentes jurisdições ao longo das zonas costeiras com diferentes escalas governamentais.

No Brasil, ao que se refere aos aspectos legais, a Resolução 1, de 21/11/90 da Comissão Interministerial para Recursos do Mar (CIRM), aprovou o Primeiro Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (BRASIL, 1988) definindo legalmente a Zona Costeira como sendo:

“... a área de abrangência dos efeitos naturais resultantes das interações terra/ar/mar, leva em conta a paisagem físico-ambiental, em função dos acidentes topográficos situados ao longo do litoral, como ilhas, estuários e baías, comporta em sua integridade os processos e interações características das unidades ecossistêmicas litorâneas e inclui as atividades socioeconômicas que aí se estabelecem. ”

O plano passou a ser fundamental nas questões que envolvem a preocupação da união e da sociedade quanto ao uso sustentável dos recursos naturais existentes na zona costeira do país, que por motivos que envolvem a própria colonização e crescente ocupação irregular tem causado sérias consequências ao meio ambiente. Segundo Moura (2009) a implantação do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro foi fundamental para a conscientização não só do estabelecimento de medidas contra a erosão costeira, mas também para a gestão nos municípios litorâneos, visando um ordenamento da ocupação destes espaços litorâneos.

Estruturação do PNGC se dá a partir da seguinte forma: Introdução, onde se passou a justificar as preocupações relativas às formas de uso e ocupação do litoral, o mesmo assim destaca:

“A maior parte da população mundial vive em Zonas Costeiras, e há uma tendência permanente ao aumento da concentração demográfica nessas regiões. A saúde, o bem-estar e, em alguns casos, a própria sobrevivência das populações costeiras depende da saúde e das condições dos sistemas costeiros, incluídas as áreas úmidas e regiões estuarinas, assim como as correspondentes bacias de recepção e drenagem e as águas interiores próximas à costa, bem como o próprio sistema marinho. Em síntese, a sustentabilidade das atividades humanas nas Zonas Costeiras depende de um meio marinho saudável e vice-versa”

Da mesma forma, ainda são dirigidas as bases da atualização do Plano, o chamado PNGC II, cujo qual é baseado em documentos oriundos das novas demandas surgidas a partir da década de 1990, mais precisamente em 1992 na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, mais conhecida por Rio-92. Podemos destacar como bases

fundamentais para essa atualização a “Declaração do Rio sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento” e a “Agenda 21”. Posterior a isso passou a definir as áreas de abrangência do plano, ou seja, foram definidos e listados todos os municípios da zona costeira brasileira, aplicando e desenvolvendo o Zoneamento Econômico Ecológico (ZEE) e os planos de Gerenciamento Costeiros Estaduais e Municipais, assim como os demais instrumentos (Quadro 4).

Quadro 4: Detalhamento dos Instrumentos que compõem o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC.

INSTRUMENTOS DO PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO	
Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC):	Deve ser criado através de legislação específica, com base no Plano Nacional e incluir a definição de responsabilidades e procedimentos para sua aplicação.
Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (PMGC):	Deve ser elaborado de acordo com o Plano Estadual, também através de legislação específica e estreitamente relacionados às políticas de uso e ocupação do solo municipais.
Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro (SIGERC):	Componente do Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente, com o intuito de criar um banco de dados e um sistema de informações geográficas da zona costeira.
Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira (SMA-ZC):	Trata-se de uma estrutura operacional para coleta de dados e informações.
Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira (RQA-ZC):	Onde serão consolidados os resultados obtidos no monitoramento, elaborado pela Coordenação Nacional do Gerenciamento Costeiro (COGERCO) com base nos RQA-ZCs elaborados pelas coordenações estaduais.
Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro (ZEEC)	Diagnóstico ambiental da Zona Costeira.
Plano de Gestão da Zona Costeira (PGZC):	Abrange estratégias e ações programadas elaboradas com a participação da sociedade com o objetivo de orientar o gerenciamento da zona costeira; elaborado em nível federal, estadual e municipal.

Fonte: Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGCO. PNGC - Lei 7.661/88.

E por fim foi criado também o *GI-GERCO, Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro* no âmbito da CIRM. Onde são legalizadas as fontes de recursos, o que inclui doações e legados, agências nacionais e internacionais de financiamento e o Fundo Nacional de Meio Ambiente, além dos recursos da União e dos Estados costeiros.

Mediante ao avanço nas políticas públicas ligadas ao Gerenciamento Costeiro, o Ministério do Meio Ambiente, através da sua Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos – SQA e a Secretaria de Patrimônio da União – SPU/MP, deram origem ao Projeto Orla, que atualmente é o principal esforço governamental no ordenamento destes espaços. O Projeto visa não somente o ordenamento da ocupação ao longo da faixa litorânea, como também mitigar os impactos causados ao longo do tempo, como por exemplo, o recuo da linha de costa em uma ação conjunta entre as esferas Federal, Estadual e Municipal (PROJETO ORLA, 2006).

A definição de orla marítima proposta por Muehe (2001) e Muehe (2006) que a define como uma unidade geográfica que está inclusa na Zona Costeira, sendo delimitada pela faixa de interface entre a terra e o mar. Desta forma, a orla marítima passa a ter seus limites estabelecidos no Projeto seguindo os seguintes parâmetros (Quadro 5, 6 e Figura 21).

Quadro 5: Delimitação genérica de acordo com o Projeto Orla.

Na Zona Marinha	Na Zona Terrestre
Até a isóbata de 10 metros (assinaladas em todas as cartas náuticas), profundidade na qual a ação das ondas passa a sofrer influência da variabilidade topográfica do fundo marinho, promovendo o transporte de sedimentos. Sendo essa referência podendo ser alterada desde que, no caso, da redução da cota, haja um estudo comprovando a localização do limite de fechamento do perfil em profundidades inferiores.	50 (cinquenta) metros em áreas urbanizadas ou 200 (duzentos) metros em áreas não urbanizadas, demarcadas na direção do continente a partir da linha de preamar ou do limite de ecossistemas, tais como as características por feições de praias, dunas, áreas de escarpas, falésias, costões rochosos, restingas, manguezais, marismas, lagunas, estuários, canais ou braços de mar, quando existentes, onde estão situados os terrenos de marinha e seus acrescidos.
DELIMITAÇÕES	
Terrenos de Marinha	Contar 33 metros a partir da linha de preamar.
Para orla não urbaniza	Contar 200 metros a partir da duna frontal ou final da praia.
Para orla urbanizada	Contar 50 metros a partir da duna frontal ou final da praia.

Fonte: Projeto Orla, 2006.

Além dessa referência geral de delimitação, cabe especificar critérios aplicáveis em algumas situações geográficas bastante recorrentes no litoral brasileiro (Quadro 7).

Quadro 6: Delimitações em situação específicas de acordo com o Projeto Orla.

CASOS	DELIMITAÇÕES
Em falésias sedimentares	Contar 50 metros a partir da borda da falésia.
Em lagunas e lagoas costeiras	Contar 50 metros a partir da praia ou do limite superior da margem.
Nos estuários	Tomar o limite de 50 metros contados a partir do fim da praia ou da borda superior em ambas as margens e ao longo das mesmas, até onde a penetração da água do mar seja identificada pela presença de salinidade mínima de 0,5
Nas falésias e costões em rocha dura	O limite deverá ser definido segundo o plano diretor do município, estabelecendo uma faixa de segurança de pelo menos 1 metro de altura acima da linha máxima de ação das ondas de tempestade.
Nas áreas inundáveis	O limite será definido pela cota de pelo menos 1 metro de altura acima do limite da área alcançada pela preamar de sizígia.
Nas áreas sujeitas à erosão	Com substratos sedimentares (como cordões litorâneos, ilhas-barreira ou pontais, com larguras inferiores a 150 metros), bem como em áreas próximas a desembocaduras fluviais, que correspondem a áreas de alta instabilidade, deve ser executado um levantamento de eventos erosivos pretéritos para a definição da extensão da faixa emersa da orla marítima.

Fonte: Projeto Orla, 2006.

Vale ressaltar que os limites máximos estabelecidos para a orla – 200 metros em áreas não urbanizadas e 10 metros de profundidade no mar, poderão ser alterados, a partir de estudos que indiquem uma tendência erosiva acentuada (com base em taxas anuais para períodos de 10 anos), capaz de ultrapassar rapidamente a largura da faixa proposta. A diminuição dos limites poderá ocorrer quando houver comprovação de tendência progracional da linha de costa (também expressa em estudos de taxas anuais) ou quando se tratar de áreas bem abrigadas, sempre justificando tecnicamente a medida proposta (Figura 21).

Figura 21: Delimitação da orla marítima de acordo com as diretrizes do Projeto Orla



Fonte: Projeto Orla, 2006.

No Ceará, o Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro – GERCO/CE tem por principal objetivo orientar e disciplinar a utilização racional dos recursos ambientais da Zona Costeira de forma a contribuir para a elevação da qualidade de vida da população, promovendo a proteção de seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural.

O programa atua nos 573 km de faixa costeira do Estado do Ceará, compreendendo 33 municípios que foram divididos em quatro setores ocupando uma área total de 20.120 km², são eles a Costa Extremo Oeste, Costa Oeste, Fortaleza e Região Metropolitana e por fim a Costa Leste.

Destes 33 municípios, 20 representam a totalidade da linha de costa do Estado, porém apenas 20% (114,6 Km), representado por quatro municípios (Fortaleza, Aquiraz, Beberibe e Icapuí) apresentam o Plano de Gerenciamento Integrado – PGI. Vale ressaltar que o PGI de Aquiraz se encontra finalizado, porém não homologado, o PGI de Fortaleza encontra-se em revisão com previsão de finalização para março de 2018 e os municípios de Beberibe e Icapuí iniciarão a revisão dos seus PGI's ainda em 2018 (Quadro 7 e Figura 22).

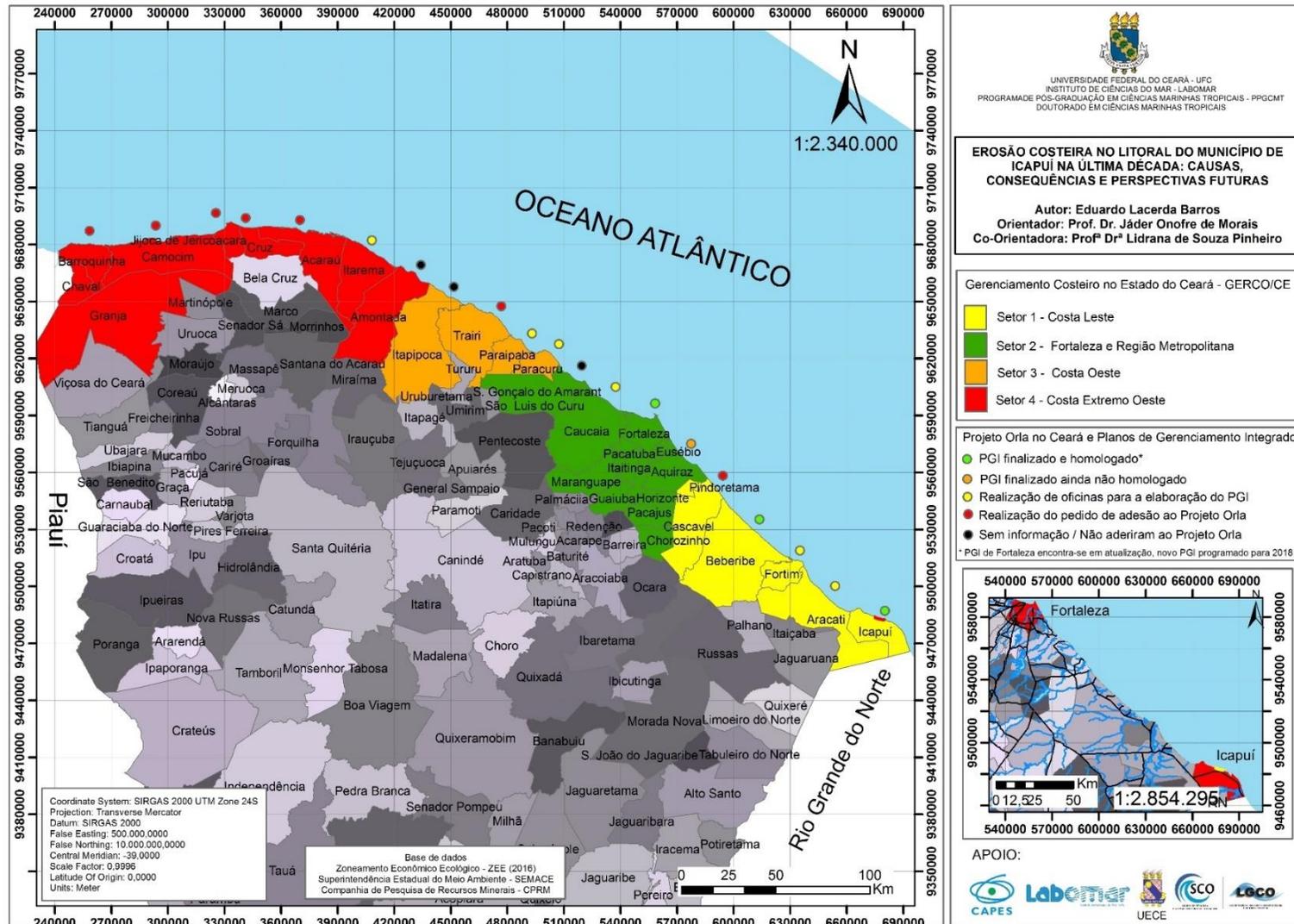
Quadro 7: Situação do Projeto Orla no Estado do Ceará.

MUNICÍPIO	SETOR	FINALIZADO/ HOMOLOGADO	FINALIZADO /NÃO HOMOLOGADO	EM ELABORAÇÃO	PEDIDO DE ADESÃO	NÃO ADERIRAM AO PROJETO
Barroquinha	1	-	-	-	X	-
Camocim	1	-	-	-	X	-
Jijoca de Jericocoara	1	-	-	-	X	-
Cruz	1	-	-	-	X	-
Acarauá	1	-	-	-	X	-
Itarema	1	-	-	X	-	-
Amontada	1	-	-	-	-	X
Itapipoca	2	-	-	-	-	X
Trairi	2	-	-	-	X	-
Paraipaba	2	-	-	X	-	-
Paracuru	2	-	-	X	-	-
S. Gonçalo do Amarante	3	-	-	-	-	X
Caucaia	3	-	-	X	-	-
Fortaleza	3	X	-	-	-	-
Aquiraz	3	-	X	-	-	-
Cascavel	4	-	-	-	X	-
Beberibe	4	X	-	-	-	-
Fortim	4	-	-	X	-	-
Aracati	4	-	-	X	-	-
Icapuí	4	X	-	-	-	-



Fonte: Projeto Orla e Prefeitura Municipais.

Figura 22: Divisão dos setores da costa do Ceará de acordo com o Gerenciamento Costeiro e situação do Projeto Orla no Ceará



Fonte: Autoria própria

3.2. O AMBIENTE PRAIAL E SUAS CARACTERÍSTICAS

Quando nos referimos à Zona Costeira, o ambiente que mais agrega discussão, tanto na sua definição geográfica e legal, é o ambiente praiial, portanto, neste tópico será dada uma breve caracterização deste ambiente. O Ambiente Praial, ou simplesmente Praia, está inserido na Planície Litorânea que por sua vez está enquadrada dentro da Zona Costeira, desta forma encontra-se definido perante a lei 7.661/88 que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) que expõe:

“... Entende-se por praia a área coberta e descoberta periodicamente pelas águas, acrescida da faixa subsequente de material detrítico, tal como areias, cascalhos, seixos e pedregulhos, até o limite onde se inicie a vegetação natural, ou, em sua ausência, onde comece um outro ecossistema. ”

Seguindo este preceito, Muehe (2006) classifica as praias como feições deposicionais no contato entre a terra emersa e água, constituídas por sedimentos arenosos que são mobilizados pelas ondas, através da deriva litorânea. E que por estar localizada próxima a um corpo d’água passa a ser estabelecido como um espaço de forte atração para atividades lúdicas, como banho de sol, mergulhos, esportes, lazer em geral, e para atividades econômicas, principalmente ligadas ao turismo.

O ambiente praiial pode ainda ser dividido quanto à sua morfologia e apresenta uma série de definições ao longo do mundo, até mesmo podendo ser classificado quanto à sua forma de ocupação dentro dos limites do perfil transversal à linha de costa (MOURA, 2012) (Quadro 8 e Figura 23). Vários são os autores que tratam das subdivisões e dinâmica do ambiente praiial, são eles Dalrymple et al., (1992), Short (1993), Muehe (1995), Muehe (1996), Morais (1996), Suguio (1998), Short (1999), Souza et al, (2005), Sousa (2007). No que se refere à morfologia da praia e suas peculiaridades Morais (1996) e Muehe (1996) aponta as seguintes nomenclaturas.

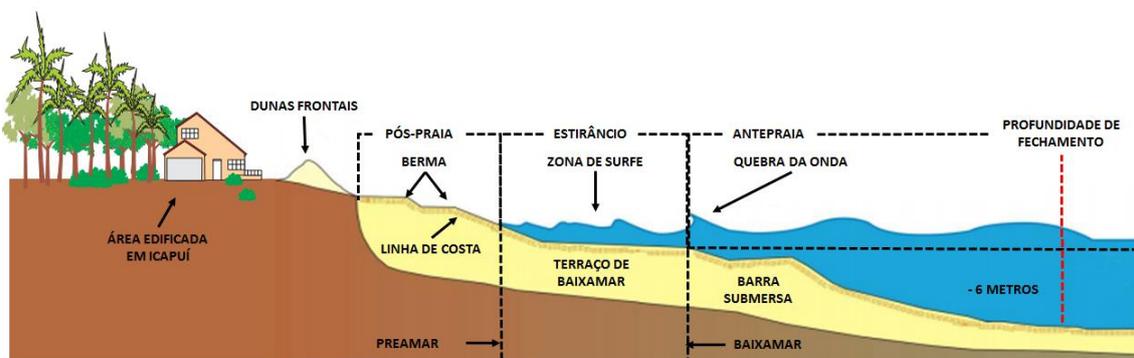
Quadro 8: Setorização do ambiente praiial e respectivas definições e características.

SETOR	DEFINIÇÃO
Pós-Praia	Porção superior limite da praia, área que se estende a partir da linha de maré alta até o contato com o campo de dunas, falésias, linha de vegetação permanente ou terraços marinhos.

<p style="text-align: center;">Berma</p>	<p>Configura-se como o ambiente que se localiza na pós-praia, resultante da deposição efetuada pelas ondas no limite da zona de espraiamento, constituindo elevações planas com mergulho abrupto. Esta dinâmica permite o aparecimento de escarpas praias, que acarreta em uma inclinação maior da praial. Nos estudos que se remetem aos processos erosivos, a análise da berma aparece com uma fundamental importância, pois é uma área com um grande aporte sedimentar, desta forma, uma praia que não apresente um berma bem desenvolvido pode, em muitos casos, ser classificada como uma praia com tendência à erosão (MOURA, 2012)</p>
<p style="text-align: center;">Estirâncio ou Zona Intertidal</p>	<p>É a área da faixa de praia que se apresenta exposta durante a baixamar e submersa durante a preamar. MORAIS (1996) e MUEHE (1996) apontam que em algumas é possível encontrar alinhamentos de beachrocks, arenitos conglomerados, que representam um estágio evolutivo do litoral que se remete à um recuo da linha de costa.</p>
<p style="text-align: center;">Antepraia</p>	<p>É a área da faixa de praia que permanece submersa pelas águas, ficando exposta excepcionalmente em marés de elevada amplitude. O seu limite se dá até onde ocorre a zona de arrebentação das ondas (Profundidade de fechamento), onde a onda tem a seu comprimento reduzido e a altura se eleva para posterior arrebentação (MORAIS, 1996), MUEHE, 1996) e (SUGUIO, 1998).</p>

Fonte: Adaptado de Morais (1996) e Muehe (1996).

Figura 23: Setorização do ambiente praial.

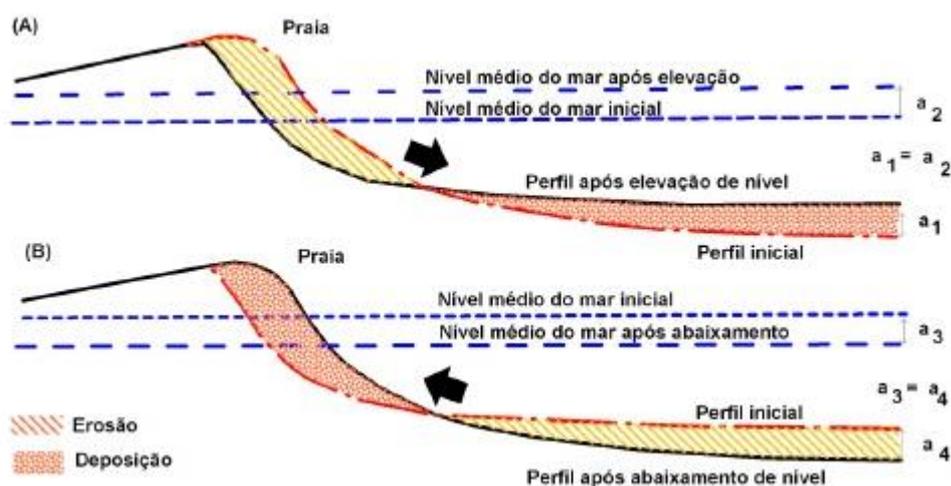


Fonte: adaptado de MORAIS (1996) e MUEHE (1996).

3.3. EROSÃO COSTEIRA: CAUSAS, INDICADORES E ESTUDOS RELACIONADOS

As praias estão em permanente adaptação às condições oceanográficas, meteorológicas e disponibilidade de sedimentos, acarretando em um constante equilíbrio dinâmico, ou seja, a praia sempre perde e recebe sedimento (BRUUN, 1962; BIRD, 1985; LINS-DE-BARROS, 2005) (Figura 24). Desta forma, as alterações ao longo da linha de costa estão ligadas a uma série de fatores, como por exemplo: disponibilidade e tipo de sedimento, largura da praia, volume de sedimentos advindos por descarga fluvial, energia de onda, inclinação do fundo marinho, maré, oscilação do fundo marinho e nível do mar, dentre outros (LINS-DE-BARROS, 2005).

Figura 24: Regra de Bruun: A) Erosão dos sedimentos na porção emersa da praia do perfil praiial e deposição dos mesmos no perfil submerso como consequência da elevação do nível do mar. B) processo inverso.



Fonte: adaptado de Bruun, 1962. Disponível em: <https://image.slidesharecdn.com/12558885-120416100009-phpapp01/95/eroso-praias-de-sp-12-728.jpg?cb=1334571568>

Assim, sendo um processo decorrente de balanço sedimentar negativo, a erosão traz consigo graves consequências para o ambiente praiial e sua consequente redução, provocando desequilíbrios naturais relacionados ao aumento das inundações costeiras em virtude das ressacas, destruição do patrimônio edificado como estruturas turísticas, além da perda do valor paisagístico da região. A erosão costeira e demais riscos associados a este processo devem ser analisados levando em consideração a relação humana com estes espaços, visto que a relação Homem x Mar passou a ganhar mais força a partir da década de 1970 em todo mundo, causando uma acelerada e desordenada urbanização ao longo da orla dos municípios costeiros (LINS-DE-BARROS, 2005),

Ao analisar o processo erosivo ao longo das praias, Komar (1976) aponta que os casos mais frequentes relacionados à processos erosivos ao longo do globo estão ligados diretamente a construção de obras costeiras mal planejadas ou fixação/retirada de sedimentos, o que causa uma alteração na dinâmica sedimentar e conseqüentemente modificações nas relações entre os processos físicos atuantes no ambiente praial. No que se refere aos processos erosivos ao redor do globo, Bird (1985 e 1996) aponta que 20% das linhas de costa de todo o planeta são formadas por praias arenosas, das quais 70% encontram-se em processo predominantemente de erosão, 20% em progradação e os restantes 10% encontra-se em equilíbrio.

Segundo Souza (2009), os estudos sobre a erosão costeira são relativamente recentes e passaram a ganhar mais expressão no final da década de 1980 e início da década de 1990 no Brasil. Os principais trabalhos relacionados a vulnerabilidade à erosão costeira no Brasil estão concentrados principalmente na região Nordeste, litoral dos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul.

Os trabalhos nestas regiões concentram-se no monitoramento de perfis praiais, com duração média de 2 anos e/ou nas análises históricas efetuadas através de conjuntos de fotografias aéreas e imagens de satélite, antigos produtos cartográficos, em áreas próximas a desembocaduras de rios. Estes dois métodos ainda são utilizados os mais utilizados para caracterizar o processo erosivo/progradacional, além de estimar taxas de recuo/progradação da linha costa (SOUZA, 2009).

Arelado a este processo de evolução do estudo da erosão costeira no Brasil passou-se a buscar a relação deste problema com os fatores antrópicos e fatores naturais. Em relação a estes fatores, Souza et al., (2005) e Souza (2009), apontam que as causas da erosão são atribuídas a uma gama de fatores naturais e em alguns casos é agravada pela intervenção antrópica na linha de costa (Quadro 9). Bird (1993) já apontava 20 fatores que contribuem para um balanço sedimentar negativo e conseqüentemente causando a erosão em praias ao redor do globo.

Quadro 9: Indicadores de erosão costeira.

INDICADORES DE EROSIÃO COSTEIRA	
1	Pós-praia muito estreita ou inexistente devido à inundação pelas preamares de sizígia (praias urbanizadas ou não).
2	Retrogradação geral da linha de costa nas últimas décadas, com franca diminuição da largura da praia, em toda a sua extensão ou mais acentuadamente em determinados locais dela (praias urbanizadas ou não).

3	Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, sem o desenvolvimento de falésias (praias urbanizadas ou não).
4	Intensa erosão de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, provocando o desenvolvimento de falésias com alturas de até dezenas de metros (praias urbanizadas ou não).
5	Destruição de faixas frontais de vegetação de “restinga” ou de manguezal e/ou presença de raízes e troncos em posição de vida soterrados na praia, causados pela erosão acentuada ou o soterramento da vegetação devido à retrogradação/migração da linha de costa sobre o continente.
6	Exumação e erosão de depósitos paleolagunares, turfeiras, arenitos de praia, depósitos marinhos holocênicos e pleistocênicos, ou embasamento sobre o estirâncio e/ou a face litorânea atuais, devido à remoção das areias praias por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não).
7	Frequente exposição de “terraços ou falésias artificiais”, apresentando pacotes de espessura até métrica de camadas sucessivas de aterro erodido e soterrado por camadas de areias praias/eólicas, no contato entre a praia e a área urbanizada.
8	Destruição de estruturas artificiais construídas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos, a pós-praia, o estirâncio, as faces praias e litorânea, a zona de surfe/arrebentação e/ou ao largo.
9	Retomada erosiva de antigas plataformas de abrasão marinha, elevadas de +2 a +6 m, formadas sobre rochas do embasamento ígneo-metamórfico pré-cambriano a mesozóico, em épocas em que o nível do mar encontrava-se acima do atual, durante o Holoceno e o final do Pleistoceno (praias urbanizadas ou não).
10	Presença de concentrações de minerais pesados em determinados trechos da praia, em associação com outros indicadores erosivos (praias urbanizadas ou não).
11	Desenvolvimento de embaamentos formados pela presença de correntes de retorno concentradas e de zona de barlar ou centros de divergência de células de deriva litorânea localizados em local (s) mais ou menos fixo (s) da linha de costa.

Fonte: adaptado de Souza (2009)

Ao analisar os estudos propostos por Souza (1997, 1999, 2001), Dominguez (1999) e Souza & Suguio (2003), que classificam as praias quanto as causas naturais e/ou antrópicas do processo erosivo, Souza (2009) aponta vinte causas principais ao longo do litoral do brasileiro, dentre estes, treze estão diretamente relacionados às causas naturais, os sete últimos estão diretamente relacionados às causas antrópicas (Quadro 10 e 11).

Quadro 10: Causas naturais da Erosão Costeira.

CAUSAS NATURAIS DAS EROSÃO COSTEIRA	
1	Dinâmica de circulação costeira: presença de zonas de barlamar ou centros de divergência de células de deriva litorânea em determinados locais mais ou menos fixos da linha de costa (efeito "foco estável").
2	Morfodinâmica praial: praias intermediárias têm maior mobilidade e suscetibilidade à erosão costeira, seguidas das reflexivas de alta energia, dissipativas de alta energia, reflexivas de baixa energia, dissipativas de baixa energia e ultradissipativas.
3	Aporte sedimentar atual naturalmente ineficiente ou ausência de fontes de areias.
4	Fisiografia Costeira: irregularidades na linha de costa (mudanças bruscas na orientação, promontórios rochosos e cabos inconsolidados) dispersando as correntes e sedimentos para o largo; praias que recebem maior impacto de ondas de maior energia
5	Presença de amplas zonas de transporte ou trânsito de sedimentos (by-pass), contribuindo para a não permanência dos sedimentos em certos segmentos de praia.
6	Armadilhas de sedimentos e migração lateral: desembocaduras fluviais ou canais de maré; e feito " molhe hidráulico"; depósitos de sobrelavagem; obstáculos fora da praia (barras arenosas, ilhas, parcéis, arenitos de praia e recifes).
7	Inversões na deriva litorânea resultante causada por fenômenos climáticos - meteorológicos intensos: sistemas frontais, ciclones extratropicais e a atuação intensa do "El Nino/ENSO"
8	Elevações do nível relativo do mar de curto período devido a efeitos combinados da atuação de sistemas frontais e ciclones extratropicais, marés astronômicas de sizígia e elevações sazonais do NM, resultando nos mesmos processos da elevação de NM de longo período.
9	Efeitos atuais da elevação do nível relativo do mar durante o último século, em taxas de até 30 cm: forte erosão com retrogradação da linha de costa.
10	Efeitos secundários da elevação de nível do mar de longo período: Regra de Bruun e migração do perfil praial rumo ao continente
11	Evolução quaternária das planícies costeiras: balanço sedimentar de longo prazo negativo e dinâmica e circulação costeira atuante na época
12	Balanço sedimentar atual negativo originado por processos naturais individuais ou combinados
13	Fatores Tectônicos: subsidências e soerguimentos da planície costeira.

Fonte: adaptado de Souza (2009)

Quadro 11: Causas antrópicas da Erosão Costeira

CAUSAS ANTRÓPICAS DAS EROSÃO COSTEIRA	
14	Urbanização da orla, com destruição de dunas e/ou impermeabilização de terraços marinhos holocênicos e eventual ocupação da pós-praia.
15	Implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa: espigões, molhes de pedra, enrocamentos, píers, quebra-mares, muros, etc., para "proteção costeira" ou contenção/mitigação de processos erosivos costeiros ou outros fins; canais de drenagem artificiais

16	Armadilhas de sedimentos associadas à implantação de estruturas artificiais, devido à interrupção de células de deriva litorânea e formação de pequenas células.
17	Retirada de areia de praia por: mineração e/ou limpeza pública, resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas.
18	Mineração de areias fluviais e desassoreamento de desembocaduras; dragagens em canais de maré e na plataforma continental: diminuição/perda das fontes de sedimentos para as praias
19	Conversão de terrenos naturais da planície costeira em áreas urbanas (manguezais, planícies fluviais/ e lagunares, pântanos e áreas inundadas) provocando impermeabilização dos terrenos e mudanças no padrão de drenagem costeira (perda de fontes de sedimentos).
20	Balanco sedimentar atual negativo decorrente de intervenções antrópicas

Fonte: adaptado de Souza (2009)

Ao fazer uma síntese sobre os estudos de vulnerabilidade (Quadro 12 e 13), MOURA (2012) aponta as metodologias que buscam caracterizar os processos erosivos ao longo do litoral e que também foram aplicados por Souza et al., (2005) e Mallmann (2008), são basicamente dois os métodos a serem empregados:

Quadro 12: Tipos de métodos para investigação e identificação de processos erosivos.

MÉTODO DIRETO	MÉTODO INDIRETO
Clássico monitoramento das praias através do levantamento de perfis topográficos, que inclui a caracterização morfológica da praia, análises sedimentológicas e a integração com dados meteorológicos e oceanográficos (medições no local ou dados de campanhas realizadas em outros períodos). É utilizado para identificar eventos erosivos de baixa frequência além da análise das variações da linha de costa, do volume de sedimentos nos perfis, além de outros parâmetros relacionados ao balanço sedimentar.	São geralmente utilizados para caracterizar os eventos de erosão costeiro ao longo de uma escala de tempo maior, neste método é feito o cálculo de taxas de recuo ou avanço da linha de costa baseado em análises de fotografias aéreas, imagens de satélite e mapas topográficos e batimétricos antigos e atuais, com o objetivo de mapear as variações da linha de costa. Este monitoramento da linha de costa pode ser feito por meio da utilização de um DGPS em veículo motorizado ou através de caminhamento no setor que corresponde a faixa de transição entre o estirâncio e a pós-praia.

Fonte: Adaptado de Moura, 2012.

Quadro 13: Características dos métodos de investigação e identificação de processos erosivos.

MÉTODO	TIPO	PRINCIPIOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Mapas Históricos/Imagens Históricas	INDIRETO	Cálculo da distância entre duas ou mais linhas de costa de diferentes períodos	Permite resgatar linhas de costa antigas e trabalhar em escala multitemporal / apresenta baixo custo	Apresenta erros em decorrência da imprecisão na identificação da linha de costa, da distorção dos mapas originais e das diferenças de <i>datum</i> / não permite

				avaliação de mudanças de curto período
Sistema de posicionamento Global	INDIRETO	Uso de GPS, DGPS ou RTK deslocando-se sobre uma feição indicadora abordo de veículo ou transportado por um operador	Constituí método rápido e preciso / permite a cobertura de longos segmentos de linha de costa / apresenta baixo custo	Não permite o resgate de linhas de costa pretéritas
Imagens de Satélite	INDIRETO	Identificação da linha de costa e cálculo das distâncias entre linhas de costa de diferentes períodos sobre a imagem	Permite o estudo relativamente rápido de extensas áreas	Imagens de baixa resolução dificultam a delimitação da linha de costa / Imagens de alta resolução apresentam custo elevado
Indicadores de Erosão	INDIRETO	Observação de indicadores de erosão e monitoramento da ocorrência espaço-temporal	Método rápido, simples e de baixo custo	Permite somente um diagnóstico e não uma quantificação / deve ser integrado preferencialmente a outros métodos
Perfis topográficos	DIRETO	Obtenção de dados de altitude e distância em relação a um ponto estável e conhecido ao longo de uma linha perpendicular à linha de costa	Trata-se de um método simples e de baixo custo / Permite diagnosticar mudanças de curto período, assim como um estudo tridimensional	Pontual, inviabiliza o estudo de áreas extensas / não permite resgatar informações pretéritas

Fonte: Moura, 2012.

Através da tentativa de evidenciar o estado da arte o tema relacionado à erosão no Brasil, Muehe (2006), reúne uma série de levantamentos realizados ao longo do litoral do Brasil através do livro “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro” e mostra que há um predomínio de processos erosivos em relação aos processos progradacionais e/ou de equilíbrio em alguns trechos do litoral Brasileiro.

Em 2018 será lançada uma atualização através de um novo relatório chamado “Panorama da Erosão Costeira no Brasil”, onde todas as informações sobre taxas de recuo e

progradação dos trechos analisados, assim como outras informações, foram atualizados utilizando informações de levantamentos dos últimos 10 anos.

No litoral do Estado do Ceará, entre 30 e 40% da linha de costa apresenta colapso provocado pela atuação dos processos erosivos (PAULA, 2015; MORAIS et al, 2017). Este processo se faz presente na capital (MAIA, 1998; ALBUQUERQUE et al., 2009 ALBUQUERQUE et al., 2010; MARINO et al., 2016) e em diversos trechos costeiros da Região Metropolitana de Fortaleza e áreas próximas (PINHEIRO, 2000; PINHEIRO, 2001 PINHEIRO, 2003; MORAIS et al., 2006; MEIRELES, 2008 e MOURA, 2009; PINHEIRO et al., 2016; PAULA & FARRAPEIRA, 2017).

As áreas que apresentam estabilidade estão principalmente associadas aos litorais onde a ocupação se encontra recuada em relação à linha de costa. Nos cordões arenosos, ao longo do litoral oeste do Estado, a erosão está associada à migração lateral destas feições induzida pela atuação dos ventos, além da redução do volume de sedimentos disponibilizados pela descarga fluvial. Por outro lado, a progradação está associada diretamente às áreas a barlar dos estuários, promontórios e obras proteção/recuperação (MORAIS et al, 2017).

No litoral leste, a variação do nível do mar em curto prazo (i.g. ressacas do mar e maré equinocial) e a hidrodinâmica peculiar em áreas adjacentes a desembocaduras fluviais, barras submersas e promontórios induzem variações mais significativas da linha de costa.

3.4. RECUO DA LINHA DE COSTA BASEADO EM CENÁRIOS DO IPCC E EVENTOS EXTREMOS

O Quinto Relatório de Avaliação (AR5) (Fifth Assessment Report), publicado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (Intergovernmental Panel on Climate Change), apresenta quatro cenários diferentes que simulam concentrações de gases do efeito estufa possíveis até 2100, os resultados apresentados nesse relatório diferem dos primeiros dados obtidos e que foram divulgados anteriormente em relatórios passados, pois passou a considerar um sistema mais complexo, que leva em consideração os impactos das emissões de CO₂ e os efeitos no balanço de radiação do sistema terrestre, estes cenários foram denominados de Representative Concentration Pathways – RCP's (IPCC, 2014) (Quadro 14).

O cenário mais otimista (RCP2.6) prevê que o sistema terrestre armazenará 2,6 watts por metro quadrado (W/m^2) adicionais. Nesse caso, o aumento da temperatura terrestre poderia variar entre 0,3 °C e 1,7 °C de 2010 até 2100 e o nível do mar poderia subir entre 26 e 55 centímetros ao longo deste século (IPCC, 2014).

O segundo cenário (RCP4.5) prevê um armazenamento de 4,5 W/m^2 . Nesse caso, o aumento da temperatura terrestre seria entre 1,1 °C e 2,6 °C e o nível do mar subiria entre 32 e 63 centímetros. No terceiro cenário (RCP6.0), de 6,0 W/m^2 , o aumento da temperatura varia de 1,4 °C até 3,1 °C e o nível do mar subiria entre 33 e 63 centímetros (IPCC, 2014).

Já o pior cenário (RCP8.5), no qual as emissões continuam a crescer em ritmo acelerado, prevê um armazenamento adicional de 8,5 W/m^2 . Em tal situação, segundo o IPCC, a superfície da Terra poderia aquecer entre 2,6 °C e 4,8 °C ao longo deste século, fazendo com que o nível dos oceanos aumente entre 45 e 82 centímetros. Considera-se também níveis mais extremos para este cenário até o ano de 2100, onde o nível dos oceanos em cenário mais pessimista possível, se elevariam entre 52 e 98 centímetros (IPCC, 2014).

Quadro 14: Cenários do IPCC para o período entre os anos de 2010 e 2100.

Cenário	Balanço de radiação (Armazenamento de energia solar) W/m^2	Elevação na temperatura entre 2010 e 2100	Elevação nos oceanos (cm)	
			Otimista	Pessimista
RCP 2.6	2,6	0,3 °C e 1,7 °C	26	55
RCP 4.5	4,5	1,1 °C e 2,6 °C	32	63
RCP 6.0	6,0	1,4 °C até 3,1 °C	33	63
RCP 8.5	8,5	2,6 °C e 4,8 °C	45	82
RCP 8.5 (Extremo) Entre 2081 - 2100	8,5	2,6 °C e 4,8 °C	52	98

Fonte: IPCC, 2014.

Assim, outra grande preocupação atualmente e que vem sendo alertado frequentemente de acordo com os relatórios o IPCC é o aumento da intensidade de temporais marítimos (ressacas) e suas consequências para as regiões costeiras, como as inundações, assim, o aumento do nível do mar em virtude do acúmulo de Gás Carbônico na atmosfera e derretimento das calotas polares e aumento na frequência de eventos extremos poderão produzir consequências severas para as regiões litorâneas (KRAUS et al., 2002; DONNELLY, 2006; VARGAS et al, 2008 e LIMA, 2015).

No Estado do Ceará as ressacas estão associadas a entrada de ondas do tipo Swell, principalmente entre os meses de dezembro e março, e são caracterizadas por serem ondas de maior período e podem apresentar alturas consideráveis ao longo do litoral (MAIA, 1998; PAULA, 2012; GUERRA, 2014). Esses eventos de alta energia estão associados ao aumento anormal do nível da água do mar provocada por uma tempestade com níveis superiores ao da maré astronômica/e ou meteorológica prevista e que são acompanhadas por ondas com amplitudes maior que o normal (TABORDA & DIAS, 1992; BITTENCOURT, 2002; ANTUNES & TABORDA, 2009). Paula (2012) afirma que as ressacas no litoral do Nordeste, mais especificamente no litoral de Fortaleza, são originadas pela entrada de ondas de longo período (Swell) que provocam uma elevação anormal do nível do mar devido ao empilhamento da massa de água junto à costa.

De acordo com Leatherman (1979), o overwash (galgamento, termo traduzido para o Português) se trata de um processo importante na dinâmica ao longo das praias, possuindo influência direta no mecanismo de sedimentação/erosão, sendo uma continuação do espraio das ondas diretamente sobre a praia, ocorrendo em sua maioria no setor da pós-praia. Outra definição possível é a de Donnelly et al., (2006), que passa a definir o overwash como um evento natural que causa escoamento de água e sedimentos para fora do sistema praial (crista da duna) não retornando para a área fonte/origem.

Em momentos de alta energia, a possibilidade de inundações ao longo do litoral é potencializada devido a presença de ondas com setup elevado, ou seja, o espraio das ondas atinge nível mais elevados do que o perfil praial, caracterizando assim o overwash, para áreas com presença de dunas, ou overtopping em áreas onde há presença de obras rígidas, como uma obra de contenção ou calçadão (PAULA, 2012; LIMA, 2015; GUERRA, 2014 E MAIA, 2016).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para almejar o objetivo geral e específicos da tese, o capítulo de materiais e métodos foi dividido em 4 etapas: Etapa de Gabinete, Etapa de Campo, Etapa de Laboratório e Etapa de Integralização dos dados, juntas permitiram um melhor delineamento e análise dos resultados obtidos (Figura 25).

Figura 25: Fluxograma das etapas metodológicas da tese



Fonte: Autoria própria.

4.1. ETAPA DE GABINETE

4.1.1. Levantamento bibliográfico, cartográfico e fotográfico

Esta etapa teve seu enfoque principal no processo de levantamento bibliográfico, cartográfico e fotográfico para composição de parte do banco de dados da tese. O levantamento bibliográfico foi focado na elaboração do referencial teórico e discussões da tese, buscou-se principalmente por trabalhos pertinentes às temáticas tratadas ao longo da pesquisa em periódicos nacionais e internacionais, no portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, junto às bibliotecas das Universidades Federal do Ceará – UFC e Universidade Estadual do Ceará – UECE, Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, além de trabalhos do Grupo de Sistemas Costeiros e Oceânicos – SCO, através do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO.

O levantamento cartográfico (e.i. shapes e mapas no Datum SIRGAS 2000, Zona UTM 24S) do Município de Icapuí foram obtidas junto aos órgãos ligados ao meio ambiente tais como: Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Os dados socioeconômicos foram obtidos junto ao Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE, e demais informações pertencentes à base de dados do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica - LGCO/UECE.

Os dados meteorológicos foram obtidos juntos aos órgãos governamentais como: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC referentes aos anos de 1988 até 2016.

Os dados relativos aos parâmetros de ondas (e.i. altura, direção e período) para a região de Icapuí foram disponibilizados pela versão paga do modelo de previsão *Wavewatch III*, versão 3.14, no site Surf guru e pelo Centro de Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE, onde foi possível criar um banco de dados de 10 anos para a área de pesquisa. E por fim, os dados de maré e batimetria foram coletados/obtidos através da Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN da Marinha do Brasil.

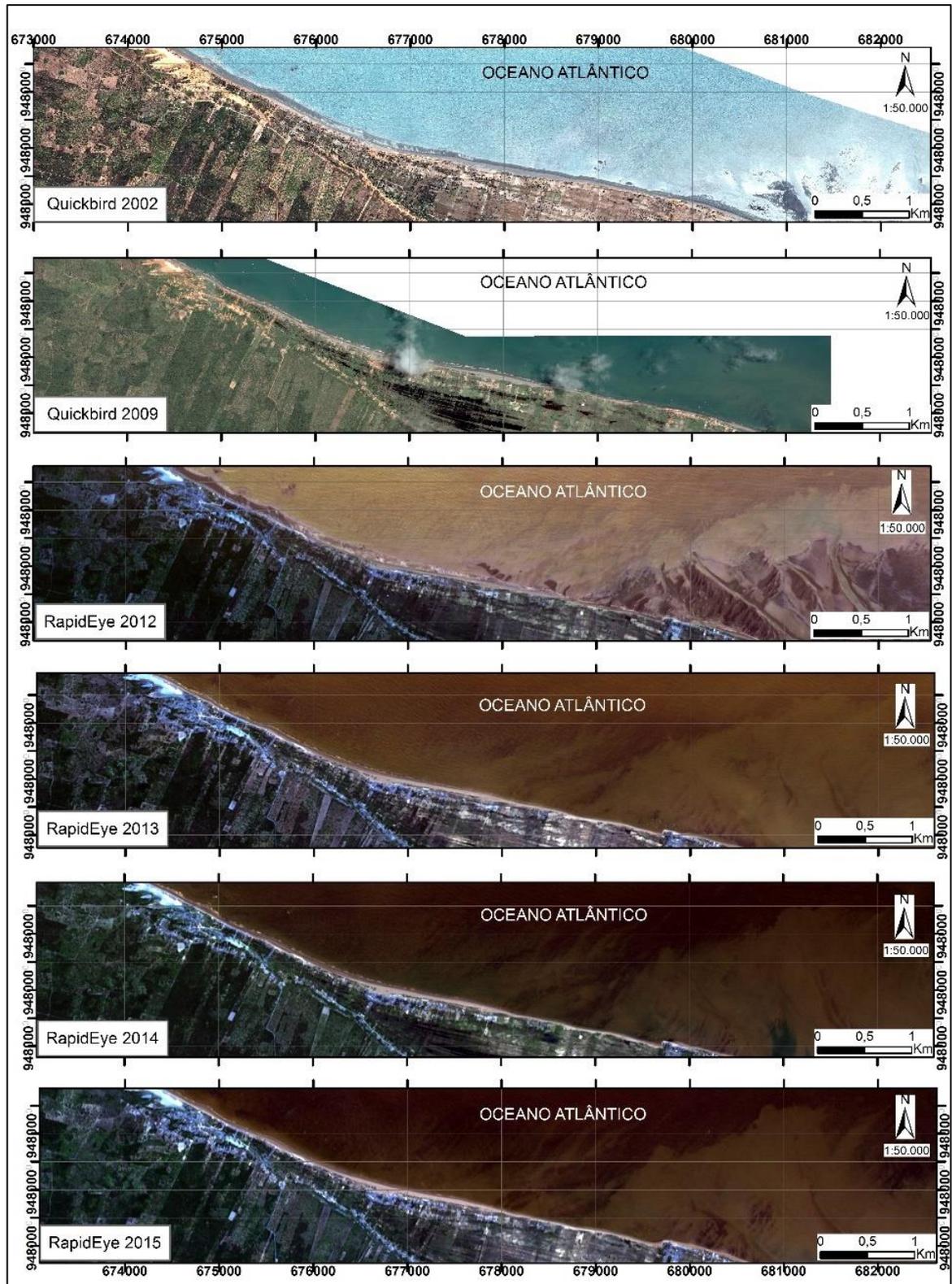
As imagens de satélite utilizadas no trabalho foram disponibilizadas pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE e pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA por meio do seu GeoCatálogo suas características encontram-se detalhadas no Quadro 15 e figura 26.

Quadro 15: Características das imagens utilizadas durante a pesquisa.

SENSOR	RESOLUÇÃO ESPACIAL/ESPECTRAL	PERÍODO DO IMAGEAMENTO	ESCALA TEMPORAL	ÓRGÃO RESPONSÁVEL
QUICKBIRD	0,60 m (pancromática) 2.4 m (multiespectral)	02 de dezembro de 2002 01 de abril de 2009	13 anos	Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE
RAPID EYE	6,5 m (imageamento à nível 1B) 5 m (ortorretificado 3ª)	05 de abril de 2012 31 de julho de 2013 24 de maio de 2014 27 de junho de 2015		GEOCATÁLOGO do Ministério do Meio Ambiente - MMA

Fonte: SEMACE, MMA.

Figura 26: Imagens utilizadas ao longo da pesquisa detalhando a área de monitoramento.



Fonte: imagens de satélite cedidas pela SEMACE e pelo MMA.

4.1.2. Levantamento do histórico da erosão em jornais e outros meios digitais

Após o levantamento bibliográfico para composição da base do referencial teórico de acordo com a temática da tese, erosão costeira no Ceará e principalmente em Icapuí, buscou-se por notícias em jornais, revistas eletrônicas, blogs locais e redes sociais com o intuito de recriar o passado das áreas atingidas pelo processo erosivo através de uma linha do tempo e assim facilitar o entendimento de quanto o processo passou a ter uma maior importância na área em virtude dos danos causados por ele e que de certa forma trouxeram consequência para o município em questão, lembrando que o processo erosivo trata-se de um processo natural e que ao passo que traz danos às estruturas antrópicas ao longo do litoral, passa a ser noticiado.

4.1.3. Identificação do problema, delimitação e estabelecimento dos pontos de monitoramento

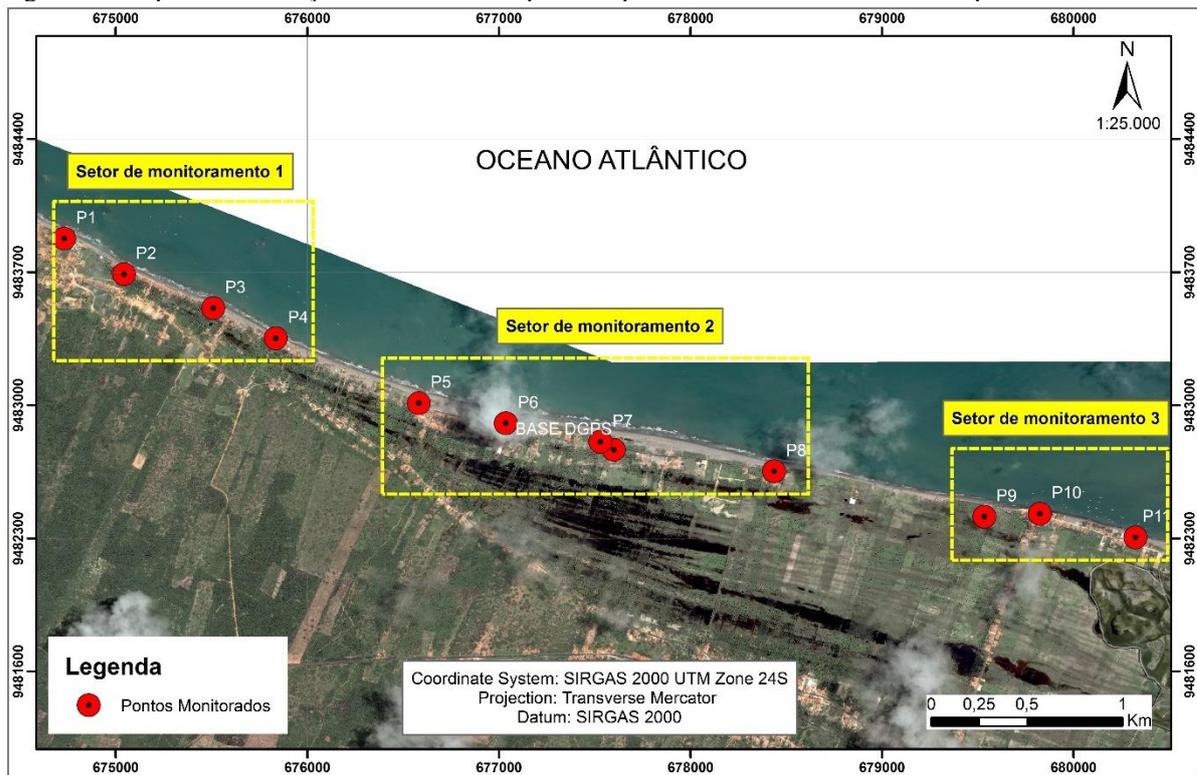
A partir da tentativa de recriação da linha do tempo referente aos processos erosivos e demais notícias atreladas a ela em Icapuí, foi possível destacar quais os possíveis fatores que de certa forma influenciaram no avanço do processo erosivo na área. Assim, com os questionamentos e informações baseadas em levantamentos realizados de outrora, foi possível estabelecer os pontos de monitoramento a partir de uma etapa Pré-campo onde houve a marcação dos onze pontos de monitoramento entre as Praias de Barreiras de Baixo e Barrinha/Barra Grande, divididos em três setores com diferentes características entre si, estando eles relacionados ao grau de densidade da ocupação x ambiente natural, desta forma, foi analisado quase 10 % da linha de costa total do Município (Quadro 16, Figura 27 e Quadro 17).

Quadro 16: Características da linha de costa analisada.

PRAIA	NÚMERO DE PONTOS MONITORDOS	EXTENSÃO DA LINHA DE COSTA DO MUNICÍPIO	EXTENSÃO DA LINHA DE COSTA ANALISADA	DIREÇÃO DA LINHA DE COSTA	TIPO DE EXPOSIÇÃO DA LINHA DE COSTA*
Praia de Barreiras de Baixo	4	64 km	6,039 km (9,4 % do total)	L-O	Orla do tipo exposta*
Praia de Barreiras de Cima	4				
Praia da Barrinha/Barra Grande	3				

Fonte: *Projeto Orla, 2006.

Figura 27: Mapa de delimitação dos setores e respectivos pontos de monitoramento em Icapuí.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 17: Localização geográfica dos pontos de monitoramento.

PONTO MONITORADO	SETOR	PRAIA	COORDENADAS UTM	
			LESTE (M)	NORTE (M)
Referencial de nível transferido (RN – Base Receptor DGPS)	2	Barreiras de Cima	677599,96	9482765,66
Ponto de monitoramento 1	1	Barreiras de Baixo	674730,665	9483876,543
Ponto de monitoramento 2	1	Barreiras de Baixo	675042,024	9483689,332
Ponto de monitoramento 3	1	Barreiras de Baixo	675508,168	9483510,067
Ponto de monitoramento 4	1	Barreiras de Baixo	675835,148	9483352,978
Ponto de monitoramento 5	2	Barreiras de Cima	676581,039	9483011,06
Ponto de monitoramento 6	2	Barreiras de Cima	677036,113	9482905,51
Ponto de monitoramento 7	2	Barreiras de Cima	677530,456	9482807,473
Ponto de monitoramento 8	2	Barreiras de Cima	678436,489	9482652,512

Ponto de monitoramento 9	3	Barrinha/Barra Grande	679534,854	9482414,373
Ponto de monitoramento 10	3	Barrinha/Barra Grande	679824,35	9482429,611
Ponto de monitoramento 11	3	Barrinha/Barra Grande	680322,936	9482305,432

Fonte: Autoria própria.

4.2. ETAPA DE CAMPO

Após a etapa inicial de levantamento básico das informações sobre a área e demarcação dos pontos de monitoramento foi possível dar início ao desenvolvimento da etapa de campo, inicialmente com a transferência do Referencial de Nível (RN) do IBGE para a proximidade das áreas de monitoramento transferindo o marco de cota conhecida (Estação 2726F - IBGE com altitude elipsoidal de 5,623 m com desvio padrão de 0,09m, com última visita realizada em 21/08/2016, com o auxílio de um *Differential Global Positioning System – DGPS* para uma pousada que fica na porção central da área monitorada, na Praia de Barreiras de Cima, nas proximidades do Ponto de monitoramento 7, onde a altitude foi fixada e apresenta altitude ortométrica corrigida em 3,847 (Figura 28 A e B).

Figura 28 (A e B): Transferência do Referencial de Nível (RN) para as proximidades da área de monitoramento. A) Estação IBGE 2726F – 5,623m; B) RN transferido – 3,847.



Fonte: o autor, 2015.

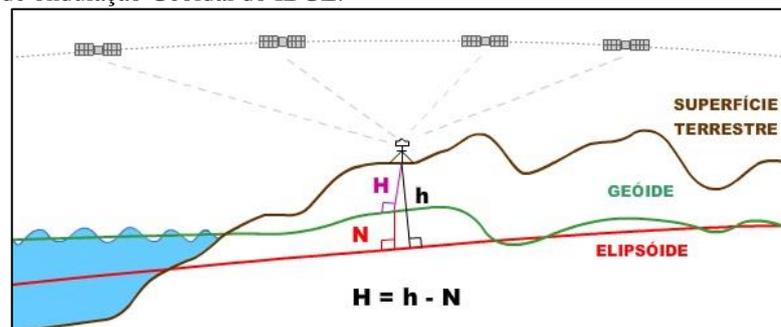
De acordo com o IBGE, em função de sua rapidez e precisão na obtenção de coordenadas, os Sistemas Globais de Navegação por Satélite – GNSS (na sigla em inglês) revolucionaram as atividades que necessitam de posicionamento. Entretanto, a altitude determinada utilizando um receptor GNSS não está relacionada ao nível médio do mar (ou, de forma mais rigorosa, ao geóide), mas a um elipsoide de referência com dimensões específicas. Portanto, torna-se necessário conhecer a diferença entre as superfícies do geóide e do elipsoide, isto é, a altura (ou ondulação) geoidal, para que se possa obter a altitude acima do nível médio do mar (denominada ortométrica).

O novo modelo foi calculado com uma resolução de 5' de arco, e o Sistema de Interpolação de Ondulações Geoidais foi atualizado. Através deste sistema, os usuários podem obter a ondulação geoidal em um ponto ou conjunto de pontos, cujas coordenadas refiram-se ao SIRGAS 2000 e compreendidas entre as latitudes de 6°N e 35°S e entre as longitudes de 75°W e 30°W, dentro do território brasileiro.

Para converter a altitude elipsoidal (h), obtida através de receptores GNSS, em altitude ortométrica (H), é necessário utilizar o valor da altura geoidal (N) fornecida por um modelo de ondulação geoidal, utilizando a seguinte expressão (Figura 29).

$$H = h - N$$

Figura 29: Modelo de ondulação Geoidal do IBGE.



Fonte: IBGE.

A partir daí deram-se início às atividades de monitoramento através de visitas bimestrais à área entre o período de outubro/2015 e novembro/2016, totalizando 6 trabalhos de campo, todos realizados em maré de sizígia para que fosse possível obter o máximo de informações acerca das feições existentes no local, dos processos e demais atividades que possam ter algum tipo de influência na dinâmica natural do ambiente conforme sugere MORAIS (1996) e MOURA (2012).

4.2.1. Perfil Topográfico

Foram realizados perfis topográficos perpendiculares à linha de costa partindo de um ponto fixo, de altitude ortométrica conhecida, e com garantias de que não passarão por alterações em virtude da ação eólica, marinha ou antrópica, conforme apontam Emery (1961), Birkmeier (1984), Morais (1996), Muehe et al., (2003) e Paula (2017). Os dados (X, Y e Z) foram obtidos com o uso de um *Differential Global Positioning System* – DGPS da marca TechGEO, modelo GTRG2/GLONASS L1/L2 com precisão de 10mm/1ppm em modo cinemático (Figura 30).

Figura 30: DGPS GTRG2/GLONASS.

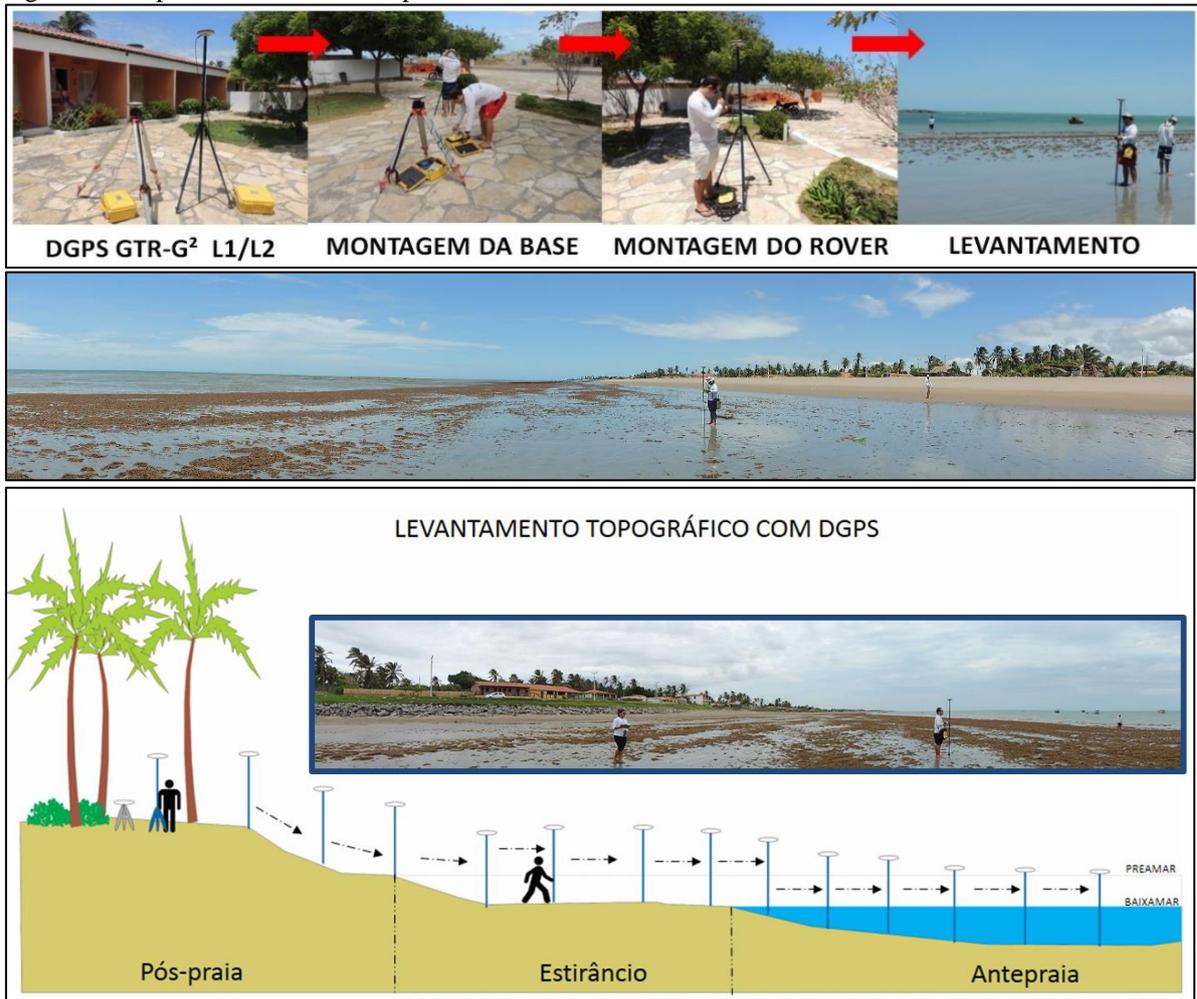


Fonte: TechGEO.

A realização do perfil praial é de fundamental importância, pois permite uma análise sistemática da topografia praial, permitindo quantificar o volume de sedimentos transportados e por fim determinar se a praia sofreu deposição ou erosão (MOURA, 2012). A realização dos trabalhos de campo se deu em maré de sizígia, o que permite ter a maior extensão possível do perfil praial, sempre na direção do pós-praia, passando pela berma, estirâncio e antepraia.

Além do monitoramento através dos perfis topográficos também foi realizada a medição da declividade da praia utilizando um clinômetro da marca *SMARTTOOL*, previamente calibrado em laboratório com o auxílio de uma superfície devidamente plana, no estirâncio superior e estirâncio inferior, limite do berma com o estirâncio e limite do estirâncio com a antepraia, respectivamente. Este tipo de medição é de fundamental importância para o entendimento da relação granulometria dos sedimentos que compõe a praia e sua relação com a energia da onda (MORAIS, 1996) (Figura 31).

Figura 31: Etapas do monitoramento praial.



Fonte: Autoria própria.

4.2.2. Registro Fotográfico

Se trata de uma etapa de fundamental durante o processo de monitoramento praial ao longo dos trabalhos de campo, onde é possível visualizar algumas alterações para cada ponto ao longo do tempo associando-as ao levantamento topográfico e registros oriundos do levantamento bibliográfico e demais fontes de informações para um melhor entendimento dos processos e fatores que possam levar há alterações no ambiente praial.

Cada ponto monitorado possui um acervo fotográfico de fotos e imagens referentes ao passado, mas também de fotos obtidas durante o levantamento. Foram tiradas do ponto fixo em direção a antepraia e nas laterais de cada perfil, também foram obtidas fotos panorâmicas quando possível para abrangência maior da área de monitoramento.

4.2.3. Coleta de Sedimentos

A granulometria do sedimento que compõe a praia é de fundamental importância para o entendimento das alterações no perfil praial e conseqüentemente nos processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos atuantes na área de monitoramento. Além disso, é possível determinar as características de sedimentação do ambiente, relacionando possíveis áreas fonte e tipos de transporte associados.

Assim, foram coletadas amostras nas zonas de pós-praia, estirâncio e antepraia ao longo dos onze pontos de monitoramento durante o período de coleta, totalizando assim 198 amostras de sedimentos que passaram pelas análises de granulometria e carbonato de cálcio, análises estas que serão tratadas com maior detalhe nos próximos tópicos mediante a interpretação de parâmetros estatísticos como curtose, desvio padrão e assimetria.

4.2.4. Monitoramento da Linha de Costa (LC)

A linha de costa é definida pela área de interseção entre o nível do mar e a terra firme, porém é preciso escolher qual maré deve ser considerada, ou seja, qual das alturas máximas e mínimas de sizígia devem ser levadas em consideração no momento do levantamento, é um ambiente extremamente dinâmico em virtude da atuação dos processos costeiros na sua interface, estando ainda ligada às variações do nível do mar, balanço sedimentológico, tectônica global e a crescente pressão antrópica na zona costeira (CAMFIELD & MORANG, 1996; MARINO, 2013 e MUEHE, 2014).

Muehe (2011) aponta que deve se ter cuidado ao se identificar o que é realmente a linha de costa, em virtude das variações das marés, devendo-se levar em consideração determinados contatos identificáveis durante os monitoramentos de campo e quando possível, nas imagens.

Marino (2013) afirma que o mapeamento sistemático da linha de costa e a conseqüente análise das suas variações representa uma importante ferramenta de informações necessárias para o planejamento e gerenciamento da zona costeira por meio do levantamento das taxas de recuo, determinação das áreas de risco à erosão costeira o que gera informações para a instalação de obras de contenção da erosão na linha de costa.

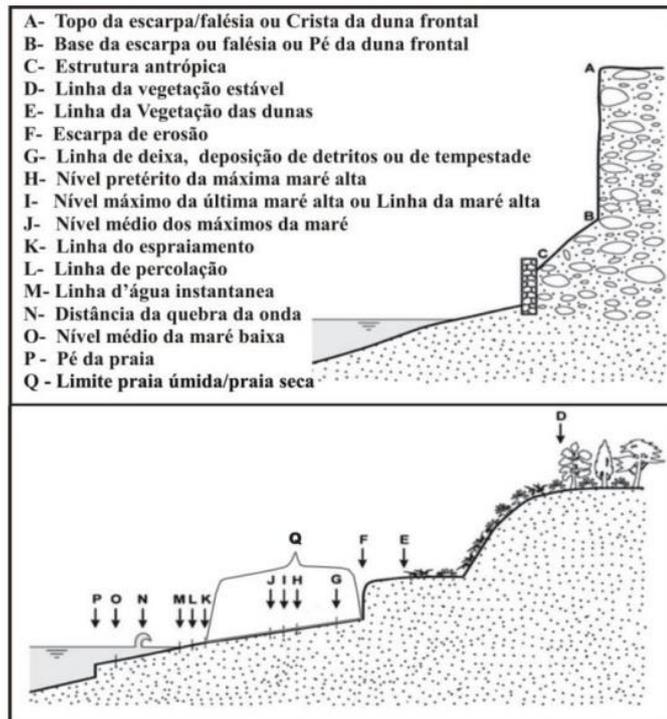
Assim, cada vez tem se intensificado o estudo das variações da linha de costa ao redor do globo através dos mais diversos métodos, desde a comparação entre cartografias, medições

diretas em fotografia aérea, monitoramentos periódicos em trabalhos de campo, utilizando imagens de satélite e analisando através de softwares de geoprocessamento e ferramentas de geoprocessamento (CROWELL et al 1991; ANDERS & BYRNES, 1991; LEATHERMAN, 2003, SHORT & TREMBANIS, 2004; CALLAGHAN et al., 2009; THIELER et al., 2009, FARIAS & MAIA, 2010).

Desta forma, um dos indicadores mais utilizados para a identificação da linha de costa através da análise das imagens de satélite é a mudança de cor entre a superfície úmida e seca da praia (LEATHERMAN, 2003). Daí a importância de se determinar qual a maré a ser utilizada como referência, essa área de mudança da cor também retrata a posição do alcance das ondas na preamar, conhecido na literatura como Wave Runnup, porém, essa identificação através de imagens de satélite nem sempre é muito clara, podendo levar a erros significativos de posicionamento.

Outro indicador para o deslocamento da linha de costa a ser utilizado é apontado por Carter & Nordstrom (1990), Crowell (1990;1991), Boak & Turner (2005) e Schweitzer (2013), é a escarpa ou pequena falésia erosiva entre a praia e o cordão litorâneo ou terraço marinho, ou ainda a base da duna frontal, porém deve-se estar atento ao utilizar a base das dunas, pois pode-se apresentar em três estados distintos (pré-erosivo, erosivo, e pós-erosivo ou pós-tempestade) quando a escarpa íngreme da face da duna é suavizada por uma rampa formando um novo perfil na sua base (Figura 32).

Figura 32 Indicadores de linha de costa.



Fonte: Schweitzer (2013) adaptado de Boak & Turner (2005).

Desta forma, Baptista *et al* (2011) aponta que o melhor meio de mapear a linha de costa é através do uso de veículo 4x4 com um DGPS acoplado no monitoramento de campo utilizando como indicador qualquer alteração de mudança brusca de topografia entre a praia e o pós-praia e na ausência deste deve se utilizar a vegetação permanente como indicador da linha de costa, e durante a análise das imagens de satélite deve se verificar o nível de contraste entre a praia e a base da duna.

Para o monitoramento de campo da linha de costa em Icapuí foram utilizadas as propostas de *Leatherman* (2003), Boak & Turner (2005) e Baptista *et al.*, (2011), considerando como linha de costa o alcance máximo da maré de sizígia, conforme também aponta Muehe (2014) através de caminhamentos com DGPS e carro 4x4. Levou-se também em consideração a base de dunas frontais, escarpa de falésias e base das obras de contenção, para a análise através das imagens de satélite buscou-se identificar as diferenciações de cores entre a superfície úmida e seca e o contato com outras superfícies que possam identificar os limites da linha de costa (Figura 33).

Figura 33: Monitoramento da linha de costa durante os trabalhos de campo com o uso do DGPS



Fonte: Autoria própria.

4.3. ETAPA DE LABORATÓRIO

Esta etapa foca-se nas atividades realizadas pós trabalhos de campo e que são realizadas em Laboratório, esta etapa se deu parte no Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO), da Universidade Estadual do Ceará (UECE) e outra parte no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG) no Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR/UFC).

4.3.1. Análise Granulométrica

As amostras recém-chegadas dos experimentos de campo foram armazenadas em recipientes etiquetados para dar início ao processo de análise granulométrica, as mesmas seguiram para uma estufa da marca Nevoni NV 1.6 a uma temperatura de 60°C para secagem durante 48h, findada esta primeira etapa as amostras, em temperatura ambiente, seguem para o processo de quarteamento de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de todo o material que passará pelas análises realizadas em laboratório. Os $\frac{3}{4}$ restantes são armazenados em sacos plásticos transparentes atóxicos e devidamente etiquetados para caso sejam necessárias análises futuras.

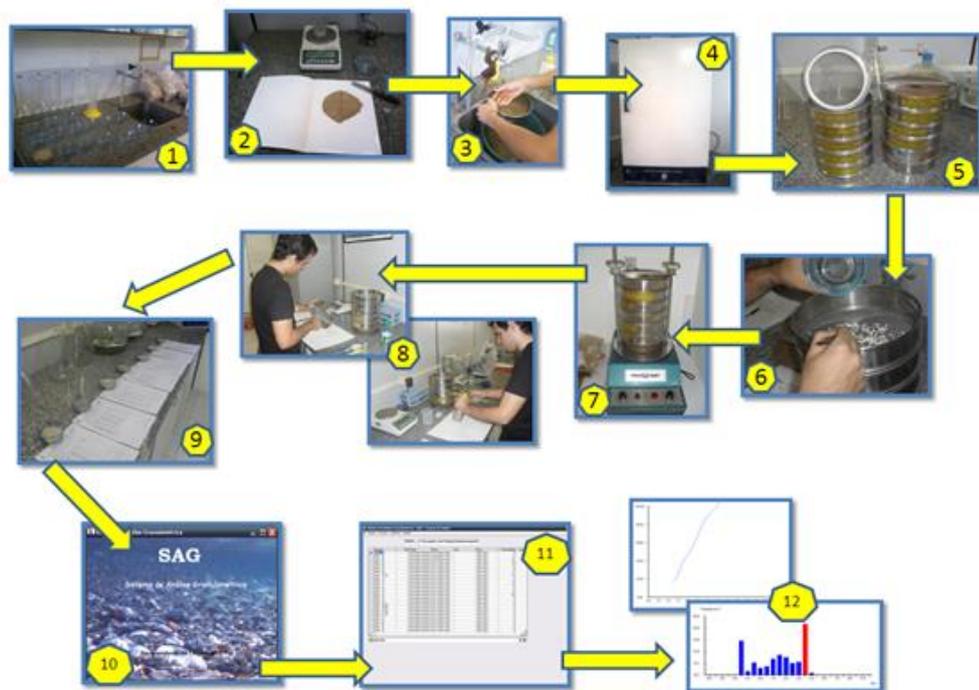
A fração de $\frac{1}{4}$ da amostra coletada foi analisada para identificação das classes texturais dos sedimentos coletados em campo através de dois processos, o peneiramento úmido e o peneiramento mecânico. Inicialmente as amostras já previamente secas em estufa e quarteadas em 100g partem para o peneiramento úmido, o qual tem por objetivo desvincular a fração mais fina da amostra em água corrente com o uso de uma peneira com malha 0,062 mm, dessa forma é possível separar as frações mais finas (silte e argila) da fração mais grossa (areia fina, areia média, areia grossa e cascalho), além da retirada do sal, que impede a floculação do material.

A fração mais grossa é levada novamente à estufa Nevoni NV 1.6 à 60°C para secagem durante 72h (SUGUIO, 1973; MUEHE, 1996; DIAS, 2004; e BARROS, 2014).

Findada a primeira parte de análise, inicia-se o processo de peneiramento mecânico utilizando-malhas de 4,00 mm, 2,83 mm, 2,00 mm, 1,410 mm, 1,00 mm, 0,710 mm, 0,500 mm, 0,354 mm, 0,250 mm, 0,177, 0,125 mm, 0,088 mm e 0,062 de acordo com Wentworth (1922), respectivamente que são agitadas com ajuda do agitador *Rotap Sieve-Shaker*, separando as frações de acordo com sua escala granulométrica determinada por cada malha das peneiras.

Após o peneiramento, os resultados da pesagem de cada fração são inseridos no Sistema de Análise Granulométrica (SAG), programa de análise estatística, desenvolvido pelo Departamento de Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, localizado na cidade do Rio de Janeiro (RJ), o qual calcula o peso retido em cada fração granulométrica convertendo em porcentagem, possibilita ainda, desenvolver gráficos mostrando histogramas e curvas de frequência através dos parâmetros estatísticos (*e.g. diâmetro médio, curtose, assimetria e desvio padrão*) além da classificação textural segundo o método sugerido por (FOLK, 1954; SHEPARD, 1954; E FOLK & WARD, 1957) (Figura 34).

Figura 34: Sequência das etapas de análise granulométrica das amostras coletadas nos experimentos de campo



A granulometria dos sedimentos que compõe a praia possui influência direta na variação da sua morfologia e na relação com os processos hidrodinâmicos atuantes, assim, praias compostas por sedimentos mais finos apresentam um gradiente de inclinação bastante suave se comparadas com praias formadas por sedimentos de maior granulometria que tendem a apresentar uma inclinação relativamente maior (MORAIS, 1996).

O diâmetro médio, também conhecido por média aritmética de um sedimento, envolve o tamanho médio das partículas distribuídas na amostra. Segundo Suguio (1973), este parâmetro reflete a média geral do tamanho de uma população de grãos, que é influenciada pela fonte de suprimento do material sedimentar, pelo processo de sedimentação e pela energia do agente deposicional, portanto, configura-se como o método estatístico mais significativo.

Já a curtose representa o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência, o que indica a dispersão das curvas de distribuição granulométrica. Analisar a curtose de uma população de grãos permite distinguir diferentes graus de energia, assim como determinar o grau de mistura de diferentes populações de um mesmo ambiente sedimentar (SUGUIO, 1973).

O mesmo autor *op. cit.* ainda chama atenção para a assimetria, que expressa o grau de afastamento do diâmetro médio da mediana, onde pode assumir valores positivos ou negativos ao se dispersar de um ou do outro lado da média. A assimetria tem papel fundamental na interpretação das distribuições granulométricas de um corpo sedimentar por caracterizar o seu ambiente deposicional. E por fim, o desvio padrão é basicamente usado como medida de dispersão dos grãos, sendo sua análise importante para o grau de seleção de um sedimento em virtude da sua relação com a competência de agentes geológicos na seleção com maior ou menor aptidão de um determinado tamanho de grão.

As características do ponto de vista de distribuição granulométrica dos sedimentos analisados são descritas através das quatro medidas descritas acima, a tendência central da distribuição granulométrica é mostrada pelo diâmetro médio, o grau de seleção ou desvio padrão, a assimetria indica as relações entre média e mediana e a curtose por sua vez, descreve o grau de agudez dos picos das curvas de distribuição de frequência (FOLK & WARD, 1957; SUGUIO, 2003 E BARBOSA, 2006).

4.3.2. *Determinação dos Teores de Carbonato de Cálcio*

Para se determinar o teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) das amostras utilizou-se do método do Calcímetro de Bernard 18 (modificado) como visto em Lamas et al., 2005, no qual o teor de carbonato é medido de forma indireta, através do volume de uma solução salina deslocado pelo gás carbônico produzido da reação do ácido clorídrico (HCL) com o carbonato de cálcio.



Balaceando a reação, devido à instabilidade do ácido carbônico, temos que:



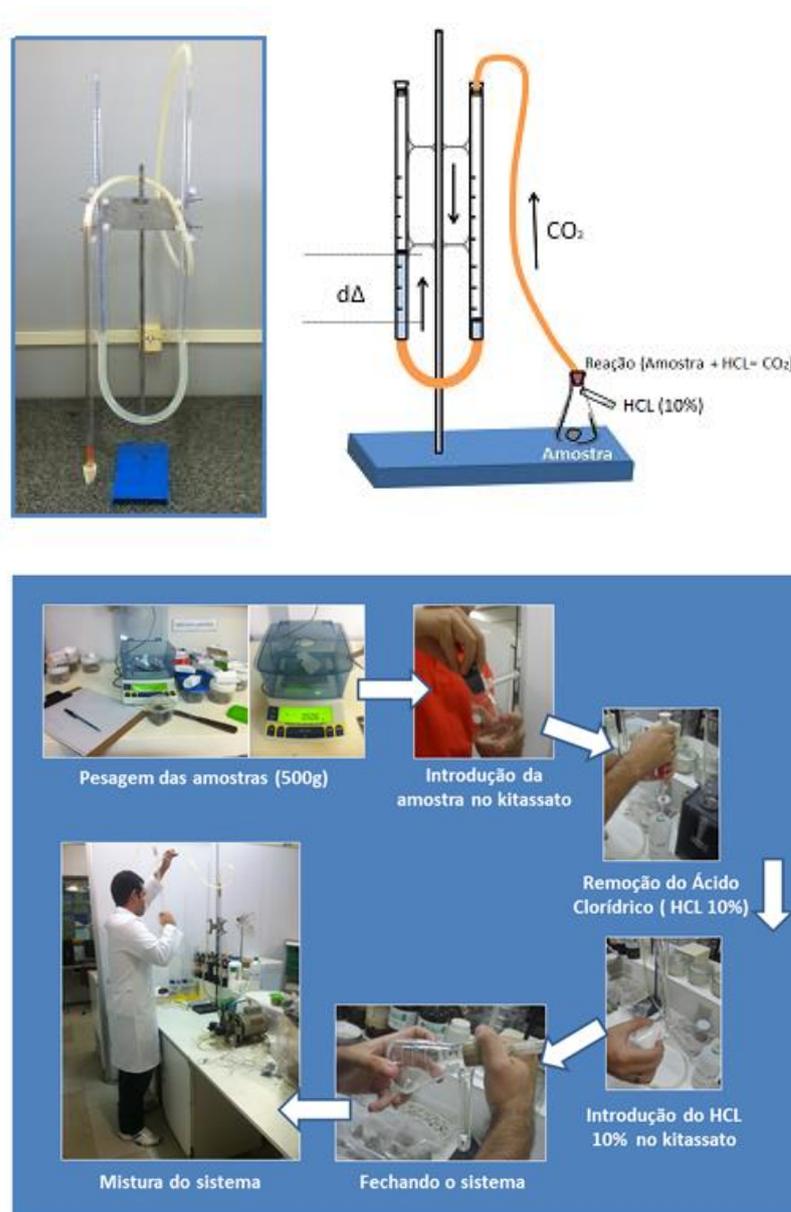
Sendo o gás carbônico desprendido na reação.

Primeiramente mede-se o volume ($V_{\text{padrão}}$) deslocado pela reação salina para uma amostra de concentração conhecida de carbonato de cálcio ($C_{\text{padrão}}$). Nas análises realizadas em laboratório foram separadas de 0,500 g de amostra de CaCO_3 a 99% ($C_{\text{padrão}}$) sendo elas adicionadas a kitassatos com tubos de ensaio, acoplados a cada kitassato foram adicionados 2,0 ml de HCL, diluído a 10%, com cautela para que não haja o ataque da amostra de forma prematura, no Calcímetro de Bernard acoplou-se cautelosamente o kitassato a uma coluna de água na bureta graduada (100 ml), evitando-se ainda que o HCL atingisse a amostra.

Nível de água na bureta é zerado, atingindo a marca desejada e de forma cuidadosa entorna-se o kitassato para que o HCL presente no tubo acoplado entre em contato com a amostra, para que ocorra a reação que produz o gás carbônico que por sua vez desloca a solução salina até atingirmos o valor padrão. Depois de feita a análise de controle com o CaCO_3 a 99%, seguiram-se os experimentos com as amostras de sedimentos de Icapuí, sendo o percentual de carbonato de cálcio medido nas mesmas usando-se uma regra de três simples (Figura 35).

$$C_{\text{amostra}} (\% \text{CaCO}_3) = (V_{\text{amostra}} \times C_{\text{padrão}}) / V_{\text{padrão}}$$

Figura 35: Calcímetro de Bernard e etapas da análise do teor de carbonato de cálcio das amostras



Fonte: Autoria própria.

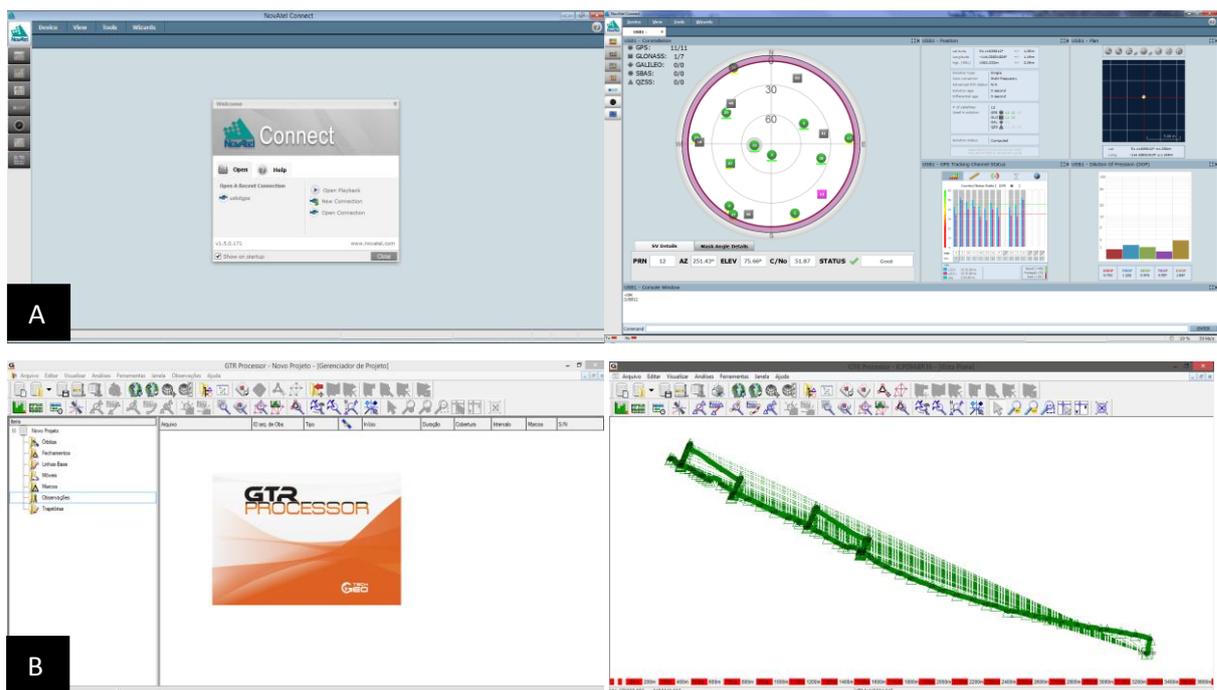
4.3.3. Processamento dos dados do DGPS

Os dados obtidos nos experimentos de campo com o *Differential Global Positioning System* – DGPS da TechGEO, modelo GTRG2/GLONASS são extraídos com por meio de dois softwares, para a os dados armazenados na base do receptor utiliza-se o software NovAtel Connect (Figura 36 A), e para os dados armazenados na coletora do aparelho utilizou-se a função bluetooth do aparelho para transferência dos arquivos diretamente para o computador utilizado para o processamento dos dados.

Para o processamento foi utilizado o software GTR Processor 2.98 com a extensão MAPGEO 2010 (Figura 36 B). O software aceita todas as frequências e constelações ativas atualmente, consta com a busca automática de RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), e com a edição de tempo e satélites (possibilitando a fixação sem retorno ao campo e retirada dos "ruídos").

Com o MAPGEO 2010 disponibilizado gratuitamente pelo site do IBGE pode-se obter a ondulação ou altura geoidal (N) necessária à conversão de altitudes elipsoidais, em altitudes ortométricas consistentes com o nível médio do mar (NMM) e a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), processo fundamento na obtenção dos dados de altura ortométrica, ou seja, a distância contada sobre a vertical entre o ponto e o modelo geoidal.

Figura 36: Interface dos programas NovAtel Connect (A) e GTR Processor 2.94 (B) no momento do processamento dos dados obtidos com os experimentos de campo em Icapuí.



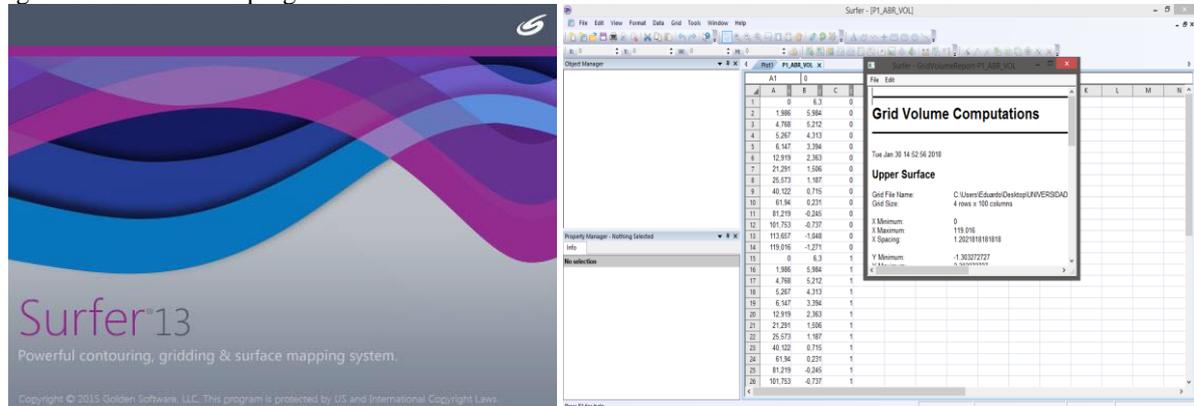
Fonte: Autoria própria.

4.3.4. Volume Sedimentar

A análise do volume sedimentar permite estimar as taxas volumétricas dos perfis topográficos realizados, permitindo assim analisar as variações volumétrica dos perfis ao longo dos pontos monitorados, assim, para que fosse possível estimar estas taxas ao longo da área

analisada, foi utilizado o software Surfer 13, onde os perfis são plotados e através da opção “volume” é possível identificar se há erosão ou progradação no ponto em questão (Figura 37).

Figura 37: Interface do programa Surfer 13 durante a análise do volume sedimentar dos trechos monitorados.



Fonte: Autoria própria.

4.3.5. Modelo Digital do Terreno (MDT) e Mapas de Distribuição Sedimentológica

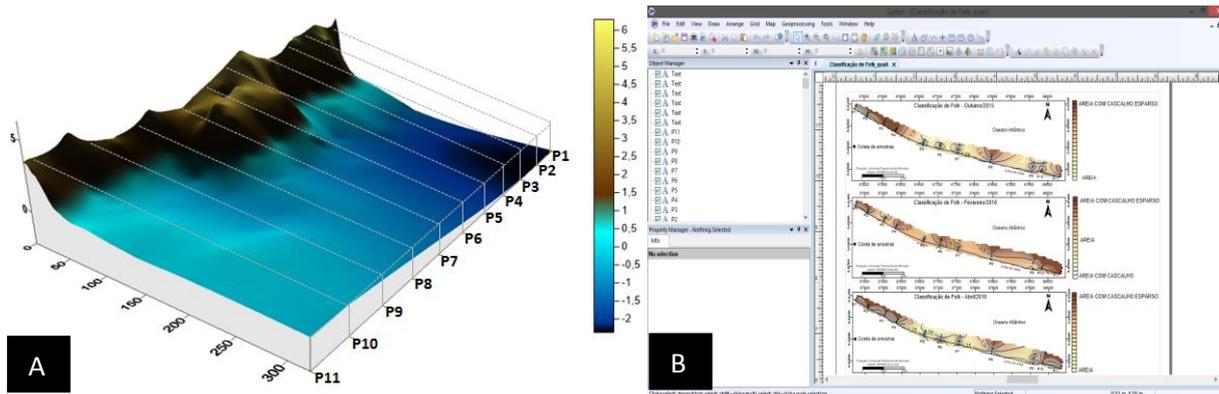
O Modelo Digital do Terreno e a espacialização dos resultados da análise granulométrica por meio de mapas de distribuição facilita o entendimento dos resultados, proporcionando uma melhor análise das alterações no ambiente ao longo do tempo. Assim, para a geração do Modelo Digital do Terreno utilizou-se os dados obtido ao longo dos experimentos de campo pela praticidade da utilização do DGPS que fornece, além das coordenadas com precisão, a altimetria.

Os dados obtidos com o DGPS foram processados utilizando o software GTR Processor, fornecido juntamente com o equipamento, os dados foram exportados em .txt (bloco de notas) para posterior tabulação em .xls (excel). Os dados tabulados foram inseridos no programa Golden Software Surfer 13 na aba sheet em um plano cartesiano de coordenadas X, Y e Z com o intuito de dar forma às curvas. O programa permite converter tabelas numéricas em informações gráficas através do *grid, utilizando a krigagem como método de interpolação dos pontos inseridos no programa, essa última etapa do processo foi repetida utilizando os resultados obtidos com a análise granulométrica para elaboração dos mapas de distribuição sedimentar.

A Krigagem se utiliza do princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais

próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (JAKOB, 2002). O modelo gerado pode ser destacado, separando somente a área de interesse através da função digitize que cria um blank, dando origem a um modelo do trecho desejado (Figura 38 A e B).

Figura 38: Modelo Digital de Terreno do trecho monitorado em Icapuí (A) e Mapas de distribuição sedimentar (B).



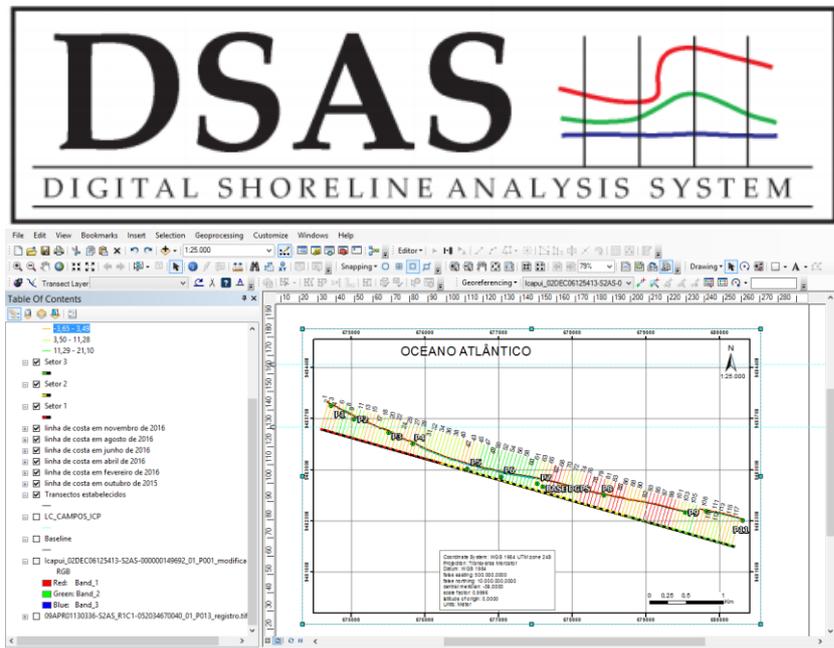
Fonte: Autoria própria.

4.3.6. Taxas de Erosão/Progradação utilizando o Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

Para se obter as taxas de recuo e progradação do litoral utilizou-se a extensão Digital Shoreline Analysis System (DSAS) versão 4.2, que amplia as funcionalidades do ArcGIS 10.3 (Figura 39). O DSAS realiza uma análise estatística das tendências de erosão e progradação a partir de uma linha de base e de uma série histórica de linhas de costa obtida com junção de dados de campo e imagens de satélite através dos anos e assim prevendo comportamentos em detrimento da atuação dos processos costeiros atuantes no trecho analisado (THIELER., et al., 2009).

As taxas de mudanças através de métodos estatísticos distintos são mostradas em uma tabela de atributos, essa tabela de atributos é exportada no formato .xls para elaboração de gráficos explicativos. Os valores negativos apresentados pelo DSAS representam as áreas onde há a uma predominância de tendência erosiva, enquanto que os valores positivos representam uma tendência à progradação (Quadro 18).

Figura 39: Interface do ArcGIS 10.3 rodando a extensão DSAS durante a análise das linhas de costa do trecho monitorado.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 18: Métodos estatísticos utilizados pela extensão do DSAS e suas características.

MÉTODOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS PELO DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM - DSAS		
MÉTODO	SIGLA	CARACTERÍSTICAS
Shoreline Change Envelope	SCE	Informa uma distância (não é uma taxa). Representa a movimentação total de todas as linhas de costa disponíveis, não estando relacionada às suas datas.
Net Shoreline Movement	NSM	Informa uma distância (não é uma taxa). O NSM está associado às datas de apenas duas linhas de costa, relatando a distância entre as linhas de costa mais antiga e a mais atual para cada transecto estabelecido. Se a distância entre as linhas de costa mais antiga e mais recente for dividida entre o número de anos decorrentes entre elas teremos o EPR.
End Point Rate	EPR	É calculado dividindo a movimentação entre as linhas de costa mais antiga e mais recente pelo tempo total decorrido entre essa movimentação. Obs1: A sua principal vantagem é a necessidade de apenas duas linhas de costa em datas diferentes; Obs2: A sua principal desvantagem é desconsiderar informações de dados adicionais (Linhas de costa adicionais dentro do período analisado).
Linear Regression Rate	LRR	A taxa é determinada ajustando os mínimos quadrados da linha de regressão para todos os transectos estabelecidos ao longo das linhas de costa analisadas.

		Obs1: Todos os dados são usados, independentemente das mudanças de tendência ou precisão; Obs2: O método é puramente computacional; Obs3: O cálculo é baseado em conceitos estatísticos aceitos; Obs4: Método de fácil aplicação.
Weighted Linear Regression Rate	WLR	No cálculo estatístico das taxas de alteração da linha de costa, o ajuste é feito com base nos dados mais confiáveis ou naqueles que possuem um maior peso, ou seja, o peso maior é dado para os pontos onde os dados possuem uma menor incerteza. Obs1: O peso é definido como uma função da variância da incerteza na medição.
Least Median of Squares	LMS	No método de regressão linear, a amostra de dados é usada para calcular um deslocamento médio. O deslocamento é minimizado através do ajuste da equação utilizando a linha de regressão para que os dados estejam posicionados o mais próximo possível da reta. O LMS é um estimador de regressão linear mais robusto que minimiza a influência de um dado anômalo na regressão geral. No DSAS, o processo de ajustar a linha aos pontos de dados segue a mesma lógica que o método LRR. LMS é determinado por um processo iterativo que calcula todos os valores possíveis de inclinação (a taxa de mudança) dentro uma amplitude restrita de ângulos seguindo uma abordagem descrita em Rousseeuw e Leroy (1987).

Fonte: adaptado de Thieler et al., 2009.

4.3.7. Simulação dos cenários de retrogradação por meio do Representative Concentration Pathways (RCP's) do IPCC

No Brasil, o principal projeto que define as limitações quanto às ocupações ao longo da zona costeira é o Projeto Orla e o mesmo utiliza-se da Lei de Bruun (1962) para praias arenosas como suporte para ações de gestão no litoral para se ter o conhecimento das taxas de retrogradação do litoral (MUEHE, 2001; LIMA, 2002 e LIRA et al., 2015), lei cuja equação se define por:

$$R = SLG/H \text{ (Equação 1)}$$

R (m) = Retrogradação da linha de costa em virtude da elevação do nível do mar;

S (m) = Elevação do nível do mar;

L (m) = Largura do perfil ativo (distância entre a cota da linha de costa e a profundidade de

fechamento do perfil ativo, $d1$ conforme equação de Hallermeier (1981), medida no mapa batimétrico;

G = Volume de sedimentos no perfil ativo, valor considerado = 1;

H (m) = Altura do perfil ativo (Cota (h) + $d1$).

Para o cálculo da profundidade de fechamento do perfil ativo, profundidade limite para a remobilização de sedimentos causada pela atuação das ondas, utilizou-se a equação de Hallermeier (1981).

$$d1 = 2Hs + 11\sigma \text{ (Equação 2)}$$

$d1$: Profundidade de fechamento;

Hs : Altura média anual das ondas significativas (Modelo Wavewatch III);

σ = Desvio padrão anual médio das ondas significativas (Modelo Wavewatch III).

Com os resultados obtidos, foi possível calcular a retrogradação no trecho monitorado de acordo com os prognósticos do IPCC levando em consideração do aumento do nível do mar, para fins de análise utilizou-se de três cenários, o RCP 2.6 (mais brando), com cotas de 0,26 e 0,55 cm, o RCP 8.5 (mais agressivo) com cotas de 0,45 e 0,82 cm e o RCP 8.5 (mais extremo, para o ano de 2100) com cotas de 0,52 e 0,98 cm (IPCC, 2014).

Os dados de hidrodinâmica utilizados foram obtidos com o modelo Wavewatch III por meio do Surf guru e CPTEC/INPE, para efeitos de cálculo foi utilizada a base de dados de ondas entre os anos de 2006 e 2016 para a região de Icapuí. Os dados de batimetria foram cedidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), da Marinha do Brasil, os dados de altimetria do terreno e delimitação da linha de costa atual foram obtidos ao longo dos experimentos de campo utilizando um DGPS no modo cinemático, foram considerados os atuais indicadores da linha de costa conforme abordado no item 4.2.4. Desconsiderando-se assim a linha de costa de 1831.

4.3.8. Delimitação dos Limites de Ocupação de acordo com o Projeto Orla

Com os experimentos de campo (determinação da linha de costa atual e batimetria) será possível estabelecer os atuais limites de ocupação com precisão e que vão de acordo com as delimitações propostas pelo Governo Federal através do Projeto Orla para o trecho monitorado. Tal iniciativa possibilitará a substituição da linha utilizada como limite dos terrenos de marinha

em 1831 pela atual linha de costa, permitindo assim ir de acordo com o que foi proposto pelo Ministério do Meio Ambiente no final de 2017, por meio de um novo projeto, que tem por objetivo principal, o levantamento atual de toda a linha de costa do Brasil, o Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa (PROCOSTA). Que se trata de compromisso voluntário assumido pelo país na Conferência dos Oceanos, em junho de 2017 nas Nações Unidas (ONU), em Nova York. Em linhas gerais, PROCOSTA consiste em um sistema de medições e coletas de dados para estabelecer a definição acurada da linha de costa do país, além de uma base de dados que possa ser usada em sistemas de modelagem costeira.

5. HOMEM X MAR NOS DIAS ATUAIS: A LUTA E RESISTÊNCIA À EROSÃO COSTEIRA NO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ

A análise do processo erosivo apresentada neste capítulo abordará as principais causas da erosão no município de Icapuí dentro de uma ótica de correlação baseada na literatura já existente sobre o assunto e nos indicadores observados através dos experimentos de campo, detalhando as tentativas de contenção do processo, não só através de medidas governamentais, mas também através da construção de obras de contenção da erosão no local. Serão também analisados os registros históricos de erosão no Ceará, mais precisamente no litoral do município em questão para uma reconstrução do cenário passado relativo à problemática e a relação deles com os bancos de dados oceanográficos disponíveis, identificando assim quais as principais consequências para a litoral do município.

5.1.Reconstituição dos registros históricos de erosão no litoral de Icapuí e suas possíveis causas

A erosão costeira faz parte de um ciclo natural inerente ao equilíbrio do ambiente praial e quando passa a causar danos às estruturas físicas construídas ao longo do litoral gerando impactos socioeconômicos para as comunidades costeiras passa a ser tratada com uma maior ênfase por meio dos veículos de informação. Assim, buscou-se informações pretéritas sobre os impactos da erosão no município de Icapuí para se poder determinar quando o processo erosivo passou a ser mais evidente no local e assim recriar a linha do tempo do impacto da erosão e medidas de contenção do processo, além de delimitar a escala de tempo de análise apresentada nesta pesquisa.

Assim, com base no banco de dados criado, foram identificadas 46 notícias relacionadas aos problemas atrelados a erosão costeira no Estado do Ceará desde o início dos anos 2000, quando o processo se tornou mais evidente e passou a ganhar mais destaque nos jornais Diário do Nordeste e O Povo, principais veículos de circulação de notícias no Estado, foram elencados uma série de danos causados aos municípios costeiros, principalmente aqueles localizados no litoral leste.

O município de Icapuí é citado em todas, sendo alvo central em 18, ou seja, 39 % das notícias analisadas e que se encontram disponíveis em arquivos digitais, que trataram de erosão costeira no Estado abordam diretamente o município de Icapuí e o impacto causado pelos processos costeiros nas comunidades locais (Quadro 19).

O ápice da erosão costeira no Estado e principalmente em Icapuí concentra-se entre os anos de 2011 e 2014, tendo alguns danos já ocorridos em 2009. Vale ressaltar que esse volume de notícias também foi impulsionado em um período de seca extrema enfrentada pelo Estado e que naturalmente interfere na disponibilidade de sedimentos advindos de porções continentais e que deixaram de abastecer as praias devido aos vários barramentos ao longo dos rios em nossa região (PINHEIRO et al., 2000, PINHEIRO, 2001).

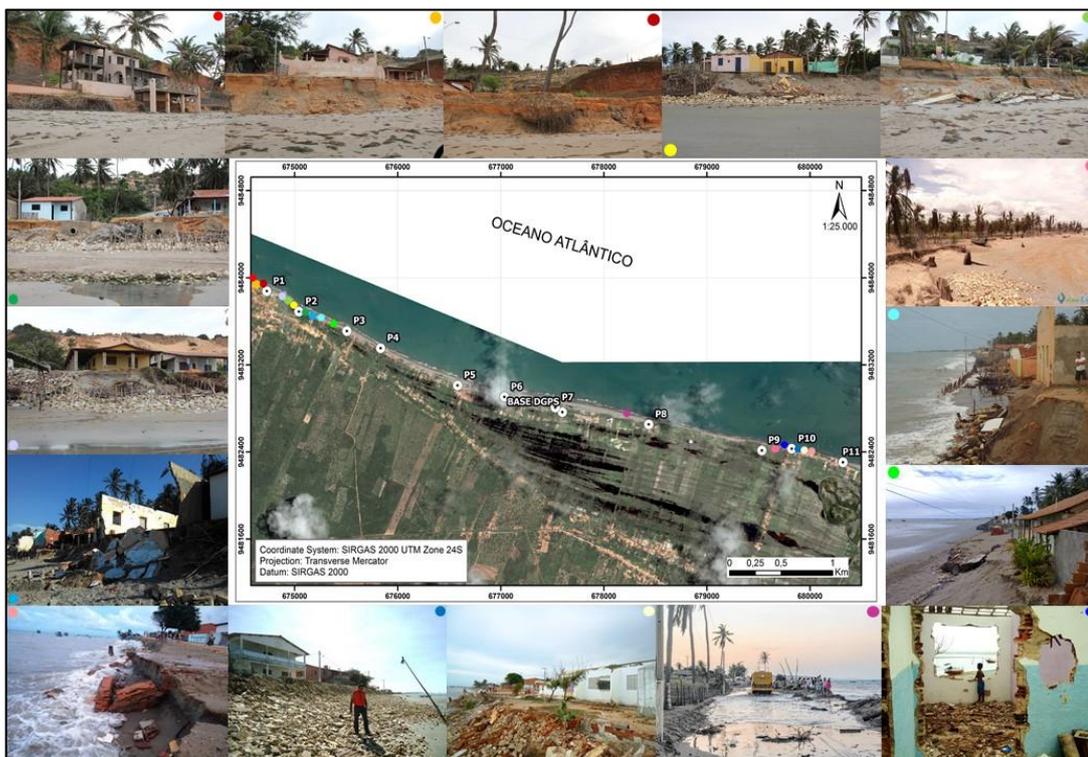
Quadro 19: Notícias relacionadas à erosão costeira no litoral do Ceará e em Icapuí. Em vermelho notícias que tratam diretamente de Icapuí.

DATA	FONTE	NOTÍCIA
31/08/2002	Diário do Nordeste	Intervenções humanas colaboram para erosão nas praias do Ceará
19/04/2004	Opovo	Destruição em imagens
07/08/2006	Diário do Nordeste	Mar avança até sete metros ao ano - Praias destruídas
08/08/2006	Diário do Nordeste	Litoral leste entricheirado - o Homem contra o mar
12/08/2006	Diário do Nordeste	Desmonte do litoral
22/10/2007	Diário do Nordeste	Litoral ameaçado pelo mar
25/10/2007	Diário do Nordeste	Proteção do litoral
31/03/2009	Diário do Nordeste	Erosão Marinha destrói construções em Icapuí
04/05/2010	Opovo	Deputado quer muro de contenção para evitar o avanço do mar em Icapuí
05/07/2010	Diário do Nordeste	Erosão Costeira
17/10/2010	Diário do Nordeste	Famílias temem avanço do mar
08/01/2011	Diário do Nordeste	Mar aumenta avanço na costa durante janeiro
18/04/2011	Opovo	Situação de emergência no litoral cearense
18/04/2011	Opovo	Avanço do mar - Cascavel e Icapuí decretam estado de emergência
18/04/2011	Opovo	Construções são o maior problema
18/04/2011	Opovo	Obras em Cascavel e Icapuí para conter o avanço do mar
18/04/2011	Opovo	Situação de emergência no litoral cearense
19/04/2011	Opovo	Reação ao avanço do mar
06/05/2011	Opovo	Requalificação é tema de debate
31/05/2011	Diário do Nordeste	Mar avança 10 metros por ano no Ceará
13/06/2011	Diário do Nordeste	Intervenções no litoral
30/07/2011	Diário do Nordeste	Efeitos do avanço do mar
14/09/2011	Opovo	Praias estão ameaçadas de sumir em dois municípios
28/09/2011	Diário do Nordeste	Obras de contenção do mar iniciam em Icapuí
12/09/2012	Diário do Nordeste	Litoral Leste - Avanço do mar destrói barracas, iluminação e muros no Iguape
14/12/2012	Opovo	Avanço do mar em Icapuí
21/12/2012	Diário do Nordeste	Avanço do mar - Maré alta causa destruição em comunidades em Icapuí
21/12/2012	Diário do Nordeste	Degradação ambiental - Seca agrava avanço do mar e erosão no litoral cearense
22/02/2013	Diário do Nordeste	Preocupação - A erosão na costa cearense voltou a ser objeto de pronunciamento
13/03/2013	Opovo	Avanço do mar em Icapuí
07/04/2013	Opovo	Erosão avanço mais de 10 metros por ano em alguns pontos do litoral cearense
09/04/2013	Diário do Nordeste	Litoral Cearense - Erosão avança até 13 metros por ano no Ceará
18/05/2013	Opovo	Litoral Leste - Orla comprometida
27/07/2013	Diário do Nordeste	Praias de Leste a Oeste - Na próxima semana haverá uma reunião para que seja encontrada uma solução
01/10/2013	Diário do Nordeste	Proteção do litoral - No litoral leste
27/11/2013	Diário do Nordeste	Icapuí pede socorro
10/01/2014	Opovo	Projeto de contenção prevê seis quebra-mares
11/01/2014	Opovo	Litoral de Caucaia aguarda agora projeto contra erosão
21/02/2014	Diário do Nordeste	'A cada maré grande é um assombro para os moradores
21/02/2014	Diário do Nordeste	'Intervenção humana compromete nossa costa'
22/02/2014	Diário do Nordeste	AVANÇO DO MAR - Deputada cobra plano para o litoral
29/09/2015	Opovo	Casas são destruídas no Pirambu; erosão marinha é comum no Ceará
29/09/2015	Opovo	Erosão marinha também afeta litoral da praia do Icapuí
10/04/2016	Diário do Nordeste	Ocupação irregular na faixa de praia piora a degradação
07/05/2016	Diário do Nordeste	Em 10 anos, só 17 municípios do Ceará aderiram ao Projeto Orla
06/12/2017	Diário do Nordeste	Mar avança e isola Praia de Barreiras de Cima em Icapuí

Fonte: Acervo Digital dos jornais Diário do Nordeste e O povo.

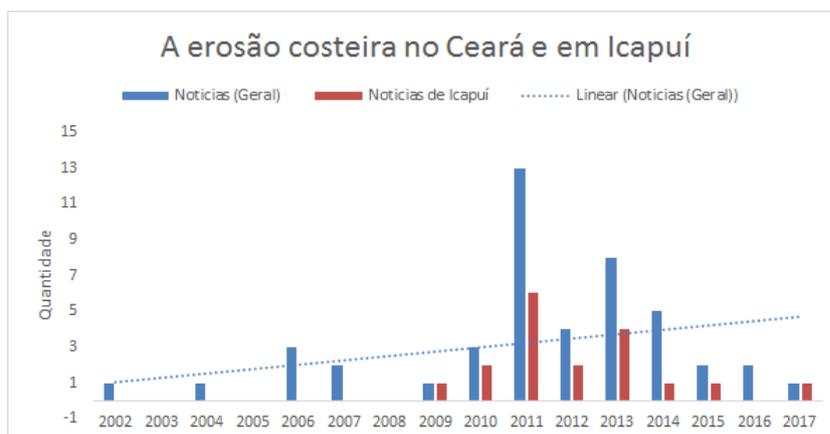
As notícias destacam como causas desse processo, o aumento das ocupações muito próximas ao litoral, tal fato deve ser relacionado com o crescimento populacional no município que saltou de 13.661 hab em 1991 para quase 20.000 hab em 2017. Isto potencializa os riscos associados a influência das marés e das ondas sobre as construções na sua área de influência e como resultado cria-se a necessidade de construções de obras de proteção/contenção da erosão que também podem alterar a dinâmica litorânea, agravando ainda mais o problema (Figura 40, 41 e Gráfico 11).

Figura 40: Destruição causada pela erosão no trecho monitorado do município de Icapuí.



Fonte: imagens de arquivo Diário do Nordeste e O Povo.

Gráfico 11: Evolução das notícias relacionadas à erosão costeira e suas consequências entre os anos de 2002 e 2017.



Fonte: Diário do Nordeste e O Povo.

Figura 41: Erosão no litoral das Praias de Barreiras da Sereia e Barrinha em Icapuí no início dos anos 2000.



Praia de Barreiras de Baixo



Praia da Barrinha / Barra Grande



Praia de Barreiras de Baixo



Praia da Barrinha / Barra Grande

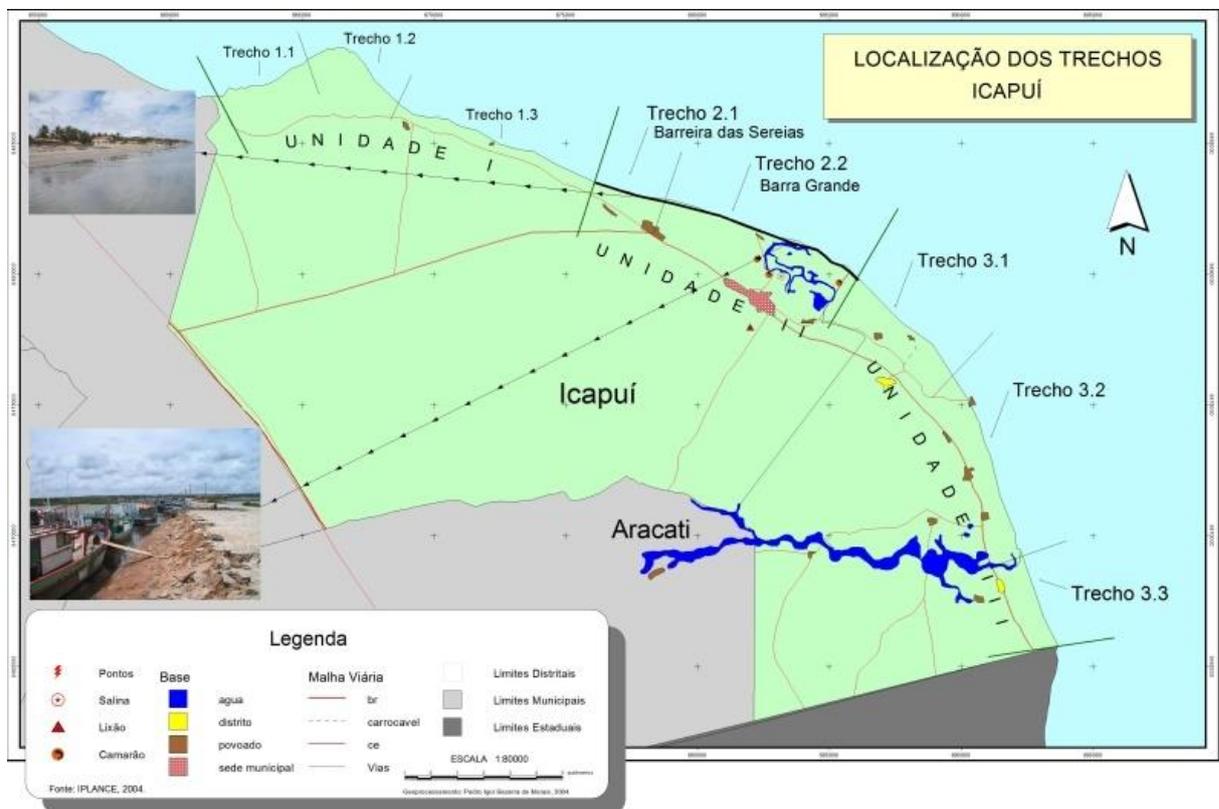
Fonte: Arquivo dos Jornais Diário do Nordeste, O Povo e blog “A Cidade Icapuí”.

Vale ressaltar ainda que nesse período houve um agravamento das secas em nosso Estado, devido ao regime climático de semi-aridez em que está enquadrado, baixa constância de chuvas devido ao regime de semi-aridez, o que implica na diminuição do aporte sedimentar de regiões continentais para o baixo-curso dos rios, diminuindo assim o volume de sedimentos que alimenta as praias, configurando um cenário de erosão devido ao déficit sedimentar.

Como o intuito de conter o processo erosivo, em meados de 2005, Icapuí passou a elaborar o Plano de Intervenção na Orla Marítima do município de acordo com os preceitos desenvolvido através do Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima segundo as bases do Projeto Orla. Na ocasião o plano faria parte das demais ações promovidas pelo município com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável e o ordenamento das áreas litorâneas de Icapuí, juntamente com o Plano de Desenvolvimento Local Sustentável de Icapuí (PDL SI) e o Plano de Negócios da Exploração Lagosteira.

Baseados na aplicação do Projeto Orla e apoiado na ampla tradição de participação da sociedade civil, o trabalho foi desenvolvido por uma equipe técnica local, formada por moradores da própria cidade que tiveram o apoio técnico da Prefeitura Municipal (PMI), do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) e da Gerência Regional do Patrimônio da União (GRPU), que na ocasião foram indicadas para o acompanhamento e/ou engajamento no processo executivo das ações previstas no plano. Eram objetivos a definição da área de intervenção e o consequente diagnóstico, assim foram criadas 3 unidades ao longo da Orla de Icapuí, o trecho monitorado nesta pesquisa está localizado na Unidade II (Figura 42).

Figura 42: Mapa de divisão das Unidades costeiras de acordo com o PGI de Icapuí.



Fonte: PGI ICAPUÍ, 2005.

A segunda etapa estava voltada para a descrição dos cenários de usos estabelecidos para os trechos priorizados, com perfis da situação atual, situação desejada e situação futura, além disso, também contava com a identificação dos conflitos e problemas de cada trecho, além das atividades geradoras e atores sociais e institucionais interessados.

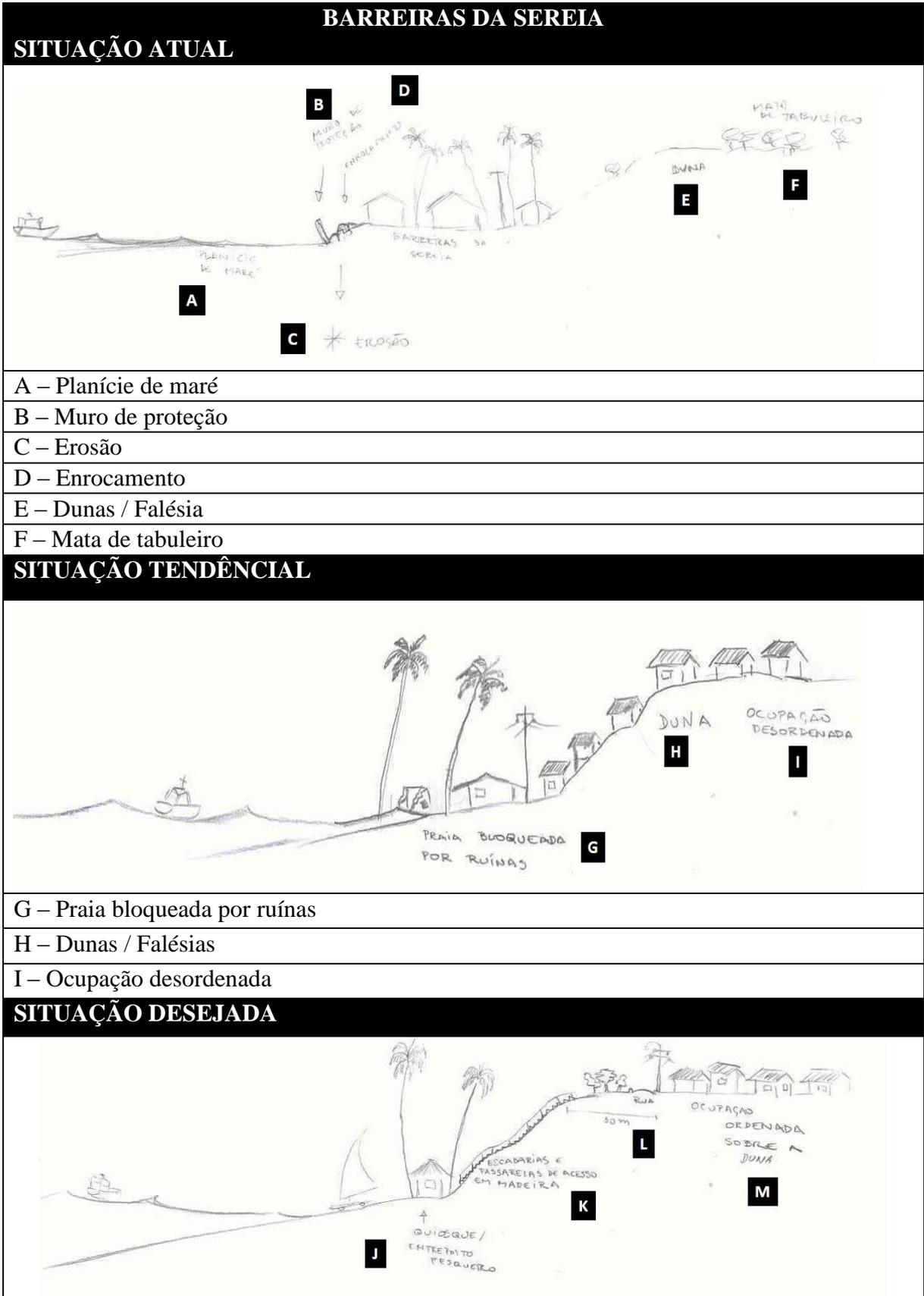
A situação em que se encontrava a Praia de Barreiras de Baixo na época em que o plano teve seu desenvolvimento já apresentava ao longo da sua linha de costa formas pontuais de

proteção contra o processo erosivo atuante na área, por meio do perfil traçado junto à população é possível identificar a existência de estacas de madeiras, sacos de areia e blocos de rochas formando uma espécie de enrocamento já em meados do ano de 2005, evidenciando que a preocupação com tal processo já se mostrava atuante há determinado tempo e o mesmo já se mostrava como fato influente no dia a dia da comunidade da Praia de Barreiras de Baixo (Quadro 20).

Para o perfil tendencial que foi traçado em 2005 é possível notar que já se havia uma preocupação com o acesso à praia em virtude do processo erosivo e dos danos causados às residências que estavam construídas muito próximas à linha de costa na área, bem como as formas de ocupação irregulares que já se faziam presentes também nas proximidades das falésias e na sua porção superior. Tal preocupação se mostrou verdadeira em meados de 2012 até 2015 quando várias casas foram embargadas devido apresentarem riscos de desabamentos e conseqüentemente a praia teve seu acesso dificultado pela alta escarpa que se formou e pelos restos de construções que se encontrava na pós-praia o que dificultou certas atividades tradicionais, como a pesca (Quadro 20).

Para a situação desejada, é possível observar uma preocupação com a ordenação do litoral, com a linha de costa livre de residências e apenas com pequenos postos que serviriam como entreposto pesqueiro e quiosques para turistas e para a comunidade, além da ordenação da ocupação que se encontra na parte superior da mesma, distante 30 metros da escarpa e com escadarias de madeira que facilitariam o acesso à praia pelos habitantes mais distantes da mesma. Porém é possível observar que tal proposta ainda não foi acatada em 2015, foi instalado um enrocamento de aproximadamente 700 m na localidade, as casas que ainda se encontravam na área tendem a passar por reformas, o que já pode ser constatado durante os trabalhos de campo e conseqüente valorização dos terrenos nesta área (Quadro 20).

Quadro 20: Cenários estabelecidos para a Praia de Barreiras da Sereia pelo Plano de Intervenção da Orla Marítima de Icapuí – CE.



J – Quiosque / Entrepasto pesqueiro
K – Escadarias e passarelas de acesso em madeira
L – Ruas
M – Ocupação ordenada

Fonte: Adaptado do Plano de Intervenção da Orla Marítima de Icapuí – CE.

Em 2005 já eram preocupantes os conflitos gerados pelo processo erosivo na comunidade local devidos às necessidades de realocação, seja em virtude do processo de ordenação do litoral, seja devido aos danos causados pela erosão nas residências na comunidade, envolvendo os moradores locais, colônias de pescadores e comerciantes que se recusavam a sair do local visto ao apego local. Se faziam presentes também outros conflitos como a ocupação irregular das falésias, que como consequência do processo erosivo, se mostrava como alto risco para a população além da pesca predatória na região (Quadro 21).

Quadro 21: Situação dos conflitos na Praia de Barreiras da Sereia em meados de 2005.

CONFLITOS EXISTENTES	ATIVIDADES GERADORAS DE CONFLITO	ATORES SOCIAIS ENVOLVIDOS	ATORES INSTITUCIONAIS ENVOLVIDOS
Necessidade de realocação X Resistência da comunidade	Avanço do mar – erosão costeira Construção Civil (residências, vias, escolas etc.)	Moradores Pescadores Comerciantes	PMI Associação dos Moradores de Barreiras de Baixo IDACE GRPU
Ocupação irregular X Conservação das dunas, falésias e encostas	Construção Civil (residencial, turística) Comercial	Pescadores Comerciantes Veranistas	PMI IBAMA SEMACE Associação de moradores
Pesca predatória X Conservação do ecossistema marinho	Pesca	Pescadores Atravessadores Empresários Armadores de pesca	IBAMA PMI Cooperativa de Pesca Colônia de Pescadores Associação de moradores

Fonte: adaptado do Plano de Intervenção da Orla Marítima de Icapuí – CE.

Analisando os perfis traçados para o setor da Praia da Barrinha/Barra Grande, é possível observar que a erosão já era um processo atuante na área, porém não tão preocupante em relação à Praia de Barreiras de Baixo em meados de 2005, e já se apresentava como uma situação tendencial e que esta envolvia diretamente as modificações do canal do braço de mar nas proximidades das casas que já se faziam presentes na área.

Havia uma grande preocupação também com a preservação dos mangues em virtude da aceleração da produção salineira e início da instalação de carcinicultura na localidade, segundo o plano pensado para o futuro, não havia ainda uma preocupação com a ordenação da ocupação nas proximidades da linha de costa, tão pouco era pensada a instalação de obras de proteção contra o processo erosivo na localidade (Quadro 22).

Quadro 22: Cenários estabelecidos para a Praia da Barrinha pelo Plano de Intervenção da Orla Marítima de Icapuí – CE.

BARRA GRANDE / PRAIA DA BARRINHA	
SITUAÇÃO ATUAL	
A	– Carcinicultura
B	– Mangue
C	– Braço de mar assoreado
D	– Atracadouro parcialmente erodido
E	– Salinas
SITUAÇÃO TENDÊNCIAL	
F	– Carcinicultura expandida
G	– Mangue degradado
H	– Canal assoreado
I	– Atracadouro destruído
J	– Casa destruída pela erosão
K	– Carcinicultura empresarial

J – Casa demolida pela erosão
K – Carcinicultura empresarial
SITUAÇÃO DESEJADA
L – Lagoa de estabilização
M – Mangue preservado e expandido
N – Canal dragado
O – Atracadouro reconstruído e expandido
P – Cooperativa de pequenos produtos
Q – Condomínio de carcinicultura comunitária

Fonte: Adaptado do Plano de Intervenção da Orla Marítima de Icapuí - CE

Nos anos que se seguiram o município passou por sérios problemas relacionados a atuação das marés nas comunidades locais, até que em 2011, após danos causados à diversas casas e uma escola na localidade da Praia da Barrinha, onde só restou o pátio e que culminou com a demolição da mesma, passou a se pensar em modos de conter o avanço do processo erosivo por meio do decreto de calamidade pública juntamente com o município de Cascavel, que também passava pelos menos problemas na Praia da Caponga, também no litoral leste do Estado (Figura 43).

Figura 43: Relatos de jornais sobre a erosão em Icapuí e danos causados pela erosão à comunidade da Praia da Barrinha.



Fonte: Jornal O Povo e blog “A Cidade Icapuí”

A opção de obra para acabar com o cenário de destruição causado pela erosão era a instalação de um muro de contenção, do tipo enrocamento, e realocação da população que teve parte de suas casas danificadas pela erosão no valor total previsto na época de R\$ 5,1 milhões.

Porém deste valor, apenas R\$2,3 milhões foram liberados em primeira instância através do Ministério da Integração devido à uma falha da equipe técnica ministerial no ato da primeira visita.

O Plano inicial contava como proposta os seguintes fins e valores: reconstrução das unidades habitacionais familiares danificados pela erosão ou construção do enrocamento, valor disponível de R\$525 mil, reconstrução das vias de acesso erodidas, valor disponível de R\$197 mil e construção do muro de contenção, valor disponível de R\$1,5 mi, parte do dinheiro também seria utilizado para a construção também de um muro de contenção na Praia de Barreiras de Cima. Cerca de 30 casas foram construídas através do financiamento pelo Programa Minha Casa, Minha Vida para realocar as famílias atingidas pela erosão e pela obra a ser instalada na Praia da Barrinha (Figura 44).

Figura 44: Relatos de jornais sobre a instalação de obras de contenção da erosão em Icapuí.



Enrocamento na Praia da Barrinha





Fonte: Jornal Diário do Nordeste e Jornal O Povo, Fotos dos enrocamento tiradas durante os trabalhos de campo.

O problema da erosão na comunidade da Praia da Barrinha foi aparentemente contido na área onde haviam residências, porém a presença da obra na localidade alterou os padrões hidrodinâmicos na área, causando um sério recuo da linha de costa em áreas próximas, tal fato será explorado nos próximos capítulos com mais detalhes.

A erosão costeira não deixou de ser um tema abordado nos veículos midiáticos após a instalação do muro de contenção na Praia da Barrinha, muito pelo contrário, as notícias relacionadas ao processo erosivo no litoral leste do Estado e em Icapuí ficaram cada vez mais recorrentes, entre os anos de 2012 e 2014, principalmente nas Praia de Barreiras de Baixo e Redonda.

Assim como foi feito para a área da Praia da Barrinha passou-se a pensar na instalação de novas obras de contenção nestas áreas, mesmo as estruturas edificadas estando bastante danificadas devido ao processo erosivo. Em março de 2014 foi assinado e publicado o decreto nº 8.206 onde é liberado o valor de R\$10 milhões para as obras de contenção da erosão costeira em Icapuí.

As obras na Praia de Barreiras de Baixo tiveram o seu início em dezembro de 2015 e finalizadas em meados de junho de 2016, diferentemente do que foi apresentado no primeiro plano de construção de obras de contenção em Icapuí, não foi até então descrito como a verba disponibilizada seria utilizada. Em janeiro de 2017 foi assinada a ordem de serviço para a continuação das obras na Praia de Barreiras e Redonda com o valor atualizado de R\$ 10.668.614,09, portanto já foram gastos/estão previstos quase R\$ 16 milhões em medidas de proteção contra o avanço do mar no município de Icapuí (Figura 45).

Figura 45: Relatos de jornais sobre a destruição de casas em Icapuí por causa da maré e decreto n° 8.206.

The image shows two documents side-by-side. On the left is a newspaper article from 'Diário Regional' with the headline 'Maré alta causa destruição em comunidades de Icapuí'. The article includes a photograph of a damaged structure and text describing the impact of high tides on local communities. On the right is a legislative decree from the 'Câmara dos Deputados' (Brazilian Chamber of Deputies), signed by José Guimarães, which approves a special credit for the municipality of Icapuí.

Fonte: Jornal Diário do Nordeste.

Em dezembro de 2017 o município passou por novos problemas relacionados ao avanço das marés sobre as localidades, tal situação se mostra recorrente na localidade conforme pode ser observado ao longo dos trabalhos de campo e levantamento de informações com os moradores que vivem nas localidades, estando sempre concentrada em momentos onde os fenômenos atingem seus picos máximos ao longo do ano, nas marés de sizígia, na lua nova e cheia. Porém tal fato é potencializado durante as marés equinociais, quando o sol cruza o equador terrestre aumentando a amplitude das marés, que ocorrem em março e setembro e principalmente quando ocorre o fenômeno chamado “Superlua” ocasião na qual a lua cheia ocorre quando a Lua se encontra próxima ao perigeu, ou seja, distância mínima entre o satélite natural e a Terra.

A Superlua que ocorreu no início do mês de dezembro de 2017, provocou o transpasse de água sobre as dunas frontais que se fazem presentes em um trecho da Praia de Barreiras de Cima, causando sérios danos às residências e alagando vias de acesso próximas e/ou dentro do limite de alcance máximo da maré, deixando a comunidade ali residente isolada por algumas horas. Vale ressaltar que na ocasião o nível da água na maré de sizígia ficou exatamente o mesmo do outro lado da pista, não sendo piorado devido à ausência de ondas no local (Figura 46 e 47).

Figura 46: Problemas relacionados à ação da maré na Superlua em dezembro de 2017.



Fonte: Diário do Nordeste.

Figura 47: Comparação entre os anos de 2012 e 2017 no trecho entre a Praia da Barrinha e Barreiras de Cima.

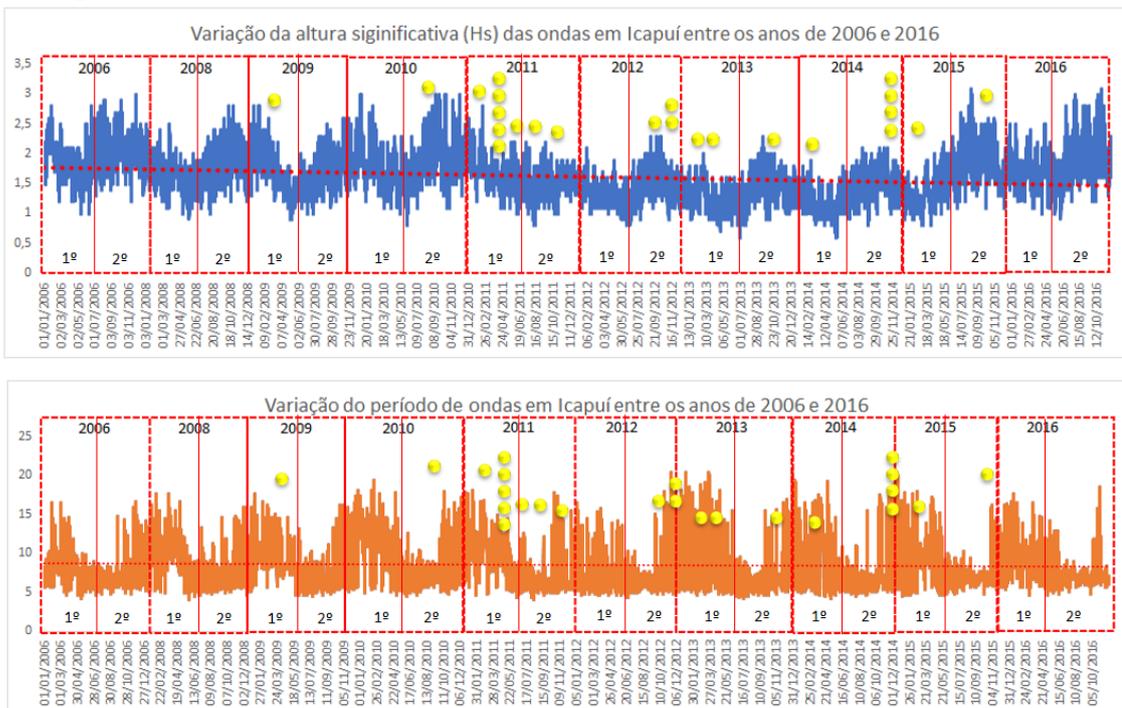


Fonte: Imagens Google Street View de 2012 e Jornal Diário do Nordeste de 2017.

Ao analisarmos a linha do tempo referente ao histórico da problemática da erosão no litoral leste do Estado, mais precisamente no litoral de Icapuí e extraírmos apenas aquelas que tratam diretamente do impacto causado pela erosão no município é possível relacioná-las com os dados obtidos da base de dados do modelo *Wavewatch III* para o período entre os anos de 2006 e 2016 de maneira a tentar identificar quais os processos e condições oceanográficas faziam-se atuantes no período em os danos ocorreram de acordo com o que fora relatado no corpo das notícias (Gráfico 12 e figura 48).

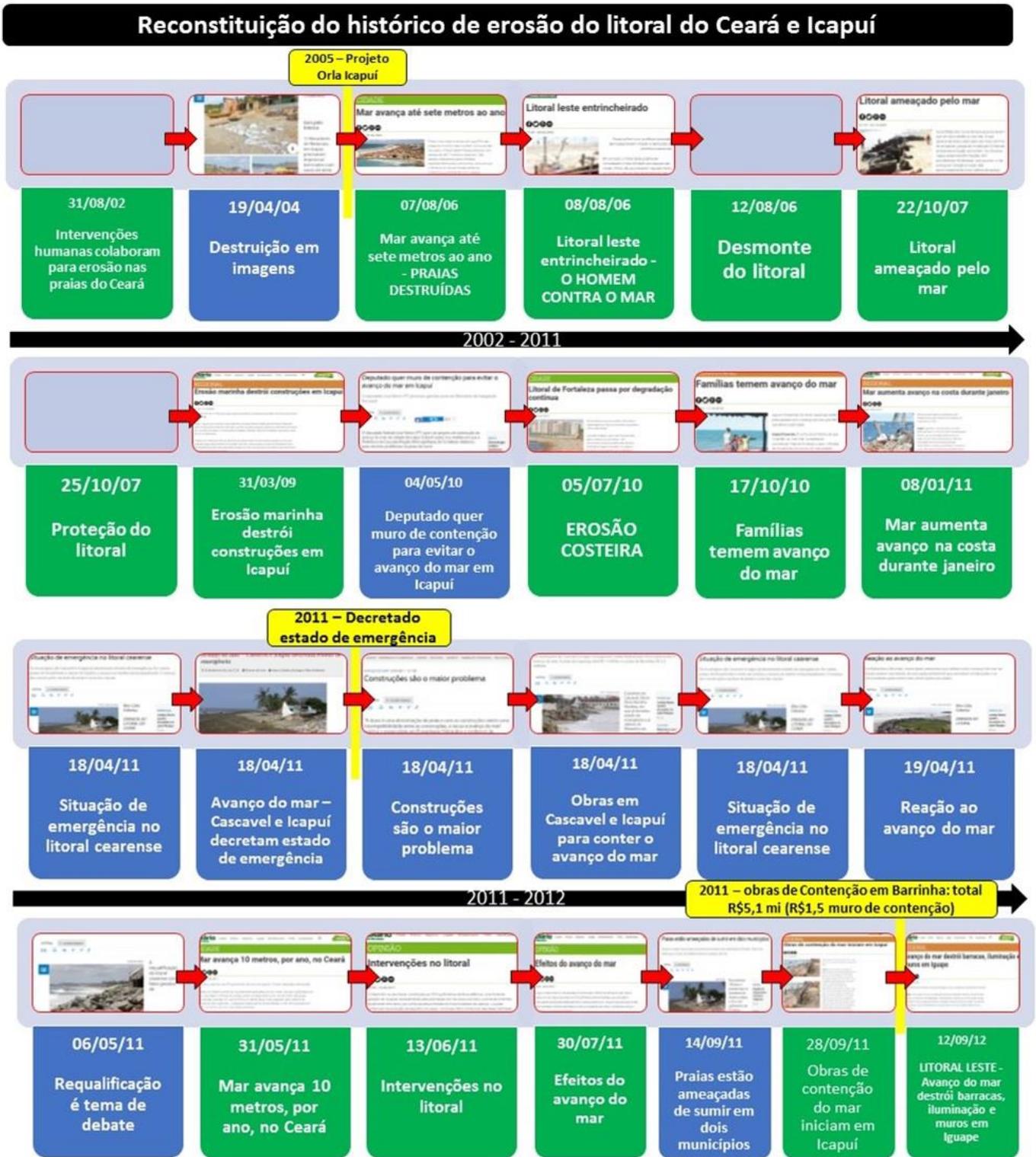
Os dados obtidos mostram uma altura significativa (H_s) média para o período entre 2006 e 2016 de 1,6 metros com período médio de 8,4 segundos com picos de 3,1 m de altura registrado em agosto de 2015 e outubro de 2016 e período máximo atingido de 20,4 segundos em março de 2013. As principais correlações estão concentradas nos meses de março/abril e setembro, período de ocorrência de marés equinociais, onde atingem suas amplitudes máximas e que em alguns momentos pode variar entre 3,6 e 4 m, além da presença de ondas com H_s mais elevado, o que pode ser refletido na altura das ondas na arrebentação (H_b) (Gráfico 12 e Figura 48).

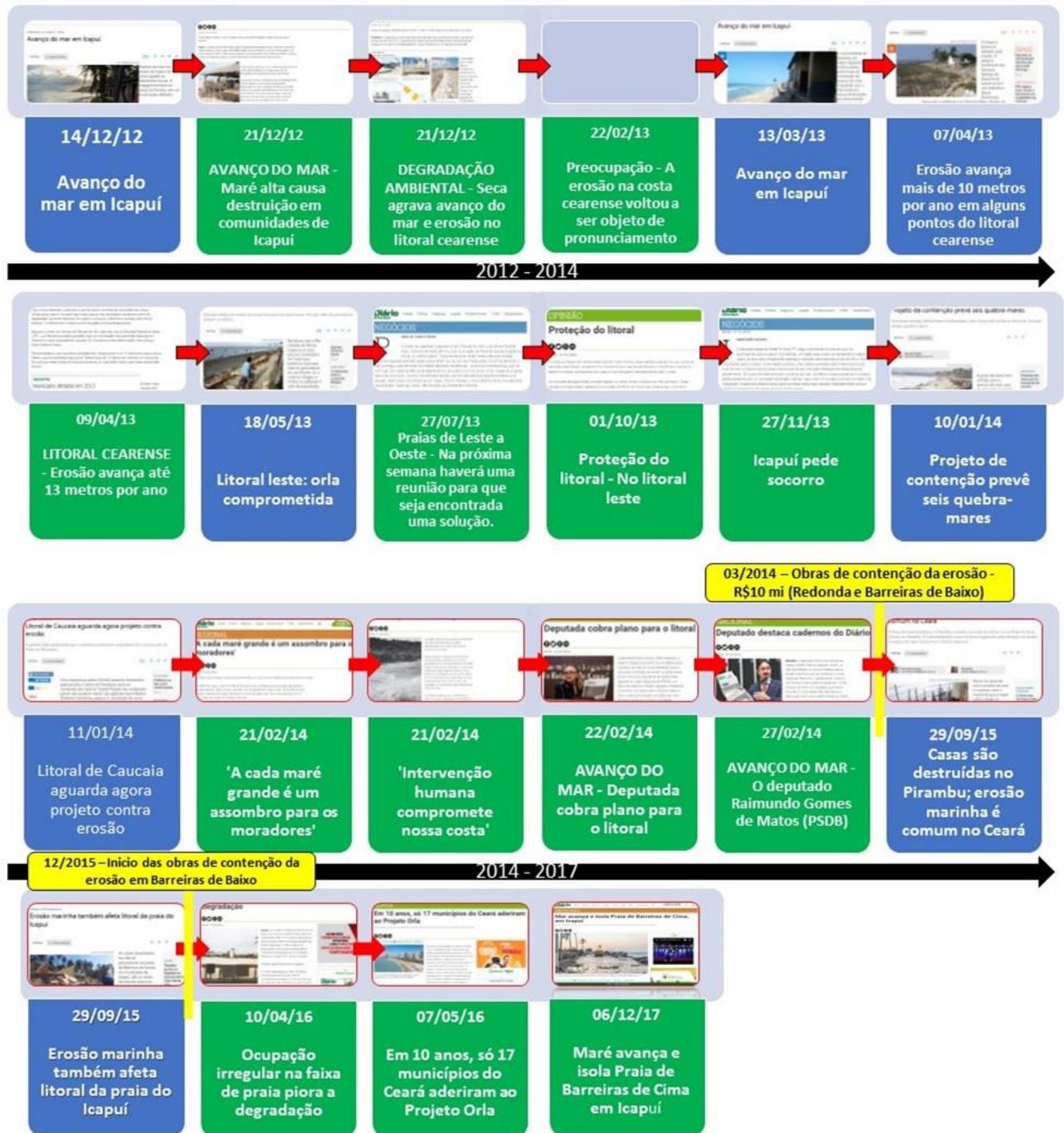
Gráfico 12: Correlação entre os principais eventos erosivos relatados em Icapuí e as condições oceanográficas nos dias dos registros



Fonte: Base de dados entre os anos de 2006 e 2016 do modelo WAVEWATCH III e acervo digital dos jornais Diário do Nordeste e O Povo.

Figura 48: Linha do tempo da erosão costeira no litoral do Ceará e Icapuí.





Fonte: acervo digital dos jornais Diário do Nordeste e O Povo.

5.2. Geoindicadores de Processos Erosivos e Medidas de Contenção da Erosão no Litoral de Icapuí

No que se refere à análise dos indicadores dos processos erosivos ao longo do litoral monitorado, utilizou a metodologia proposta por Souza (2009), onde dos 13 indicadores

apontados pela autora, 8 foram observados ao longo dos trabalhos de campo e estão listados no Quadro 23 abaixo. A maioria dos indicadores encontram-se localizados na Praia de Barreiras de Baixo, o que comprova a gravidade deste processo neste trecho do litoral de Icapuí.

Quadro 23: Indicadores de erosão costeira no litoral do monitorado em Icapuí.

INDICADORES DE EROÇÃO COSTEIRA IDENTIFICADOS NAS ÁREAS DE MONITORAMENTO EM ICAPUÍ	
1	<p>Pós-praia muito estreita ou inexistente devido à inundação pelas preamares de sizígia (praias urbanizadas ou não).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: center;">Praia de Barreiras de Baixo</p>
2	<p>Retrogradação geral da linha de costa nas últimas décadas, com franca diminuição da largura da praia, em toda a sua extensão ou mais acentuadamente em determinados locais dela (praias urbanizadas ou não).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: center;">Praia da Barrinha / Barra Grande</p>
3	<p>Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, sem o desenvolvimento de falésias (praias urbanizadas ou não).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: center;">Trecho entre as Praias da Barrinha e Barreiras de Cima</p>
4	<p>Intensa erosão de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, provocando o desenvolvimento de falésias com alturas de até dezenas de metros (praias urbanizadas ou não).</p>

		
Praia de Barreiras de Baixo		
5	<p>Destruição de faixas frontais de vegetação de “restinga” ou de manguezal e/ou presença de raízes e troncos em posição de vida soterrados na praia, causados pela erosão acentuada ou o soterramento da vegetação devido à retrogradação/migração da linha de costa sobre o continente.</p>	
		
Praia de Barreiras de Cima		
6	<p>Exumação e erosão de depósitos paleolagunares, turfeiras, arenitos de praia, depósitos marinhos holocênicos e pleistocênicos, ou embasamento sobre o estirâncio e/ou a face litorânea atuais, devido à remoção das areias praias por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não).</p>	
		
Praia de Barreiras de Baixo		
7	<p>Frequente exposição de “terraços ou falésias artificiais”, apresentando pacotes de espessura até métrica de camadas sucessivas de aterro erodido e soterrado por camadas de areias praias/eólicas, no contato entre a praia e a área urbanizada.</p>	
		

	Praia de Barreiras de Baixo	
8	Destruição de estruturas artificiais construídas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos, a pós-praia, o estirâncio, as faces praial e litorânea, a zona de surfe/arrebentação e/ou ao largo.	
		
	Praia de Barreiras de Baixo	

Fonte: Adaptado de Souza, 2009.

A mesma autora *op.cit.* aponta as possíveis causas da erosão através de 20 categorias, onde as 13 primeiras estão diretamente relacionadas às causas naturais, as últimas 6 categorias estão ligadas diretamente às modificações causadas pela ação antrópica ao longo da linha de costa, e assim como foi constatado na análise dos indicadores de processos erosivos, as Praias de Barreiras de Cima, Setor 1 e Barrinha, no Setor 3 são as que apresentam o maior número de influência antrópica nos processos erosivos nas localidades (Quadro 24).

Quadro 24: Causas antrópicas da erosão costeira em Icapuí.

POSSÍVEIS CAUSAS ANTRÓPICAS DA EROSÃO COSTEIRA EM ICAPUÍ		
1	Urbanização da orla, com destruição de dunas e/ou impermeabilização de terraços marinhos holocênicos e eventual ocupação da pós-praia.	
		
	Trecho entre as Praias de Barreiras de Baixo e Barreiras de Cima	
2	Implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa: espigões, molhes de pedra, enrocamentos, píers, quebra-mares, muros, etc., para "proteção costeira" ou contenção/mitigação de processos erosivos costeiros ou outros fins; canais de drenagem artificiais.	

		
	<p>Praia da Barrinha / Barra Grande</p>	<p>Praia de Barreiras de Baixo</p>
	<p>Armadilhas de sedimentos associadas à implantação de estruturas artificiais, devido à interrupção de células de deriva litorânea e formação de pequenas células.</p>	
<p>3</p>		
	<p>Trecho entre as Praias de Barreiras de Baixo e Barreiras de Cima</p>	
	<p>Retirada de areia de praia por: mineração e/ou limpeza pública, resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas.</p>	
<p>4</p>		
	<p>Praia de Barreiras de Baixo</p>	
	<p>Conversão de terrenos naturais da planície costeira em áreas urbanas provocando impermeabilização dos terrenos e mudanças no padrão de drenagem costeira (perda de fontes de sedimentos).</p>	
<p>5</p>		
	<p>Praia de Barreiras de Baixo</p>	
	<p>Balanco sedimentar atual negativo decorrente de intervenções antrópicas</p>	



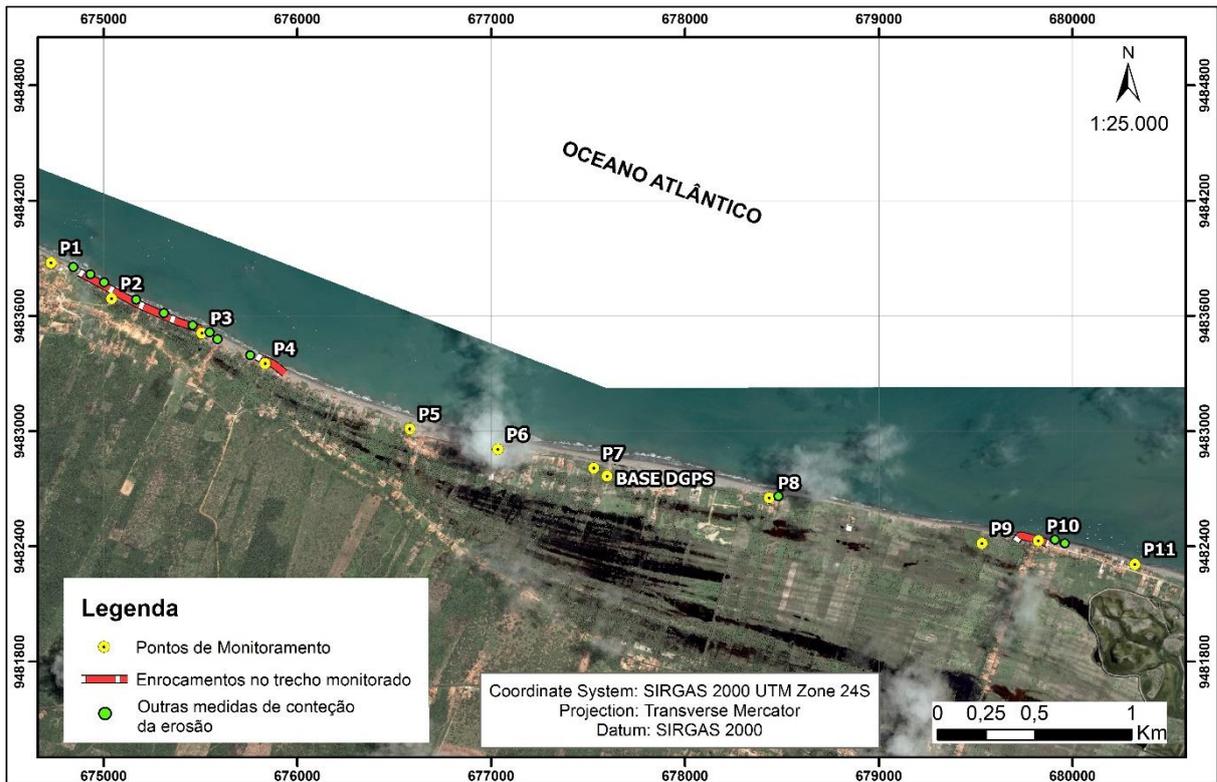
Fonte: Adaptado de Souza, 2009.

Na última década o município de Icapuí vem sofrendo acentuada erosão em suas praias, resultando no recuo de dunas frontais e danos socioeconômicos nas frentes marítimas urbanizadas. Medidas para proteção da erosão tem sido cada vez mais recorrente no litoral cearense, justificando em grande parte os investimentos em estruturas rígidas de proteção costeira. Estas estruturas apesar de implantadas com a finalidade de estabilização e proteção da linha de costa, podem por vezes potencializar os processos erosivos, sendo necessários planos de monitoramento que avaliem a sua performance. Dessa maneira, essas estruturas construídas alteram a dinâmica praial devido a estabilização da pós-praia nos setores do litoral do município de Icapuí.

Foi observado que ao longo das praias monitoradas que desde a intensificação dos processos erosivos até os dias atuais, foram utilizadas uma série de medidas de contenção da situação, principalmente nas Praias de Barreiras de Cima e na Praia da Barrinha, áreas onde o processo se faz com mais intensidade, conforme já discutido anteriormente em virtude dos diferentes níveis de ocupação evidenciando cenários de destruição causados pela ação das marés. Em função disto foram construídas, em caráter emergencial, estruturas fixas de proteção costeira devido à gravidade da situação local.

A artificialização da linha de costa pode resultar em uma série de impactos, que vão desde questões visuais, acessibilidade, perda de áreas ocupáveis pela construção da obra, redução do aporte de sedimentos, modificações na biota local, além de provocar erosão ativa, quando o processo é acelerado pela interação da obra com as ondas e erosão passiva, que talvez seja a mais agressiva e de difícil entendimento, ocorre quando uma estrutura de contenção é construída defronte a um bem para a sua proteção, portanto, a praia é fixada neste ponto (MORAIS, 1980; MORAIS, 1981, MORAIS, 2006, RUGGIERO, 2010 e PAULA, 2015). (Figura 49).

Figura 49: Métodos de contenção da erosão identificados ao longo da orla monitorada.



Fonte: Autoria própria.

Na Praia da Barrinha / Barra Grande foram identificados problemas que estão relacionados à impactos visuais, acessibilidade e principalmente à erosão passiva, causada pela fixação da linha de costa. Devido a estabilização da pós-praia constatou-se indícios de erosão em áreas à sotamar da construção (Figura 50).

Figura 50: Enrocamento na Praia da Barrinha/Barra Grande





Fonte: Autoria própria.

Na Praia de Barreiras de Baixo, área que atualmente apresenta o cenário mais crítico em relação à erosão no município, também foi possível identificar problemas relacionados aos aspectos visuais, de acessibilidade e perda de espaço ocupável (*e.i.* lazer e moradia) pela construção da obra. Outro problema evidenciado é o processo de erosão passiva e ativa ocasionado por ações individuais de proteção instaladas por parte dos moradores (*e.i.* instalação de sacos de areias e estacas de madeira) provocando pontualmente recuos em direção à terra e criando promontórios artificiais fora do segmento protegido pela obra (Figura 51).

Figura 51: Métodos de contenção da erosão costeira na Praia de Barreiras de Baixo.





Fonte: Autoria própria (2017) e Raimundo Félix, 2014.

O histórico dos danos causados pela atuação de processos erosivos feito através do levantamento em notícias de jornais no litoral do Ceará mostrou que houve um aumento dos casos principalmente nos anos iniciais desta década, com um agravamento a partir de 2011, estando a sua maioria relacionada principalmente ao aumento da ocupação do longo do litoral e como ela se relaciona com os processos costeiros e climáticos inerentes ao nosso Estado.

Notou-se que as notícias estão concentradas nos primeiros meses do ano, momento em que há uma maior incidência de ondas do tipo Swell na costa do Estado, conforme aponta Maia (1998), Paula (2012) e Maia (2016), porém quando analisamos somente as notícias que tratam de Icapuí, notamos uma maior influência da atuação das marés, fato bastante comentado por moradores locais, em diversos momentos, seja através das notícias analisadas e de conversas com a população local, há afirmações que apontam as marés como causadoras principais da erosão costeira na localidade, que são corroboradas pelos experimentos de campo e fotografias analisadas ao longo da pesquisa. Os moradores relatam ainda que o problema seria maior caso houvessem ondas no local, de fato, as características (e.i. baixa declividade e baixa

profundidade) do litoral de Icapuí impedem que ondas de maior altura e poder erosivo atinjam diretamente a linha de costa do Município.

Desta forma, nos momentos em que ocorrem as marés de sizígia, marés equinociais e principalmente o fenômeno chamado “Superlua” temos os maiores danos à ocupação que se faz presente ao longo da orla de Icapuí, em virtude da sobrelevação da maré, devemos ainda lembrar que nestes momentos de maior amplitude podemos ter a associação de ondas provenientes de ressacas, que podem potencializar o problema da erosão no local, principalmente no começo do ano. A erosão esta já bastante presente no dia a dia das comunidades residentes em Icapuí, amplamente perceptível como pode ser observado através dos indicadores ao longo de toda a linha de costa monitorada.

As tentativas de contenção do processo, sejam elas de iniciativa da própria comunidade ou da Prefeitura local se mostraram funcionais apenas de forma pontual, mas ao longo da pesquisa foi possível identificar que algumas obras construídas na linha de costa em Icapuí acabaram por acelerar o processo erosivo em alguns trechos do litoral do município, como o enrocamento na Praia da Barrinha, seja pela criação de armadilhas de sedimentos, diminuindo assim o aporte sedimentar, essas obras causam modificação nos padrões de ondas e correntes devido à difração e refração, o que aumenta o potencial erosivo (MORAIS, 1980; MORAIS, 1981 e MORAIS et. Al, 2006)

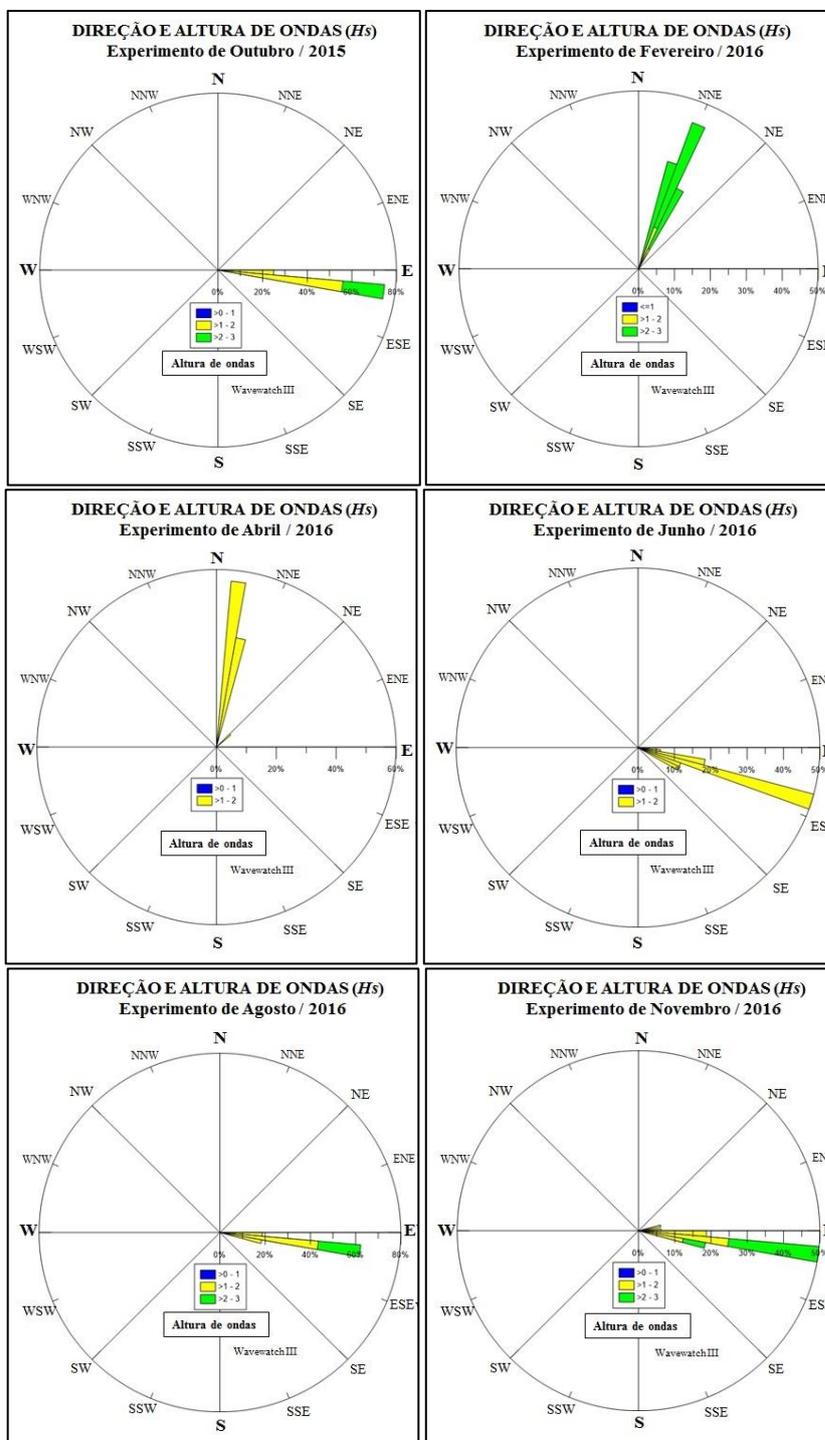
A análise dos indicadores de processos erosivos nas áreas monitoradas juntamente com as já identificadas possíveis causas de erosão relacionadas às atividades antrópicas no litoral de Icapuí será maximizada através da comparação das linhas de costa obtidas ao longo dos trabalhos de campo e de imagens disponíveis entre os anos de 2002 e 2016 e suas respectivas taxas de recuo e/ou progradação que serão detalhados mais à frente.

6. DINÂMICA COSTEIRA DO LITORAL DE ICAPUÍ: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DA EROSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos por meio dos 6 experimentos de campo realizados no trecho monitorado em Icapuí entre outubro de 2015 e novembro de 2016. Os parâmetros de ondas referentes à altura (H_s), altura de onda na arrebentação (H_b), direção predominante e período ao longo o dia e no momento dos experimentos de campo foram obtidos por meio do modelo Wavewatch III. Nota-se uma frequência maior de ondas do quadrante E –

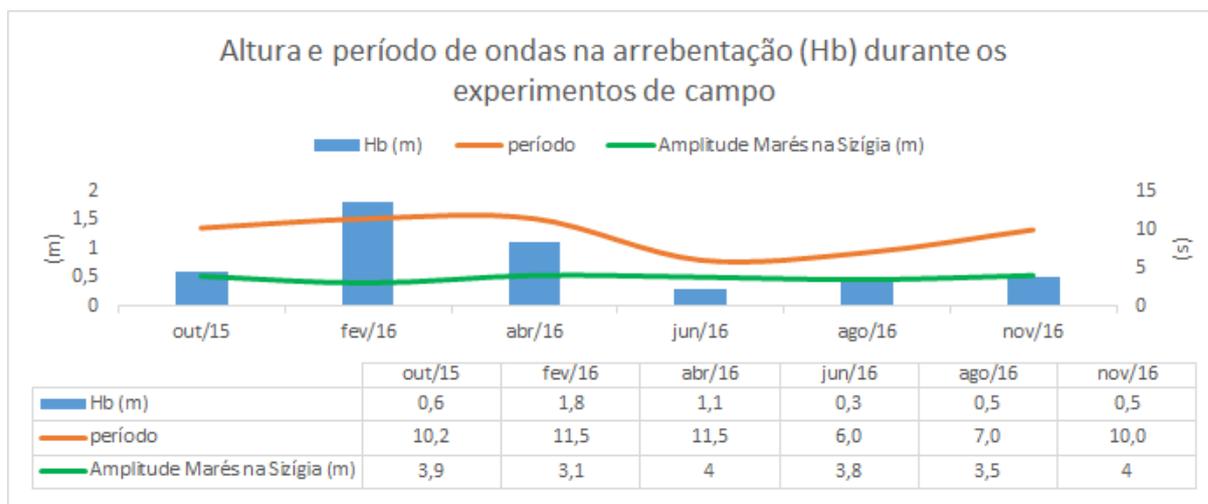
ESE e nos meses de fevereiro e abril de 2016 foram identificadas ondas provenientes de N-NNE e NE (Gráficos 13 e 14).

Gráfico 13: Dados de ondas para o dia dos experimentos de campo realizados em 2015 e 2016.



Fonte: Modelo de ondas Wavewatch III – NOAA, Surfuru, CPTEC/INPE.

Gráfico 14: Condições oceanográficas durante os experimentos de campo



Fonte: Dados de ondas do Modelo Wavewatch III e Tábua de Marés Porto de Areia Branca, DHN.

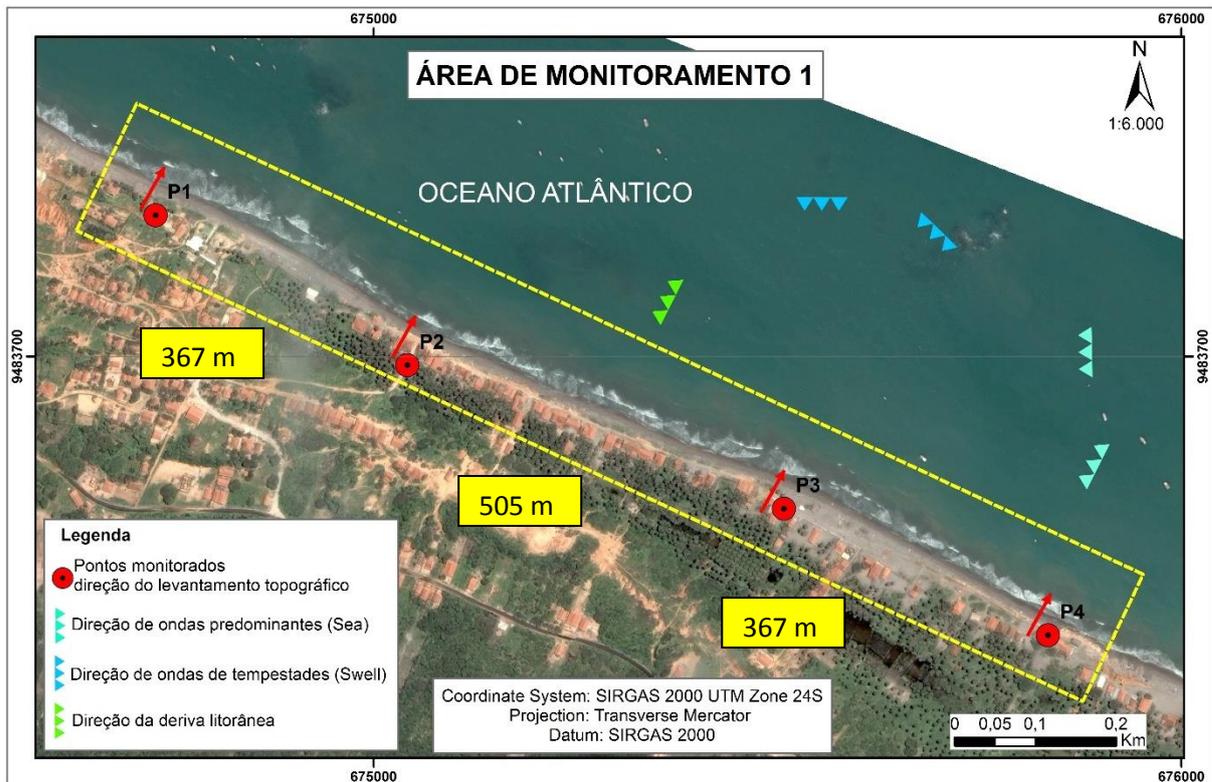
Para fins de análise foram consideradas as variações dos 11 perfis topográficos ao longo dos 3 setores monitorados, evidenciando as principais alterações observadas durante os experimentos, bem como as variações volumétricas e balanço sedimentar, o que possibilita analisar a variabilidade longitudinal do ponto monitorado. O segundo ponto tratará dos aspectos sedimentológicos identificados ao longo do monitoramento, sua relação com as variações volumétricas nos perfis e possíveis agentes dinâmicos responsáveis pela dinâmica sedimentar no trecho monitorado. E por último, será analisada a variabilidade da linha de costa do trecho costeiro monitorado utilizando as imagens de satélite disponíveis e obtidas ao longo do monitoramento de campo.

6.1. Monitoramento Praial: Perfis Topográficos e Balanço Sedimentar

6.1.1. Setor 1: Pontos de monitoramento 1 a 4 (Praia de Barreiras de Baixo)

No aspecto geral, o primeiro setor monitorado apresenta perfis topográficos com média de 127 de comprimento e está a 5,6 m em relação ao Nível Médio do Mar (NMM) (0 do IBGE). Os pontos fixos utilizados como referência para a execução dos trabalhos de levantamento topográfico foram concentrados nas estruturas rígidas próximas, postes e/ou em áreas mais elevadas devido a presença de falésias neste trecho monitorado. A disposição dos pontos de monitoramento neste setor, bem como a distância entre eles pode ser verificado na figura 52, além das características oceanográficas neste trecho de Icapuí.

Figura 52: Mapa de distribuição dos pontos de monitoramento no setor 1.



Fonte: Autoria própria.

A ocupação próxima à linha de costa é característica principal deste setor, estando concentrada em sua maior parte no entorno do Ponto 2, área que através da pesquisa e dos resultados que serão apresentados mais à frente apresentou um dos maiores danos causados pela erosão ao longo dos 6 km de linha de costa monitorada, medidas de contenção são facilmente observadas ao longo da praia, que vão desde estacas de madeira, sacos de areia e dois enrocamentos de 700 m e 150 m, entre os pontos 2/3, e no ponto 4 respectivamente, com o objetivo de conter o processo erosivo nessa localidade.

Ponto 1 – Praia de Barreiras de Baixo/Barreiras da Sereia

O Ponto monitorado encontra-se fixado em uma área com a presença de falésias ativas da formação barreiras, algo característico deste trecho do litoral de Icapuí, que se fazem presentes nos arredores desta área e se estendem até a Praia de Ponta Grossa, e foi escolhido por estar localizado em uma área que normalmente age como fonte supridora de sedimentos para a praia, devido a ação erosiva das marés e ondas no local. As ocupações neste setor encontram-se em sua maioria na parte superior da falésia, muito próximo da escarpa, o que

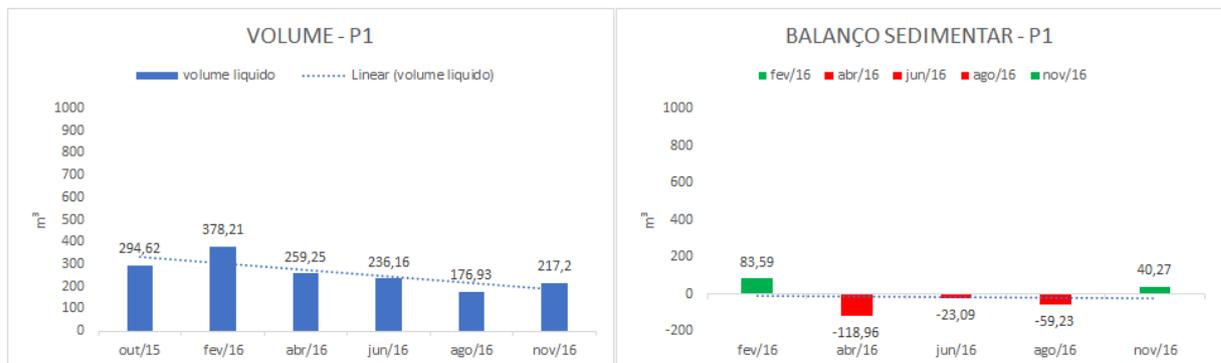
pode ser considerado um fator de risco devido à instabilidade destas feições face à ação marinha no local.

Ao longo do perfil ativo, foi possível verificar que as maiores alterações observadas durante os experimentos de campo ocorreram no estirâncio superior, que apresentou uma média 5,8°, estirâncio superior e 1,3° de declividade, estirâncio inferior. Em marés de sizígia a água alcança até a base da falésia no local, portanto não há formação clara de uma berma no pós-praia deste ponto monitorado.

A análise do volume dos perfis mostra uma tendência erosiva deste ponto, onde apresenta em média 260,4 m³, sendo os meses de outubro de 2015 e fevereiro de 2016 os que apresentaram os maiores registros, 294,6 m³ e 378,2 m³ respectivamente. Esse aumento no volume é registrado principalmente na porção superior do perfil, porém, tal processo deixa de ser constante, havendo uma perda de - 118,96 m³ entre os meses de fevereiro e abril de 2016, período marcado pela predominância de ondas incidentes de N-NE no litoral do Estado e apresentam um potencial erosivo elevado e podem causar sérias consequências em períodos de maré de sizígia (Gráfico 16).

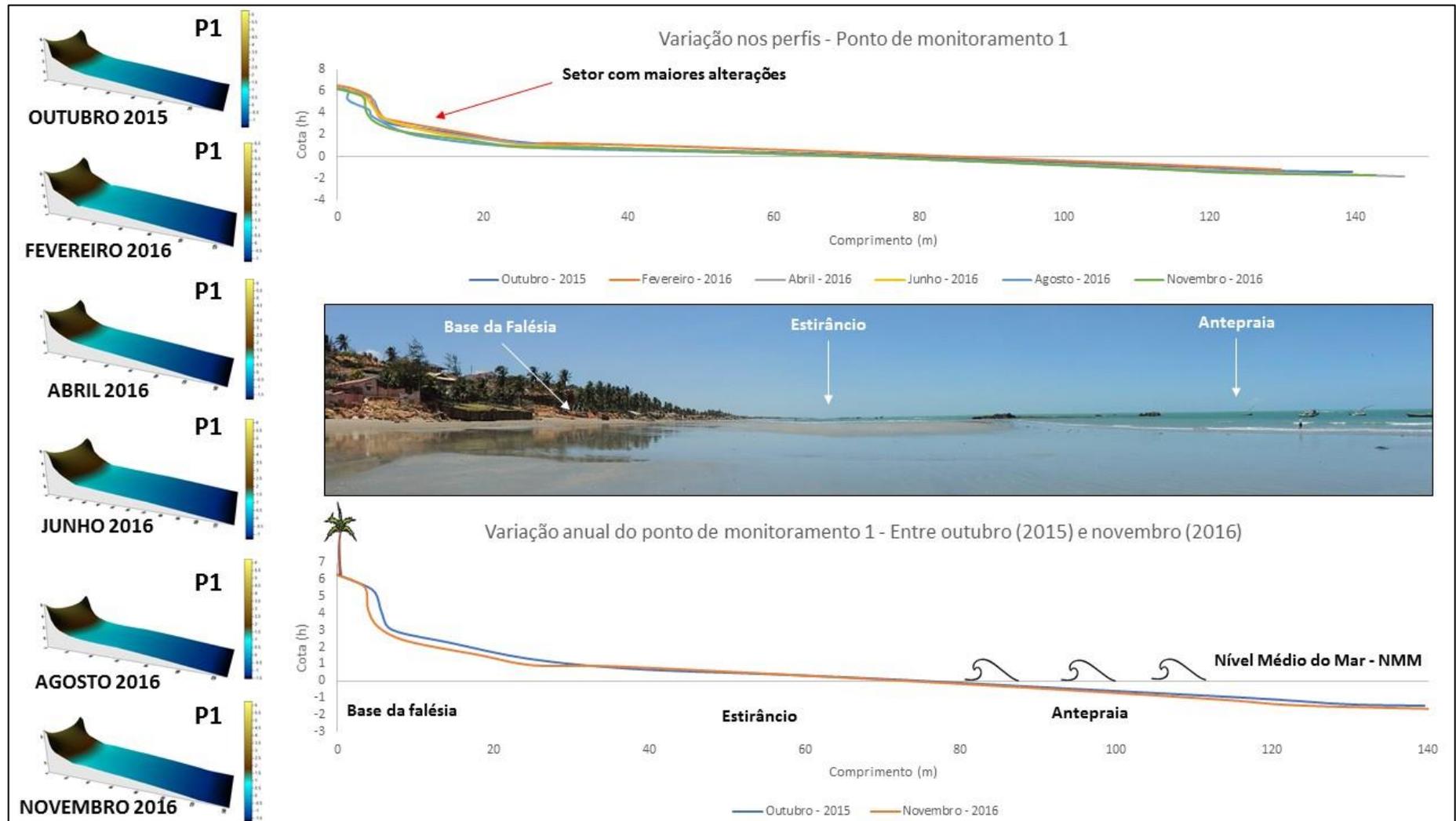
O volume do perfil passa a aumentar somente em novembro, período marcado pela incidência de ondas de direção E – ESE, com um acréscimo de apenas 40,27 m³. Entre o primeiro experimento de campo e o último, o ponto 1 perdeu - 77,4 m³, em termo gerais, esse trecho apresenta em média um balanço sedimentar negativo de - 15,5m³ (Gráfico 15 e Figura 53).

Gráfico 15: Volume e balanço sedimentar do Ponto de monitoramento 1.



Fonte: Autoria própria.

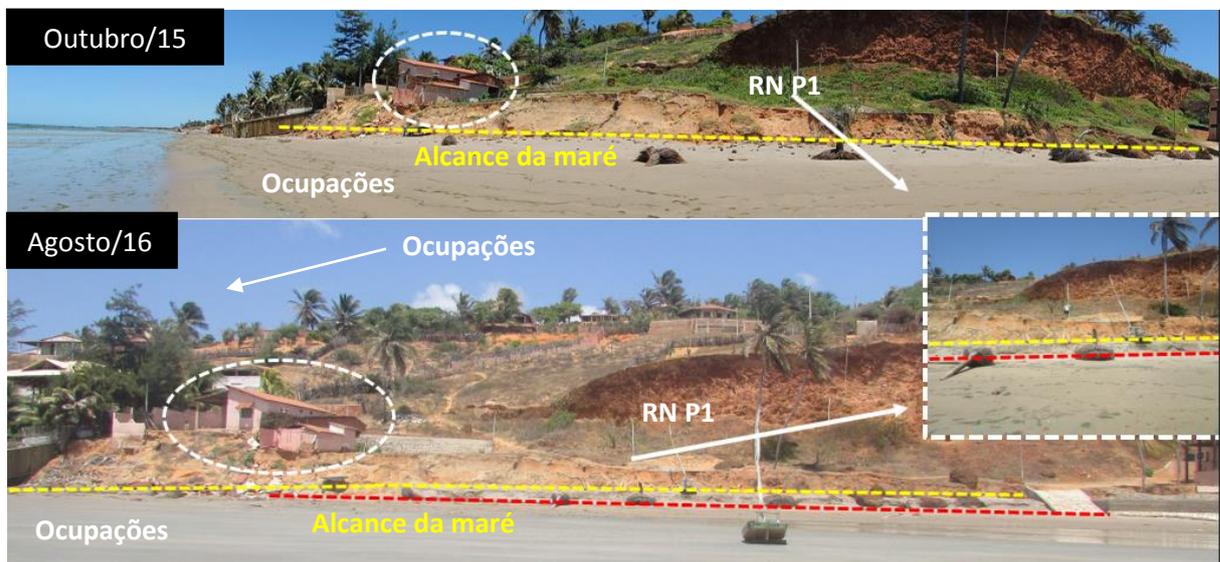
Figura 53: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 1 durante os experimentos de campo.



Fonte: Autoria própria.

Foi observado que a conclusão do enrocamento ao longo dos pontos 2 e 3 causou um rebaixamento no nível de base neste ponto em virtude dos processos de refração e difração de ondas no local, fato constatado pela exumação de antigas estruturas residenciais como muros, caixas d'águas que antes encontram-se cobertas pelos sedimentos, na ocasião também foram observados danos às edificações que ainda se faziam presentes no local. O processo de erosão potencializada por refração e difração de ondas influenciadas pela presença de estruturas rígidas de proteção costeira já foi abordado em diversos estudos, assim, fica notória uma tendência erosiva neste ponto em virtude das modificações na dinâmica costeira influenciada pela obra de contenção (Figura 54, 55 e 56).

Figura 54: Alterações na cota do estirâncio superior entre os meses de outubro/15 e agosto/16 no Ponto 1.



Fonte: Autoria própria.

Figura 55: Evolução da atuação dos processos erosivos nas estruturas construídas ao longo da linha de costa na proximidade do ponto 1.

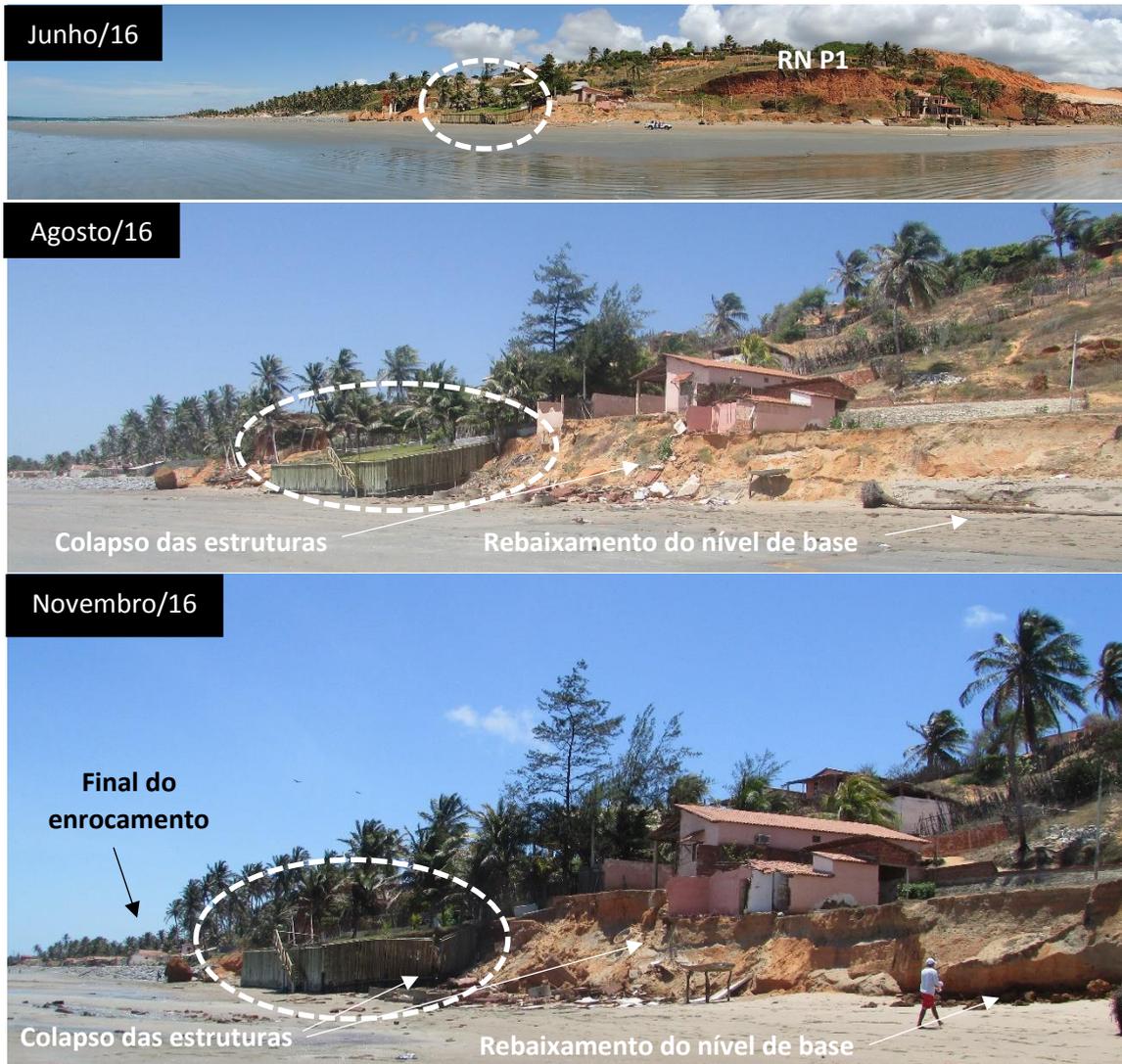




Fonte: Autoria própria. (Fotos de 2014: disponibilizadas por Raimundo Félix).

Figura 56: registros fotográficos do ponto de monitoramento 1 ao longo dos experimentos de campo.





Fonte: Autoria própria.

Ponto 2 – Praia de Barreiras de Baixo/Barreiras da Sereia

O Referencial de Nível (RN) do ponto de monitoramento 2 encontra-se fixado em uma cota inicial de 6,309 m em relação ao Nível Médio do Mar (NMM) (0 do IBGE), os perfis nesse trecho apresentam em média 126 m de comprimento, com declividade média de $4,1^\circ$ no estirâncio superior e $1,4^\circ$ no estirâncio inferior. As formas de ocupação neste setor se encontram em maioria concentradas diretamente na linha de costa estando sujeitas aos processos inerentes à esta interface e sua dinâmica natural, o que proporciona uma maior ocorrência de problemas relacionados a atuação de processos erosivos nesta área, visto que mesmo antes do início do monitoramento, a erosão já se fazia presente no local há bastante tempo, conforme relatos de moradores e matérias de jornais conforme foi visto no capítulo anterior. No mês de outubro/15,

faziam-se notar claramente a presença de residências, comércios e pousadas embargados pela Defesa Civil neste trecho devido aos riscos à população ali residente, que mesmo vivendo em um cenário de destruição se recusava a sair. As demais áreas ocupadas estão localizadas no topo das falésias próximas a este ponto (Figura 57).

Figura 57: Alterações ocorridas nas proximidades do ponto 2.



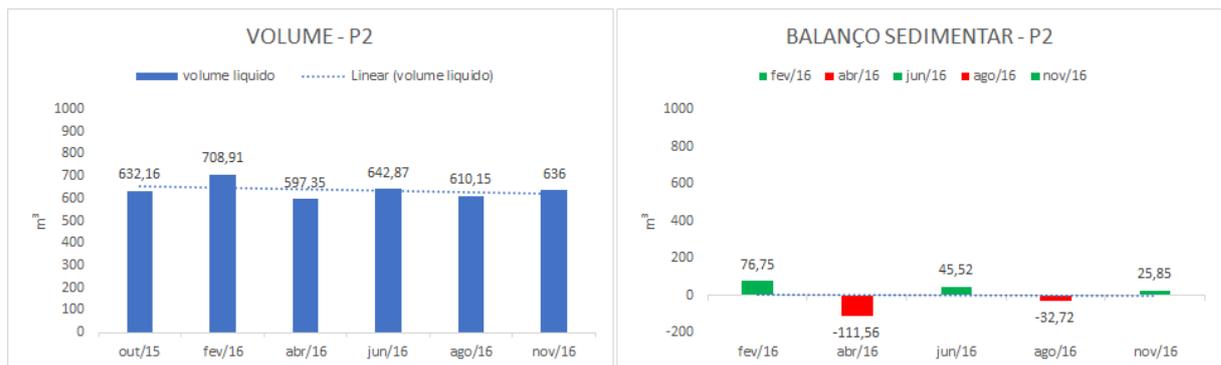
Fonte: Autoria própria. (Fotos de 2014: cedidas por Raimundo Félix).

As modificações observadas ao longo dos experimentos de campo neste trecho concentram-se principalmente na porção superior do perfil praiar devido à construção de um enrocamento de 700 m para contenção da erosão costeira neste ponto e consequente proteção

das edificações nas proximidades. No que se refere ao volume dos perfis, pode-se verificar uma média de 637,9 m³, sendo o mês de fevereiro de 2016 o que apresenta o maior volume registrado.

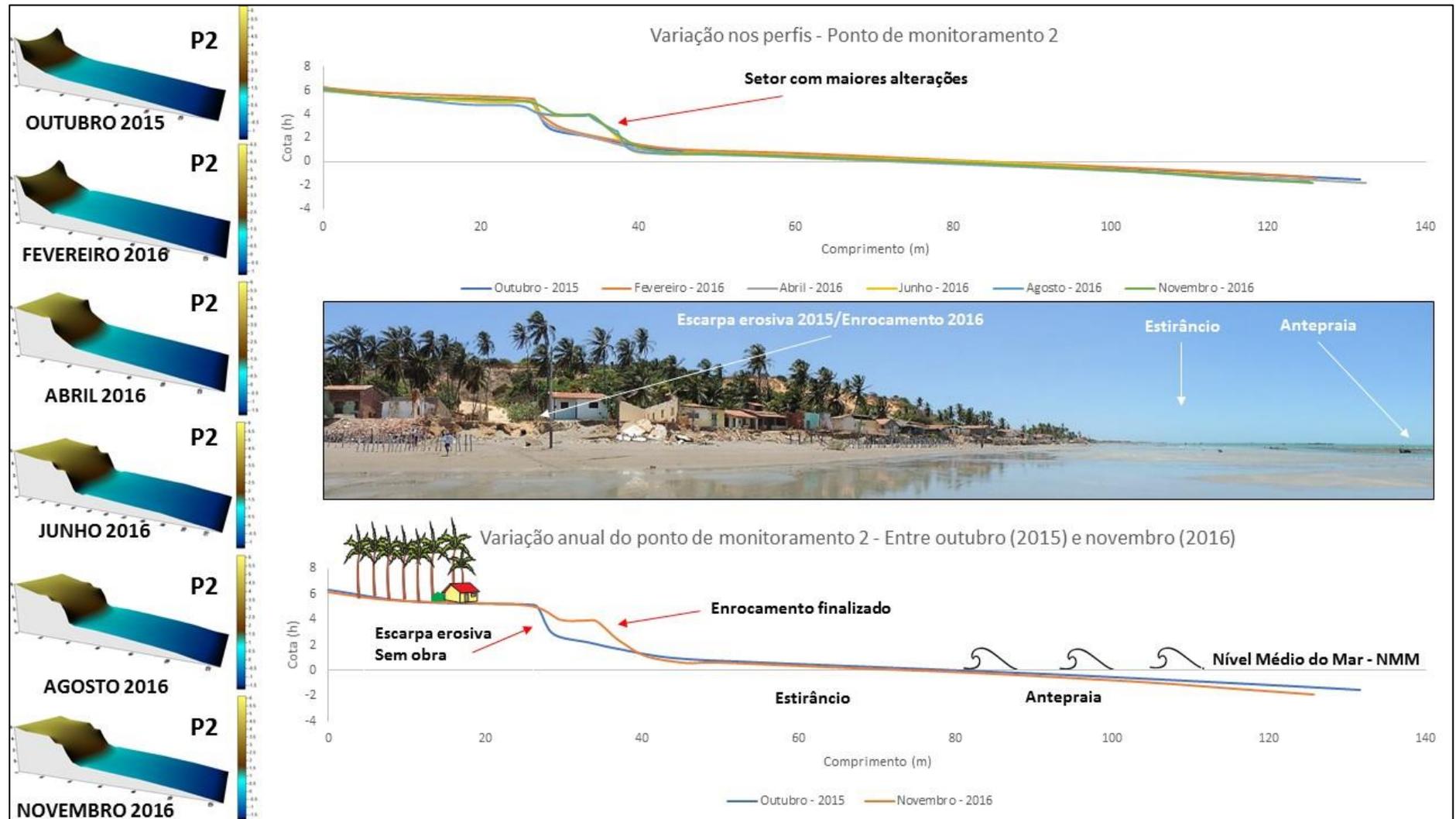
A análise do balanço sedimentar mostra uma perda de - 111,6 m³ entre os meses de fevereiro e abril de 2016, tal fato já evidenciado no ponto 1, porém vale ressaltar que esse balanço negativo pode estar relacionado diretamente às etapas de construção do enrocamento, que foi finalizado somente em meados de junho do mesmo ano. Após a finalização da obra o perfil praiar aparenta mostrar um equilíbrio, alternando entre volumes positivos e negativos, não tão significativos. Entre o primeiro e o último experimento o ponto 2 ganhou 3,84 m³ ao longo do perfil analisado, e em média apresenta um balanço sedimentar positivo de 0,768 m³ (Gráfico 16 e figura 58).

Gráfico 16: Volume e balanço sedimentar do Ponto de monitoramento 2.



Fonte: Autoria própria.

Figura 58: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 2 durante os experimentos de campo.



Fonte: Autoria própria.

A construção da obra proporcionou a contenção dos processos erosivos no local, estando ela concentrada quase que em toda a sua totalidade na área que aparentemente apresentava as maiores alterações em virtude da atuação dos processos costeiros neste trecho, isto fica evidenciado na baixa variação do volume entre os perfis topográficos realizados neste ponto, porém, no que se refere à finalização da obra, ainda faltam uma série de detalhes no quesito urbanização.

Foi possível identificar uma série de impactos à comunidade local durante e após a conclusão da obra, como por exemplo, a quantidade de detritos da construção e das estruturas danificadas pela erosão dispersos pela praia (Figura 59). Após a finalização da obra foi possível verificar também que o acesso à praia foi dificultado em virtude da diferença de nível entre o topo da obra e a praia, isso pode, a médio e longo prazo, causar problemas para atividades como a pesca e somente em meados de novembro foram construídas estruturas de acesso à praia em forma de escada, mas que não permitem o transporte de estruturas maiores, como jangadas, que agora se encontram posicionadas em um local distante da comunidade.

Figura 59: Fotos tiradas em fevereiro de 2016 durante a construção do enrocamento na área do Ponto 2.



Fonte: Autoria própria.

Os moradores relatam ainda que não há drenagem, o que foi identificado ao longo dos trabalhos de campo, os mesmos ainda afirmam que em “marés grandes” a água consegue atingir a via de acesso, que não se encontra pavimentada, tal fato pode sinalizar um problema futuro quando à integridade da estrutura indicando que este trecho apresenta um sério risco ligado à danos causados pela erosão caso não haja um melhor acompanhamento da obra e sua compatibilidade com os processos costeiros locais (Figura 60).

Figura 60: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 2 ao longo do período monitorado



Fonte: Autoria própria.

Ponto 3 – Praia de Barreiras de Baixo/Barreiras da Sereia

O Referencial de Nível (RN) do ponto de monitoramento 3 apresenta-se fixado em uma cota inicial de 5,478 m em relação ao Nível Médio do Mar (NMM) (0 do IBGE). Os perfis nesse trecho apresentam em média 140 m de comprimento, com máximo atingido em

fevereiro/16 com 149 m e mínimo de 133 m obtido em junho/16. A declividade média do estirâncio superior ficou em 4,5° e de 1,3° no estirâncio superior. Assim como o ponto 2, se caracteriza por apresentar uma ocupação baseada em residências muito próximas à linha de costa e com vários indicadores da atuação de processos erosivos no local (Figura 61).

Figura 61: Alterações ocorridas nas proximidades do Ponto 3.



Fonte: Autoria própria.

As principais alterações observadas ao longo do monitoramento estão concentradas na porção superior deste perfil onde houve o rebaixamento da cota motivado pela remoção de material sedimentar para a passagem de veículos que auxiliaram na construção do enrocamento no ponto 2. Por meio das fotos de 2014 e pelo experimento de campo outubro/15 é possível notar a presença de estacas de madeiras, colocadas com o objetivo de conter ou pelo menos reduzir a ação das marés e ondas atuantes neste ponto, portanto, sendo um indicativo de que a própria comunidade tentou minimizar o processo erosivo que deve estar presente no local há algum tempo (Figura 62).

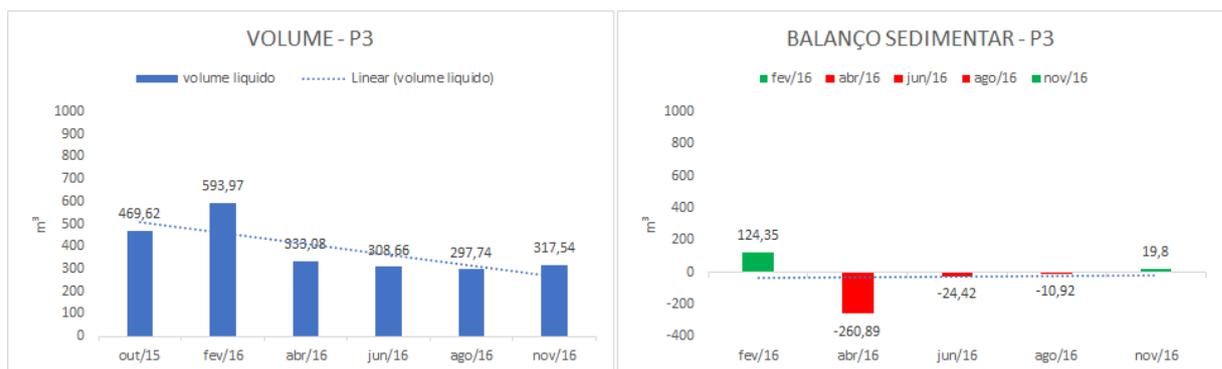
Figura 62: Estruturas de contenção da erosão no ponto de monitoramento 3 em 2014.



Fonte: fotos cedidas por Raimundo Félix.

Os perfis topográficos realizados neste ponto apresentam um volume médio de 386,8 m³, sendo o maior valor positivo registrado em fevereiro de 2016 com 124,35 m³, porém foi verificado durante a análise do balanço sedimentar que houve uma perda - 260,9 m³ de sedimentos entre fevereiro e abril de 2016, nos meses seguintes foram registrados também volumes negativos e somente um novembro que o perfil passou a ganhar sedimentos novamente, mesmo que em valores muito abaixo quando comparados aos demais pontos analisados. Foi possível observar que o perfil perdeu - 152 m³ ao longo dos experimentos de campo, e em média há um balanço negativo neste trecho de -30,4 m³, corroborando com a tendência erosiva de acordo com os resultados obtidos na análise do volume (Gráfico 17).

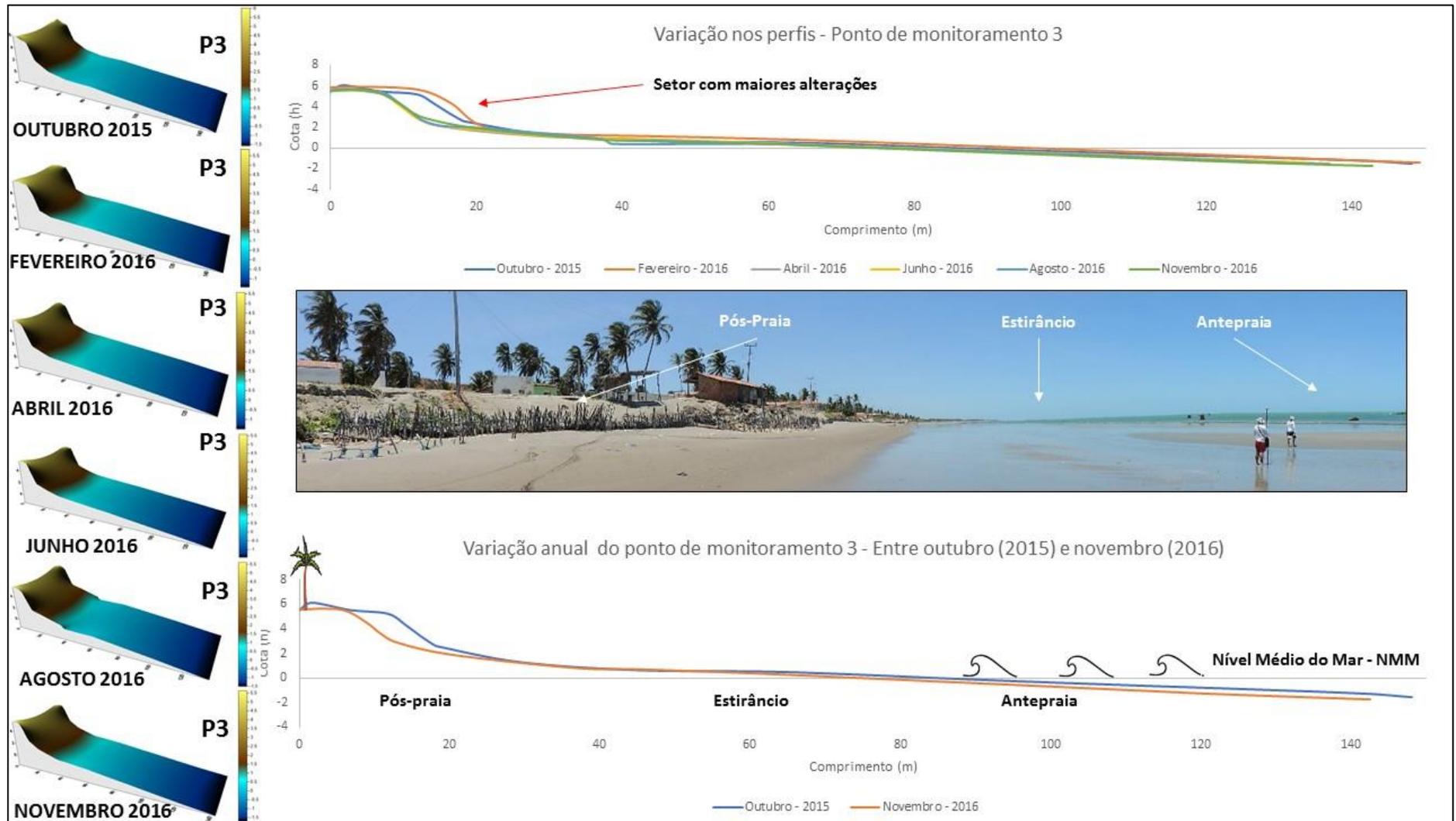
Gráfico 17: Volume e balanço sedimentar do Ponto de monitoramento 3.



Fonte: Autoria própria.

Essas alterações verificadas na porção superior do perfil, principalmente as registradas entre fevereiro e abril de 2016 foram induzidas muito provavelmente por uma ação conjunta dos processos costeiros característicos atuantes neste período no litoral de Icapuí e no restante do Estado e coincidiram também no período que a construção do enrocamento no ponto estava no auge, provocando a perda considerável de volume nesse trecho (Figura 63 e 64).

Figura 63: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 3 durante os experimentos de campo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 64: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 3 ao longo do período monitorado



Fonte: Autoria própria.

Ponto 4 – Praia de Barreiras de Baixo/Barreiras da Sereia

O Ponto de monitoramento 4 se encontra fixado em uma área de urbanização consolidada com presença de via de acesso, calçadão e residências recuadas em relação à linha de costa protegida pela presença de um enrocamento de 150 m neste trecho. Os perfis apresentaram em média 107 m de comprimento, com máximo de 110 m verificado no mês de fevereiro/16 e mínimo observado de 104 m em junho/16, a declividade média no estirâncio superior foi de 6,5° e de 1,6° no estirâncio inferior (Figura 65).

Figura 65: Alterações ocorridas nas proximidades do ponto 4



Fonte: Autoria própria.

O ponto 4 não apresentou grandes modificações durante o período da pesquisa se comparado com os demais pontos monitorados deste setor devido a presença do enrocamento já construído na área, porém é possível notar à sotamar da obra que a mesma se encontra em colapso, tal fato ocasionado pela refração e difração das ondas atuantes nesta área. É possível também destacar nesta área a presença de estacas de madeira a sotamar da obra para a contenção da erosão que atinge algumas casas na proximidade deste ponto monitorado (Figura 66).

Figura 66: Colapso na estrutura do enrocamento à sotamar do marco fixo do ponto de monitoramento 4.

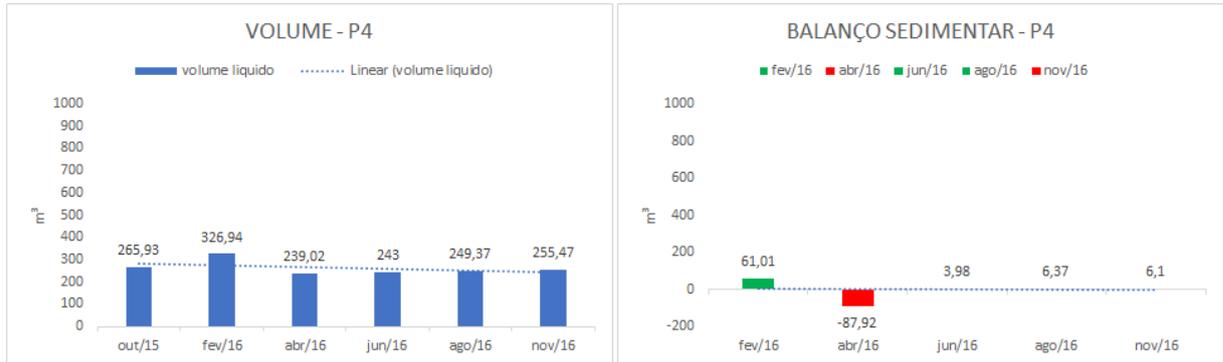


Fonte: Autoria própria.

Foi constatada uma tendência de acúmulo de material sedimentar para todos os pontos monitorados neste setor no mês de fevereiro, no ponto 4 o valor máximo atingido foi de 326,9 m³. Contudo, conforme foi observado nos demais pontos, notou-se que houve uma perda de volume de material na base da obra e no estirâncio superior entre os meses de abril, a análise do balanço sedimentar para esse período apresenta valores negativos - 87,92 m³. Nos meses seguintes de monitoramento a praia praticamente não apresentou ganho de sedimentos e consequentemente ganho no volume. O volume dos perfis nesse trecho apresenta uma média de 263,3 m³, entre o primeiro e último monitoramento a praia perdeu - 10,5 m³ (Gráfico 18 e Figura 67).

Essa estabilidade após o mês de abril indica um equilíbrio natural da praia face à dinâmica costeira atuante neste período do ano no trecho monitorado, com a diminuição das ondas de tempestade na região de Icapuí que provavelmente podem ter sido responsáveis pela perda de material identificada no intervalo de fevereiro a abril, visto que não houve qualquer tipo de construção (Gráfico 18 e Figuras 67 e 68).

Gráfico 18: Volume e balanço sedimentar no Ponto de monitoramento 4.



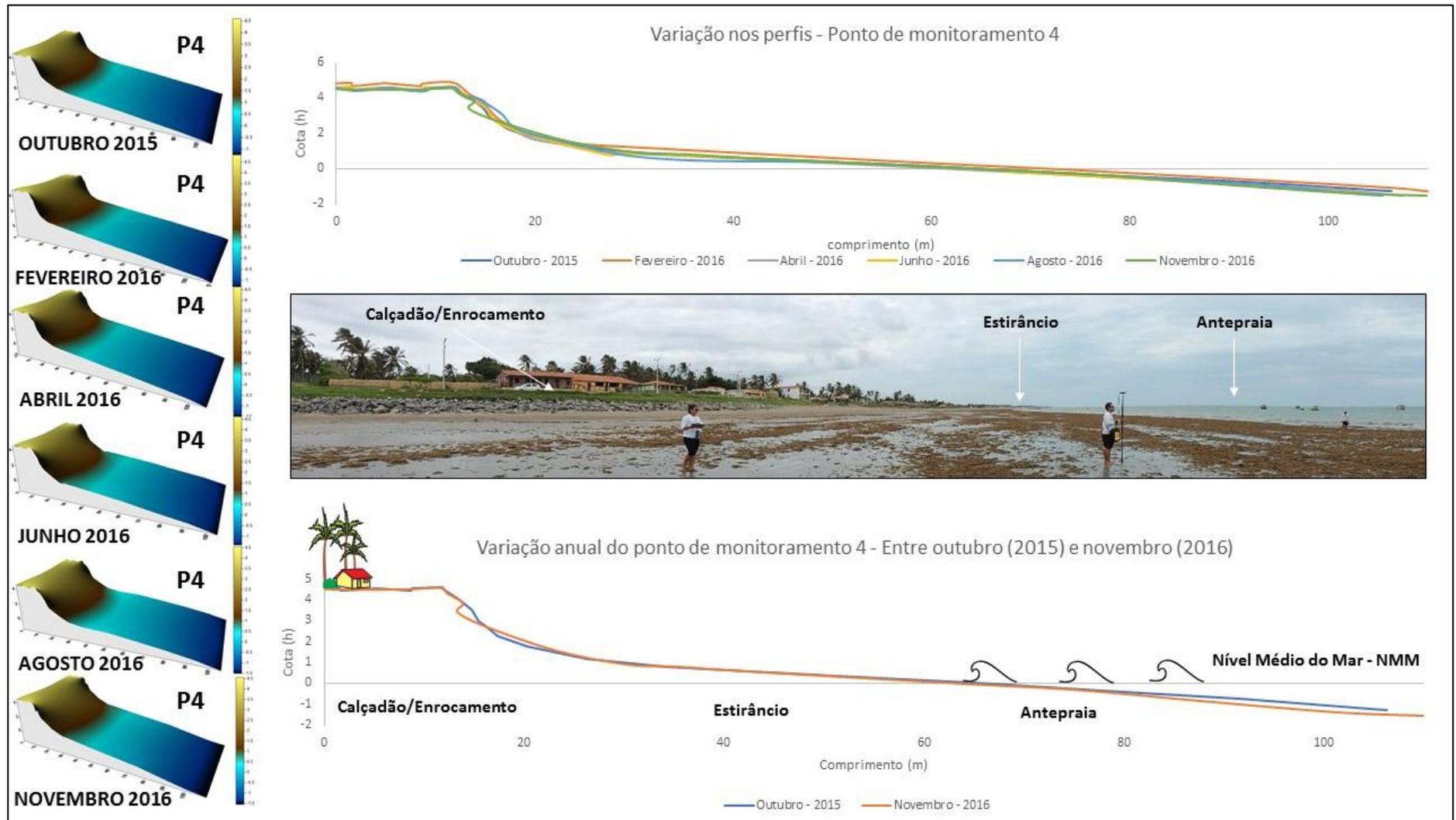
Fonte: Autoria própria.

Figura 67: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 4 ao longo do período monitorado



Fonte: Autoria própria.

Figura 68: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 4 durante os experimentos de campo.



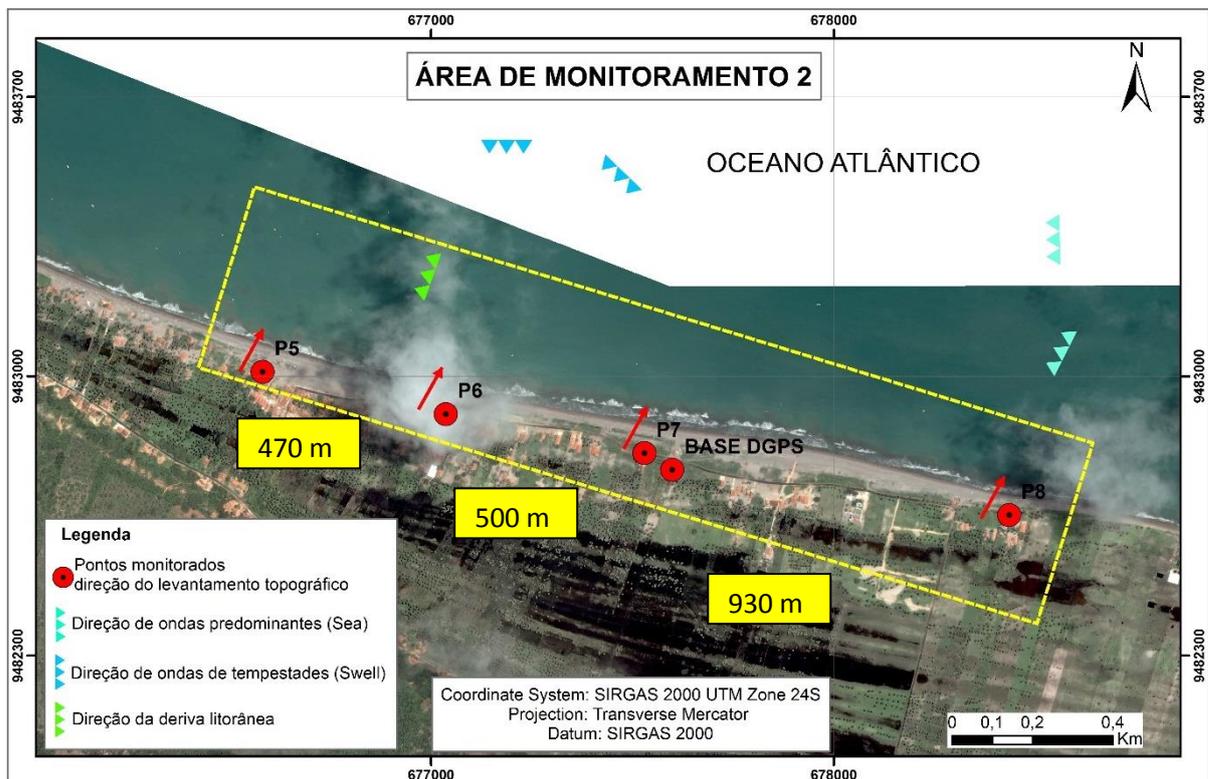
Fonte: Autoria própria.

6.1.2. Setor 2: Pontos de monitoramento 5 a 8 (Praia de Barreiras de Cima)

A segunda área encontra-se localizada quase que na sua totalidade na Praia de Barreiras de Cima e apresenta pontos com Referencial de Nível (RN) médio de 4,5 m em relação ao Nível Médio do Mar (NMM) (0 do IBGE), com perfis mais extensos em relação aos que foram obtidos no primeiro setor monitorado, em média 234 m de comprimento. Este setor apresenta um menor número de construções próximas à linha de costa, as mesmas que se fazem presentes se encontram recuadas em relação à praia, com presença de calçadões e vias pavimentadas estando protegidas por dunas frontais, tal fato que pode ser observado entre os pontos 5, 6 e 7.

O ponto 8 merece mais atenção com relação à erosão costeira nesta área, pois já houveram vários danos ao patrimônio edificado na área mesmo antes do período dos trabalhos de campo conforme relatos de moradores da área (Figura 69).

Figura 69: Mapa de distribuição dos pontos de monitoramento no setor 2.



Fonte: Aatoria própria.

Ponto 5 – Praia de Barreiras de Cima

O ponto de monitoramento 5 foi fixado a 6,223 m em relação ao Nível Médio do Mar (NMM) e apresentou durante o período de campo uma média de 191 m de comprimento, máximo obtido em abril/16 com 254 m. A declividade média da face de praia foi de 7,7° e de 1,8° no estirâncio. Esse ponto é marcado pela presença de dunas frontais e uma ocupação recuada em relação à linha de costa (Figura 70).

Figura 70: Marco fixo do ponto de monitoramento 5.

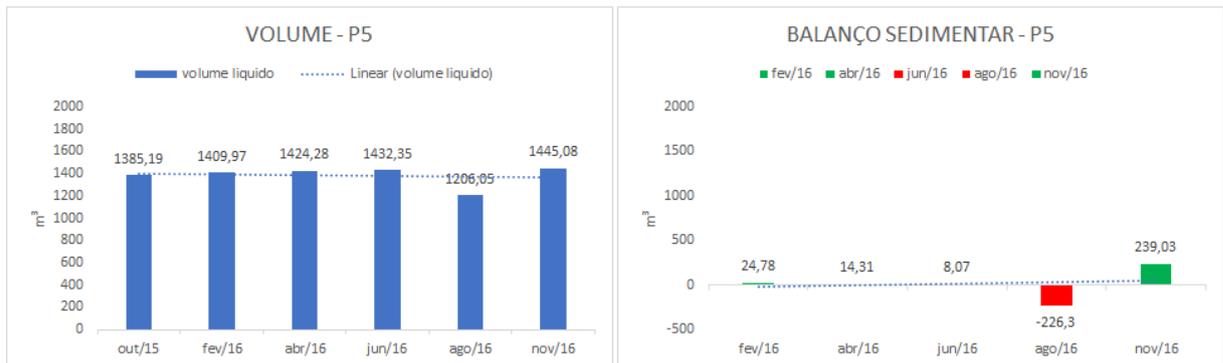


Fonte: Autoria própria.

O volume médio deste perfil é de 1383,8 m³, sendo o máximo obtido em novembro de 2016, com 1445,08 m³. Ao analisar o balanço sedimentar deste ponto, se fez notar um equilíbrio entre os meses de outubro de 2015 até meados de junho de 2016, porém, diferentemente do que foi observado nos primeiros meses do ano, entre junho e agosto foi verificada uma perda no volume do perfil de - 226,3 m³, aproximadamente 22 caçambas de 12 m³ cada, principalmente no pós-praia e base de dunas frontais na área, a reposição desse material no mês de novembro caracteriza uma recuperação da ambiente praia pós processo erosivo.

Entre o primeiro e o último experimento de campo notou-se um ganho de 59,9 m³ de material sedimentar, balanço médio mostra um valor positivo de 11,9 m³. As mudanças mais significativas foram verificadas na face de praia, área inferior à crista da berma e que recebe diretamente a atuação do espraio e arrebentação das ondas, apresentando uma inclinação mais acentuada em relação ao estirâncio e antepraia (Gráfico 19).

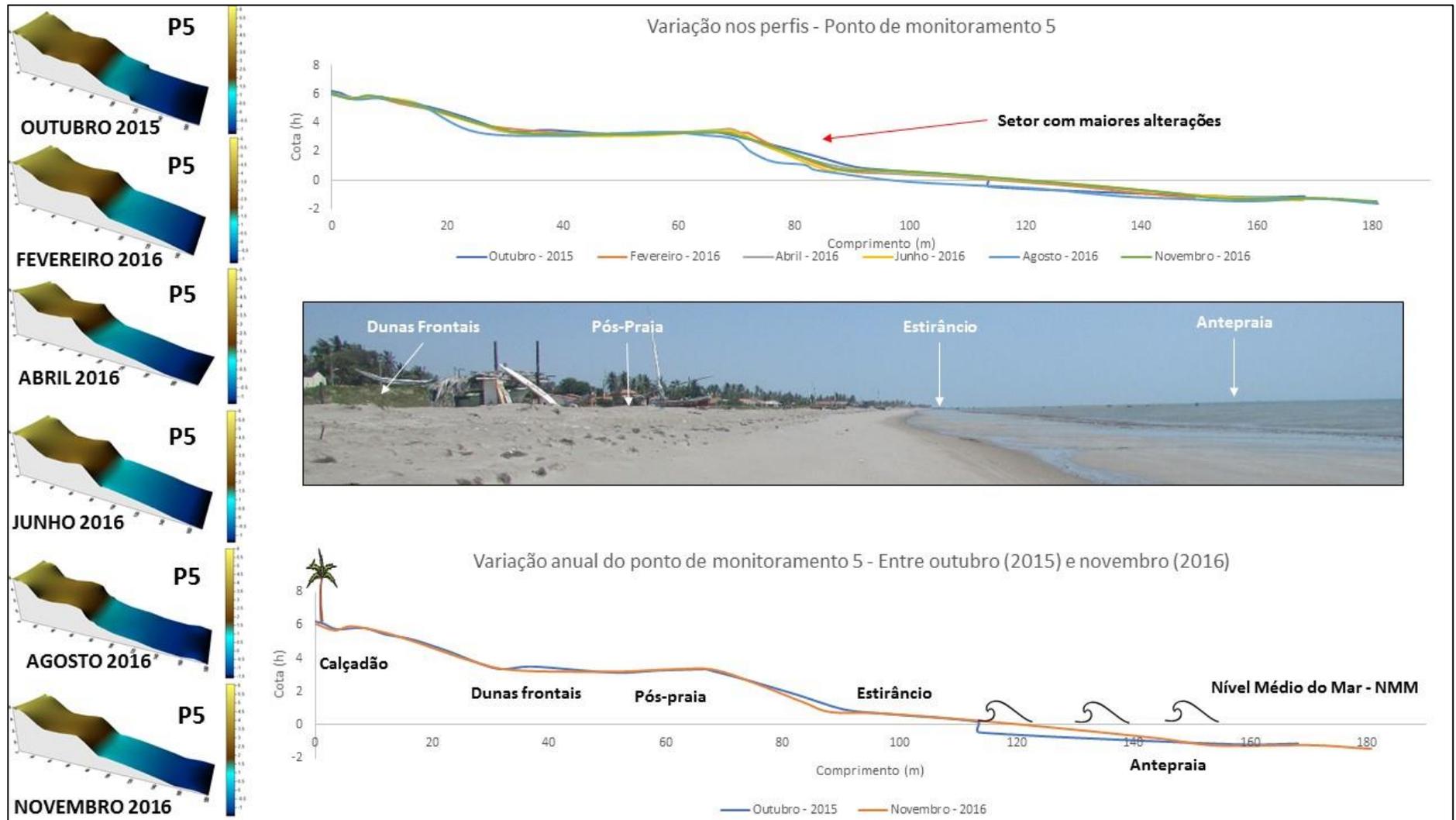
Gráfico 19: volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 5.



Fonte: Autoria própria.

As residências e demais formas de ocupação próximas a este ponto de monitoramento estão livres de qualquer tipo de processo erosivo ligado à ação das marés e ondas na área por estarem na retaguarda das dunas frontais e pelo extenso pós-praia deste ponto, porém é de fundamental a manutenção destas dunas para evitar qualquer tipo de dano futuro às edificações ali instaladas, visto que durante o campo foi possível identificar a atuação desse processo (Figura 71 e 72).

Figura 71: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 4 durante os experimentos de campo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 72: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 5 ao longo do período monitorado.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 6 – Praia de Barreiras de Cima

O ponto de monitoramento 6 está localizado em área de uma maior ocupação em relação ao ponto 5, próximo a ele encontram-se algumas pousadas e restaurantes, a área conta com avenida pavimentada se resguardados por dunas frontais e extenso pós-praia. Este ponto está a 4,528 m em relação ao Nível Médio do Mar (NMM) (0 do IBGE) e apresentou ao longo do período de monitoramento 245 m de comprimento, com máximo atingido em outubro/15 com 346 m e mínimo em fevereiro/16 com 147 m, com uma declividade média de 7,8° na face de praia e de 0,8° no estirâncio (Figura 73).

Figura 73: Marco fixo do ponto de monitoramento 6.

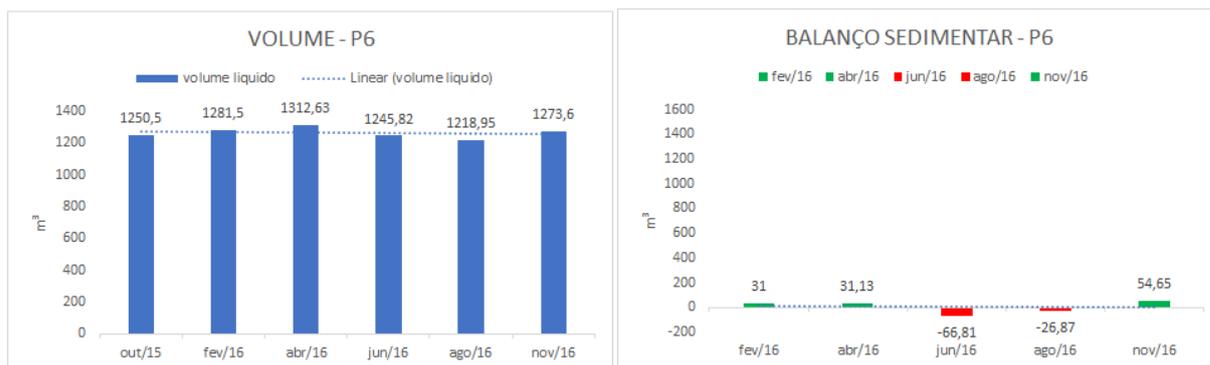


Fonte: Autoria própria.

A análise do volume dos perfis deste ponto indica uma tendência à estabilidade, tendo em média 1263,8 m³, com maior acúmulo de material no mês de novembro de 2016. Entre outubro de 2015 e abril de 2016 foi possível verificar houve um balanço sedimentar positivo nesta área, mesmo que em um baixo volume, 31 e 31,1 m³ em fevereiro e abril, respectivamente, porém, a partir de abril notou-se uma tendência erosiva nesse local, com perdas de - 66,8 m³

verificada em junho e de 26,9 m³ em agosto. Com sinais de acúmulo de sedimentos entre agosto e novembro com um ganho de 54,65 m³, mesmo assim, volume abaixo do que foi registrado em abril do mesmo ano (Figura 74). Se analisarmos entre o período inicial e final dos experimentos, o perfil mostrou um ganho de 23 m³, com um balanço médio positivo de 4,62 m³ (Gráfico 20).

Gráfico 20: volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 6.

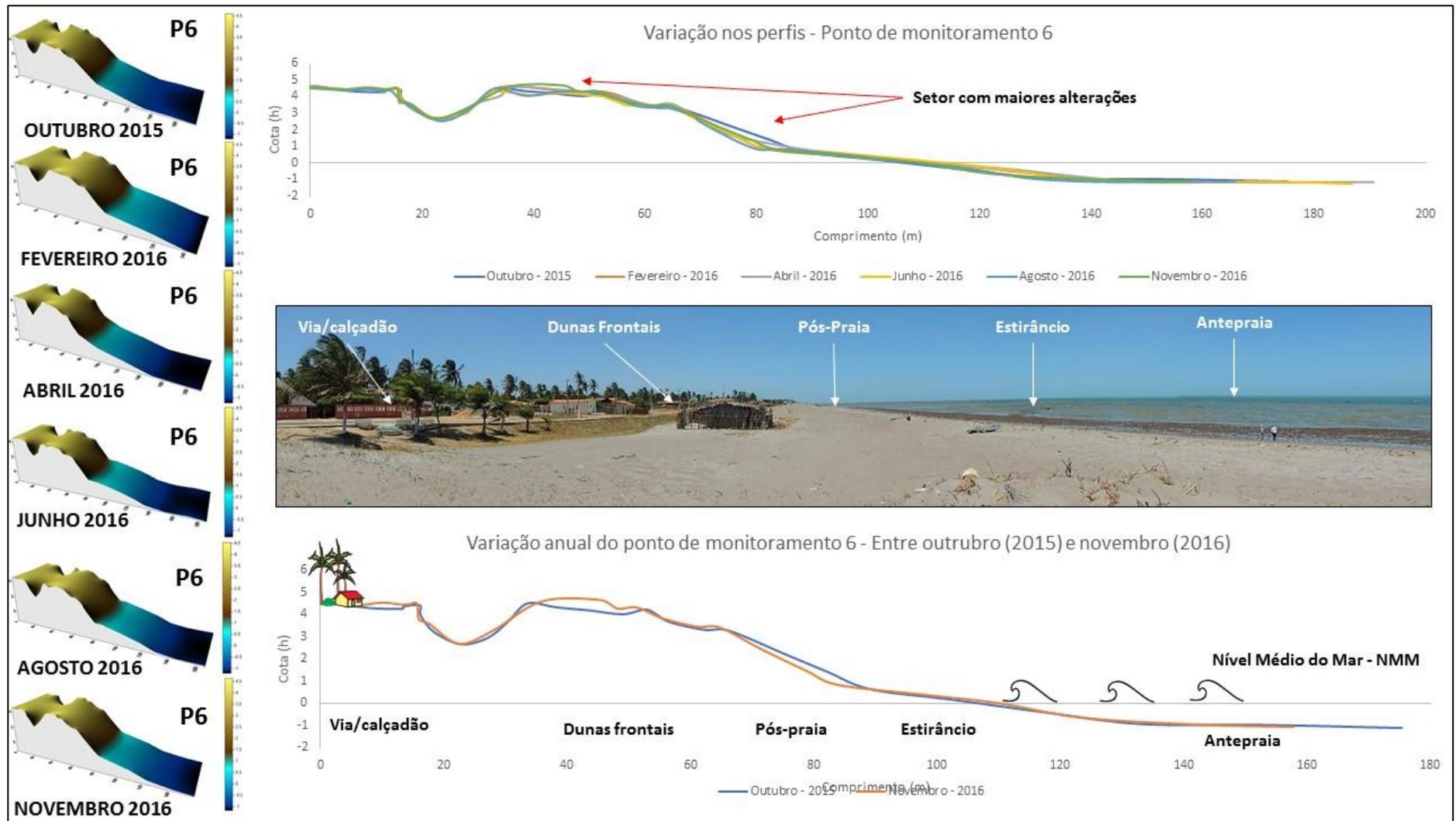


Fonte: Autoria própria.

As alterações apresentadas ao longo do período de monitoramento são mínimas, estando concentradas principalmente na face de praia, que apresenta uma inclinação acentuada em relação ao estirâncio e a antepraia, conforme também foi observado no ponto 5. É possível também que entre o primeiro e último monitoramento há um acúmulo de material na porção superior do perfil onde há a presença de algumas dunas frontais nessa área, esse material pode ter sido transportado da face de praia em direção a retrorrera em virtude da ação eólica, que atua com mais intensidade no segundo semestre do ano no Estado (Figura 74).

Assim como o ponto 5, esta área encontra-se livre de danos causados pela erosão costeira devido à presença de dunas frontais como primeira linha de defesa desta área, em virtude disto, se faz necessário uma atenção maior para este ponto devido à presença de urbanização em maior número, como residências da comunidade local, casas de veraneio, pousadas, comércio local e barracas de praia e assim evitar danos futuros, como aqueles já ocorridos no ponto 2 e que já foram citados nos tópicos anteriores (Figura 75).

Figura 74: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 6 durante os experimentos de campo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 75: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 6 ao longo do período monitorado.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 7 – Praia de Barreiras de Cima

Este ponto encontra-se em a 3,118 m do Nível Médio do Mar (NMM), apresenta largura média de 307 m, com máximo obtido em abril/16 com 419 m e mínimo obtido em fevereiro/16 com 224 m, com declividade média da face de praia de 9,7° e de 1,6° no estirâncio (Figura 76).

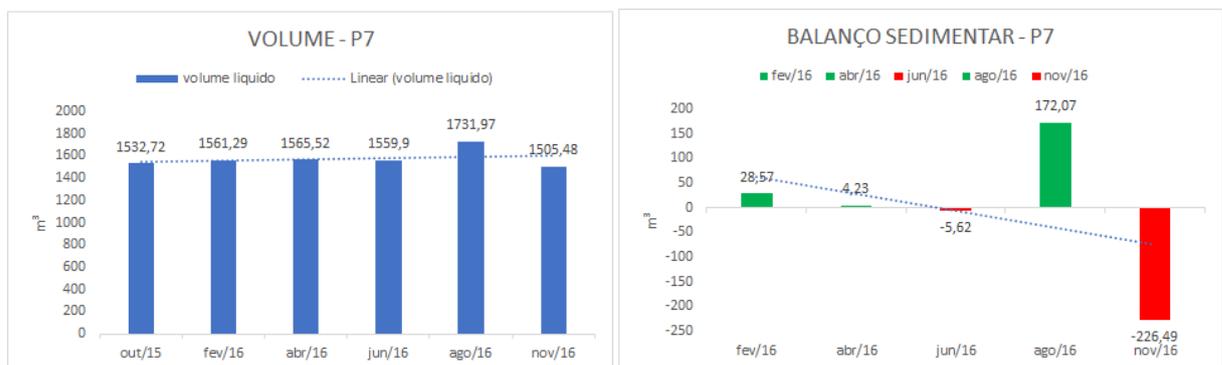
Figura 76: marco fixo do ponto de monitoramento 7.



Fonte: Autoria própria.

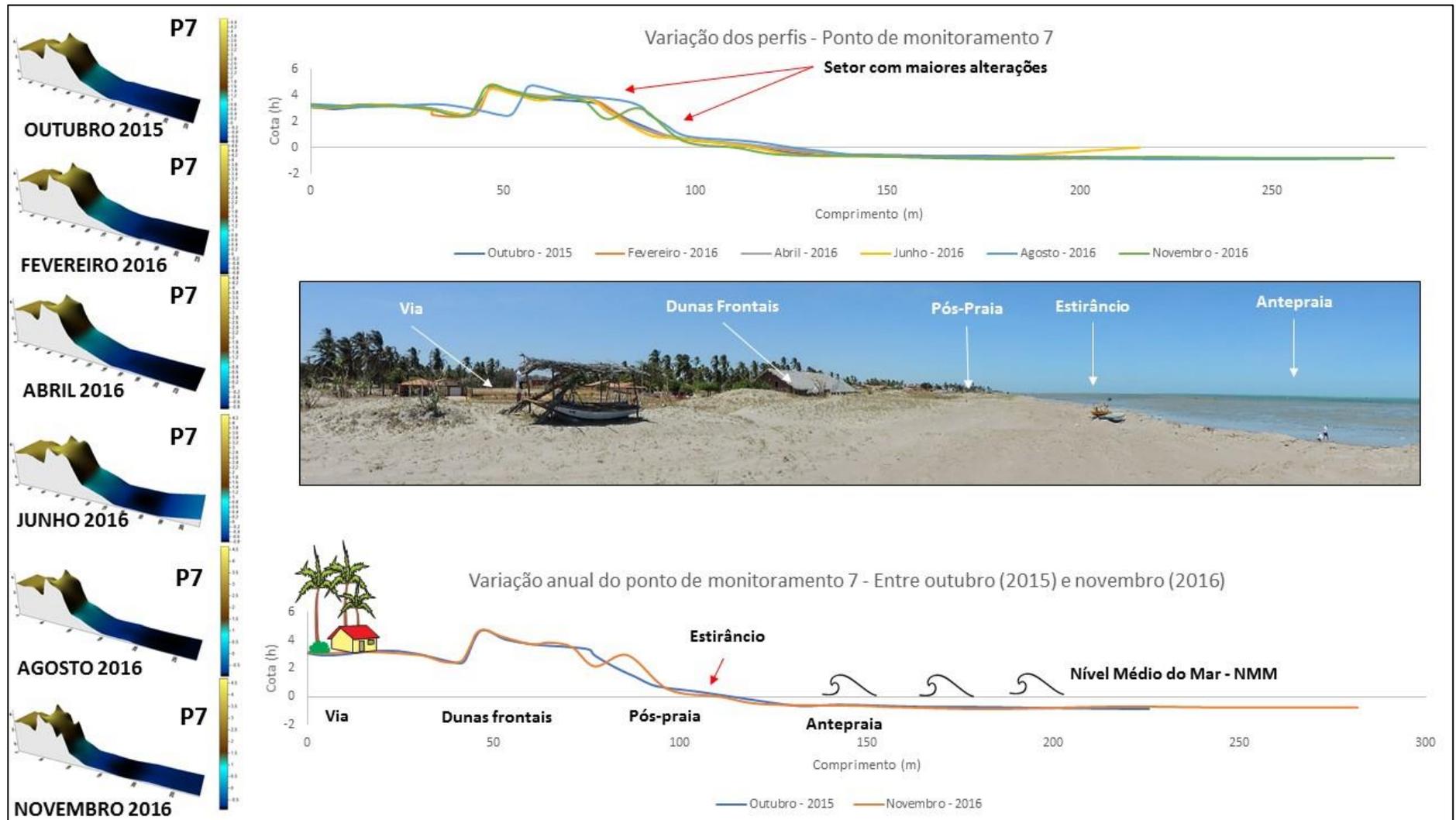
Assim como nos pontos 5 e 6, este ponto é caracterizado por apresentar dunas frontais como linha de defesa das edificações próximas contra a erosão costeira neste setor. As principais modificações ao longo do perfil praial estão concentradas na base da duna frontal e pós-praia (ação eólica), no mês de novembro, e na face de praia (ação marinha), o volume de material nesse perfil apresenta em média 1576,1 m³, de todos os pontos monitorados ao longo da pesquisa é o que apresenta a maior média, sendo o maior registrado em agosto de 2016 com 1731,97 m³. Entre o primeiro e o último campo houve uma perda de - 27 m³ de volume no perfil, com um balanço sedimentar médio negativo de - 5,45 m³ (Gráfico 21, Figuras 77 e 78).

Gráfico 21: volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 7.



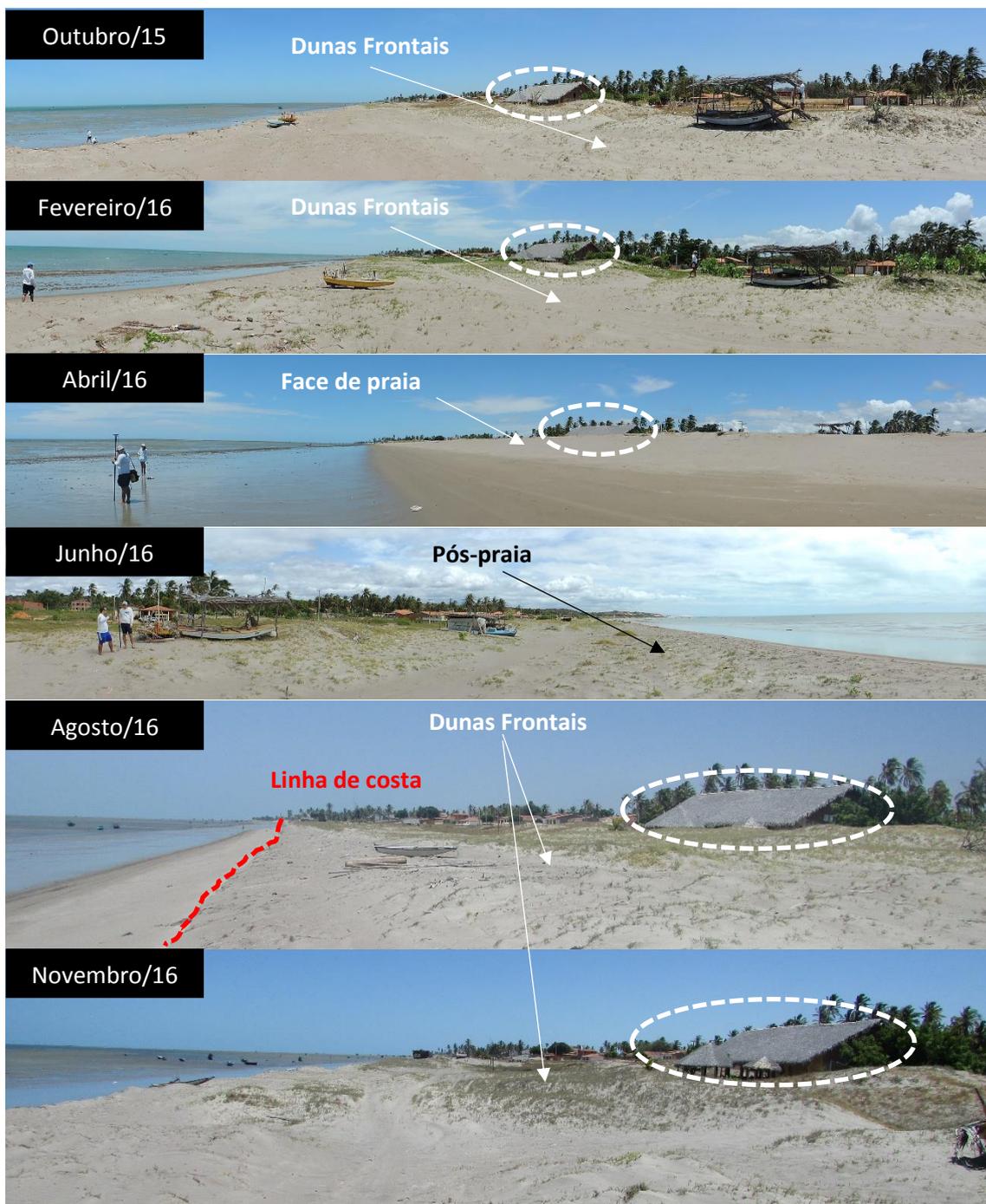
Fonte: Autoria própria.

Figura 77: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 7 durante os experimentos de campo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 78: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 7 ao longo do período monitorado.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 8 – Praia de Barreiras de Cima

O ponto de monitoramento 8 está 4 m acima do Nível Médio do Mar (NMM) (0 do IBGE), apresentou ao longo do período de monitoramento 183 m de comprimento, máximo em abril de 2016 com 326 m e mínimo obtido de 133 m em fevereiro de 2016 e uma declividade média no estirâncio superior de 7,4° e de 1,8° no estirâncio inferior (Figura 79).

Figura 79: marco fixo do ponto de monitoramento 8.



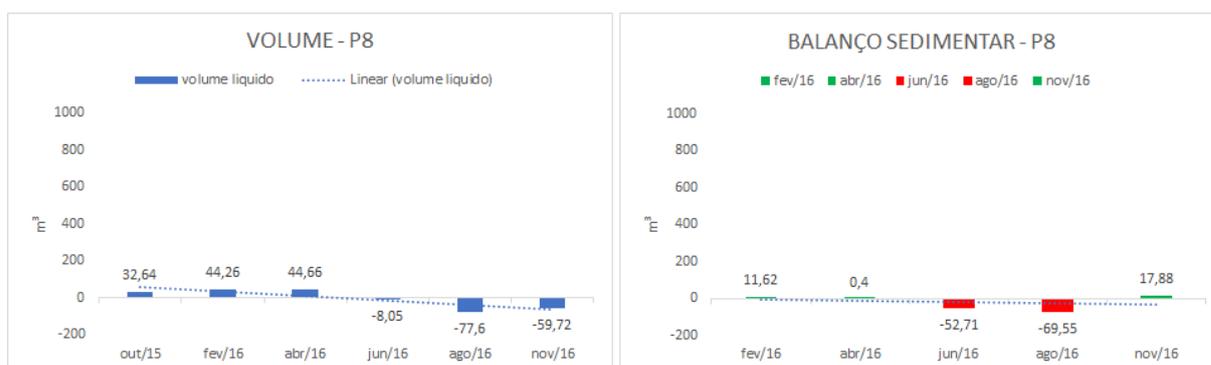
Fonte: A autoria própria.

Dos pontos de monitoramento dentro do setor 2, este é o que apresenta um cenário característico referente à erosão, algumas dunas frontais à barlar apresentam sua base escarpada devido à ação marinha e em outubro de 2015 foram encontradas estruturas urbanas como postes elétricos que foram derrubados devidos a ação da maré. As principais alterações estão concentradas na escarpa que já existia mesmo antes do monitoramento indicando que o processo erosivo já se alonga há algum tempo nesta área.

Entre os meses de outubro de 2015 e agosto de 2016 há um acúmulo de sedimentos na porção superior do estirâncio, em contrapartida, percebe-se uma retirada de material na sua porção inferior em agosto. No mês de novembro/16 é possível notar a retirada deste material acumulado na parte superior do perfil com transpasse do mesmo para a parte inferior.

Dos onze pontos monitorados no trecho costeiro de Icapuí, o ponto 8 é o que apresenta o volume mais crítico, e apresenta uma forte tendência erosiva chegando a ser negativo em média com -4 m^3 . Os maiores volumes foram registrados nos meses de fevereiro e abril de 2016, $44,26 \text{ m}^3$ e $44,66 \text{ m}^3$, respectivamente, sendo o menor observado em agosto, com $-77,6 \text{ m}^3$. Entre os meses de outubro de 2015 e abril de 2016 quase não há ganho, apenas fevereiro, onde foi registrado $11,62 \text{ m}^3$, a partir de abril notou-se uma tendência erosiva (Gráfico 22).

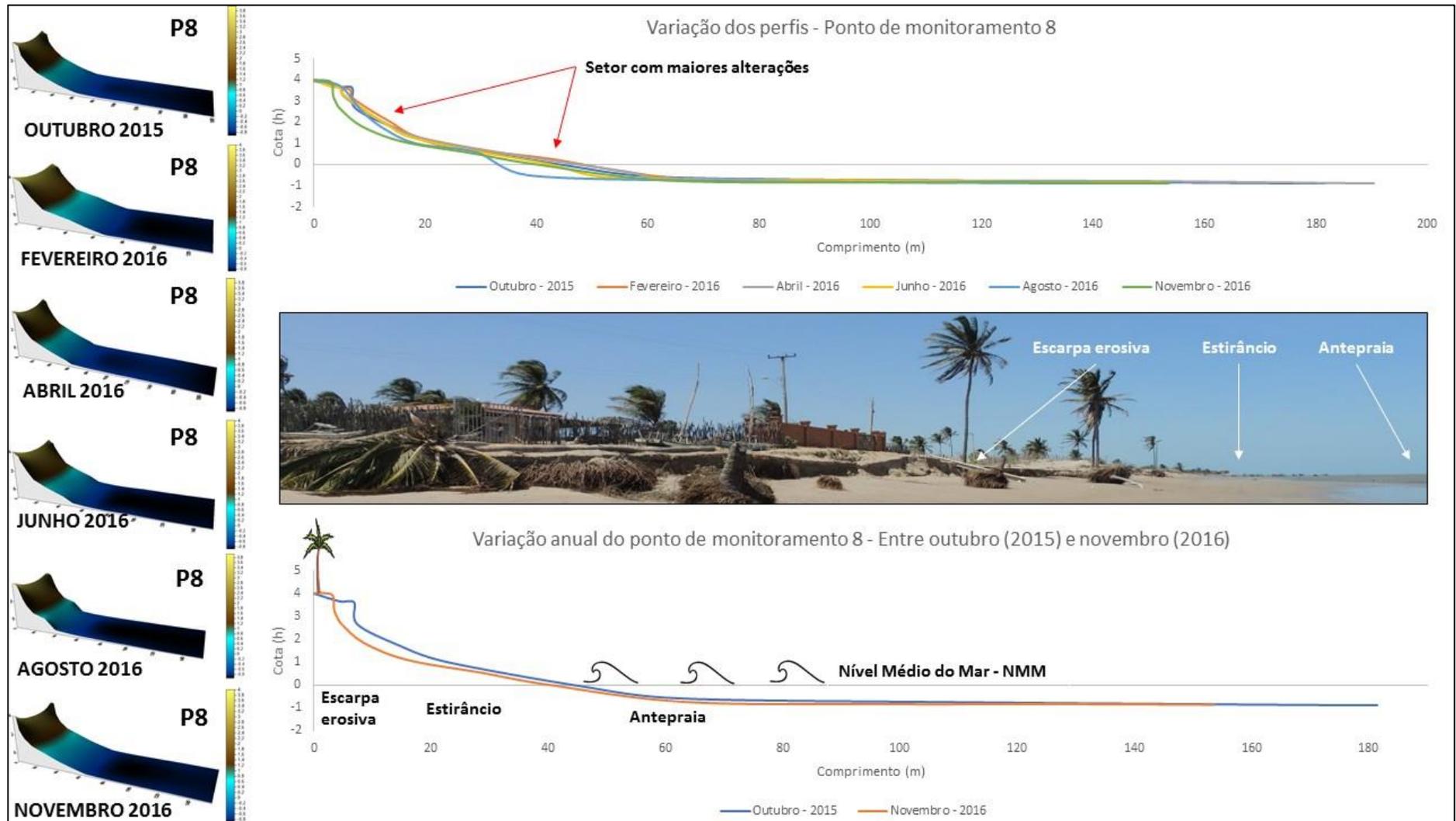
Gráfico 22: Volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 8.



Fonte: Autoria própria.

Diferentemente dos demais pontos deste setor, o ponto 8 perdeu parte das dunas frontais à barlar, fato identificado durante o período final do monitoramento. O que pode significar a exposição imediata da ocupação próxima à ação das marés e das ondas devido à perda da proteção das dunas, além de áreas fonte de sedimentos para a praia em questão. Em novembro houve um agravamento da erosão no local, o que motivou a construção de uma estrutura de madeira para minimização dos impactos causados, principalmente, pelas marés, além da necessidade de recuo de muros das residências próximas (Figura 80 e 81).

Figura 80: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 8 durante os experimentos de campo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 81: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 8 ao longo do período monitorado.



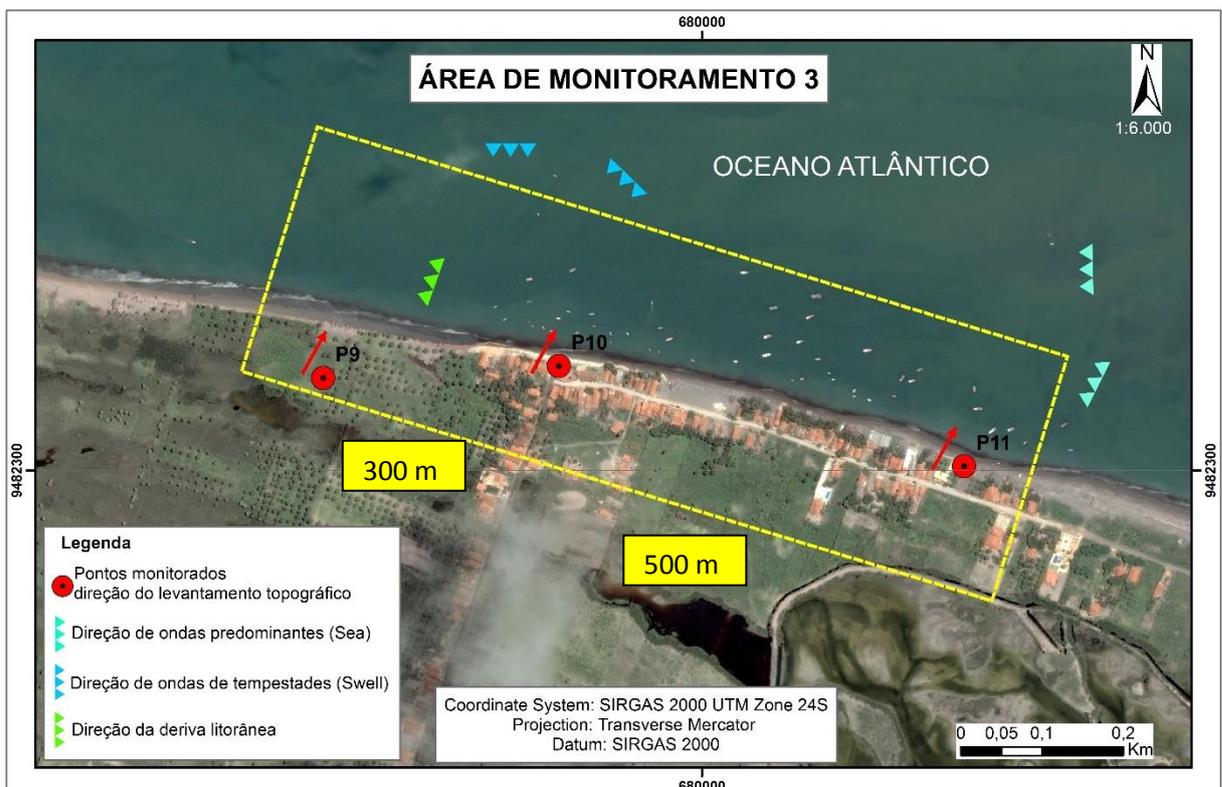
Fonte: Autoria própria.

6.1.3. Setor 3: Pontos de monitoramento 9 a 11 (Praia da Barrinha/Barra Grande)

O terceiro e último setor, apresenta os últimos três pontos monitorados nesta pesquisa, são eles o 9, 10 e 11, e estão localizados na Praia da Barrinha, na área da Barra Grande. A área monitorada se encontra em média 3,5 m acima do Nível Médio do Mar (NMM). Dos setores monitorados, o que estão localizados no setor 3 são os que apresentam as maiores médias de comprimento, isto se dá em virtude da presença de uma extensa planície de maré, associada ao estuário da Barra Grande.

A ocupação nesta área se encontra concentrada principalmente no entorno dos pontos 10 e 11, com residências da comunidade pesqueira local, comércio e escolas. O problema relacionado à erosão costeira neste setor é bastante evidente e que vem sendo alvo de discussões na localidade há muito tempo, agravada no início dos anos 2000 e que atualmente apresenta uma obra de contenção do avanço do mar (Figura 82).

Figura 82: Mapa de distribuição dos pontos de monitoramento no setor 3.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 9 – Praia da Barrinha / Barra Grande

Dentro todos os pontos em análise no trecho costeiro de Icapuí, o ponto 9 é o que se apresenta mais próximo ao Nível Médio do Mar (NMM) e encontra-se apenas a 2,75 m. Ao longo do período de monitoramento apresentou em média 392 m de comprimento, com máximo atingido em abril de 2016 com 656 m, mês em que a amplitude de maré na sizígia chegou próximo aos 4 m e mínimo obtido no mês de fevereiro do mesmo ano, com amplitude de maré de 2,9 m, a declividade do estirâncio superior teve uma média de 6,3° enquanto que o estirâncio inferior apresentou uma média de 2,5° (Figura 83).

Figura 83: Marco fixo do ponto de monitoramento 9.



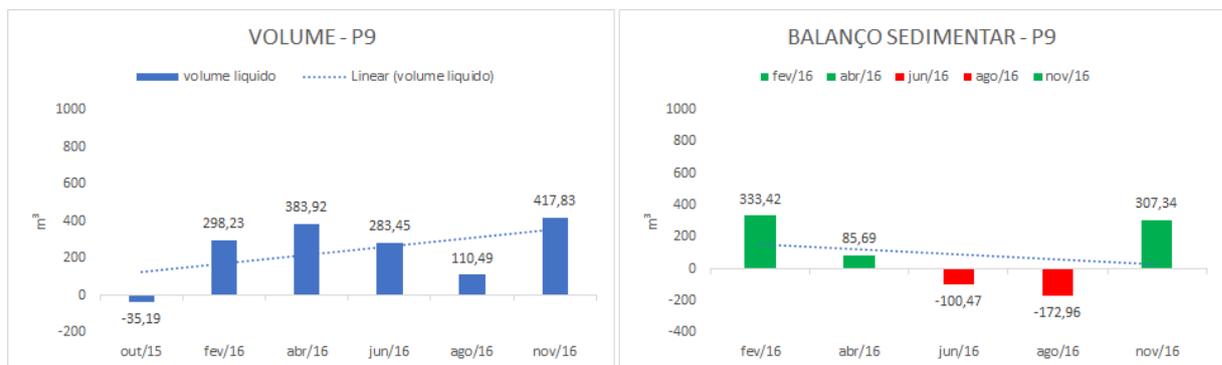
Fonte: Autorial própria.

A motivação da escolha deste ponto se deu pela atuação dos processos erosivos nesta área que se encontra presente há muito tempo segundo relatos de moradores no local, porém tal fato foi intensificado devido à construção de um enrocamento à barlar de este ponto. A obra tem por objetivo conter o recuo da linha de costa na área onde estão construídas residências de pescadores da comunidade da Barrinha, no ponto 10, tal fato será detalhado mais à frente

através da análise de imagens de satélite e cálculos de erosão e progradação da linha de costa com o DSAS.

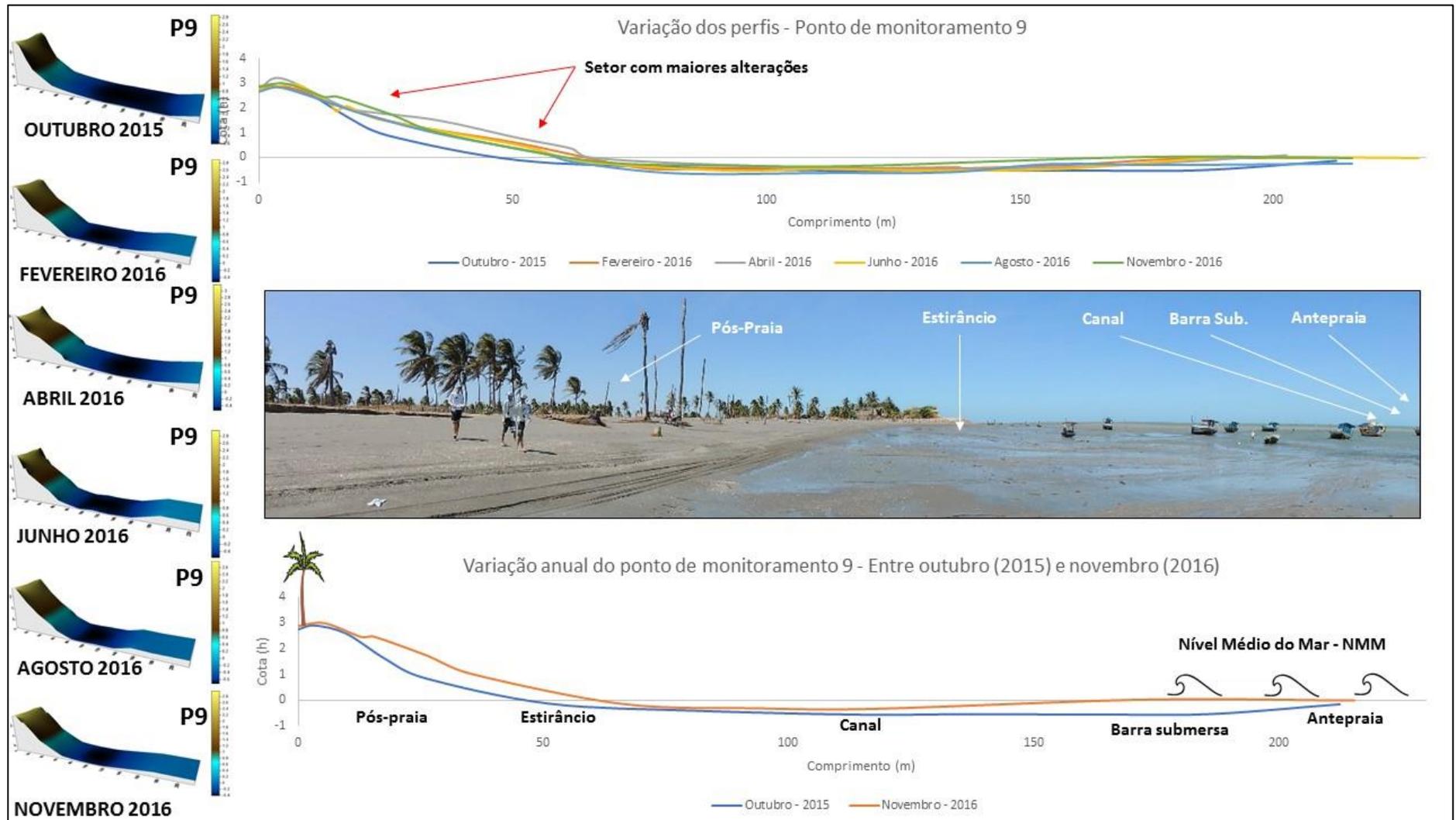
As variações no perfil ao longo do monitoramento se concentram principalmente na sua porção superior e na região do estirâncio, e com a análise do volume dos perfis realizados neste ponto foi possível identificar que em outubro de 2015 há um déficit de material de -35 m^3 . O mês de novembro de 2016 foi o que apresentou o maior volume de material acumulado na ordem de $417,83 \text{ m}^3$. A análise do balanço sedimentar dos perfis mostra um ganho no volume do material acumulado de $333,42 \text{ m}^3$ entre outubro de 2015 e novembro de 2016, após esse período nota-se uma tendência erosiva no local, onde há perda acumulada de $-273,43 \text{ m}^3$ no período entre junho e agosto. Essa tendência se reverte no período entre agosto e novembro, com $307,34 \text{ m}^3$. Em média, os perfis realizados neste ponto apresentam 243 m^3 e ao analisar o período entre o primeiro e o último experimento de campo notou-se um ganho de $453,02 \text{ m}^3$ no volume, com um balanço sedimentar médio de $90,6 \text{ m}^3$ (Gráfico 23) (Figura 84 e 85).

Gráfico 23: volume e balanço sedimentar do Ponto de Monitoramento 9.



Fonte: Autoria própria.

Figura 84: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 9 durante os experimentos de campo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 85: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 9 ao longo do período monitorado.



Fonte: Autoria própria

Ponto 10 – Praia da Barrinha / Barra Grande

O ponto 10, está a 4,5 m Nível Médio do Mar (NMM) e apresentou em média 397 m de comprimento ao longo do período da pesquisa, tendo o seu máximo de 570 m em outubro/15 e mínimo de 263 m em agosto/16, a declividade média do estirâncio superior apresentou 5,95° enquanto que o estirâncio inferior possui 0,5°. Assim como nos pontos 2 e 4, devido à presença de ocupação diretamente na linha de costa e problemas relacionados à erosão costeira foi construído um enrocamento na localidade, portanto fixando a linha de costa, tal fato e sua influência sob o ponto 9 motivaram a escolha desta área para monitoramento (Figura 86).

Figura 86: Marco fixo do ponto de monitoramento 10.

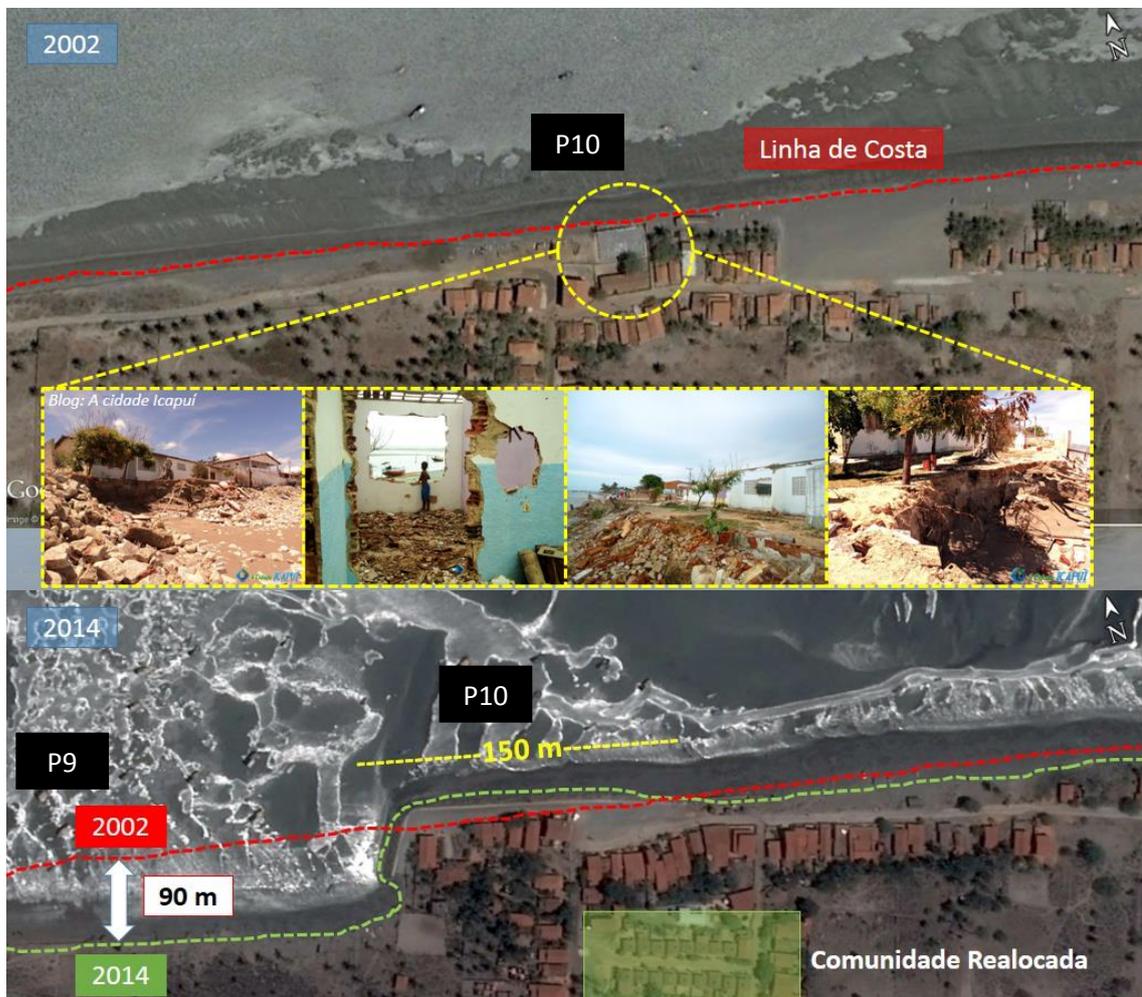


Fonte: Autoria própria.

O ponto de monitoramento 10 como já citado anteriormente apresenta uma obra de contenção da erosão costeira na área, provocada pela relação entre uma praia relativamente plana e avanço da ocupação em direção à linha de costa o que consequentemente tornou este ponto vulnerável à erosão no passado, visto isso, uma série de danos foram causadas às residências próximas a este ponto, já bastante citados na mídia conforme foi discutido no capítulo anterior e na literatura, fatos que também são corroborados pelos relatos de moradores locais.

Várias residências foram destruídas pela erosão, além disso, uma escola teve que ser demolida por apresentar riscos de desabamento para dar lugar ao enrocamento na tentativa de conter a erosão e proteger as casas localizadas mais à retaguarda. A população que vivia nesta área tivera suas casas realocadas em outra área próxima de onde viviam antes do processo erosivo, porém, a obra construída com o objetivo já citado acabou agravando a erosão em áreas à sotamar, nas proximidades do ponto 9 e se estendendo até o ponto 8, tal fato se mostra ainda presente na área. A linha de costa entre o ponto 9 e 10 recuou aproximadamente 90 m entre os anos de 2002 e 2016, em virtude do processo de refração e difração da corrente predominante de L-O, conforme pode ser observado na Figura 87.

Figura 87: interferência do enrocamento construído no ponto 10 no recuo da linha de costa no ponto 9.

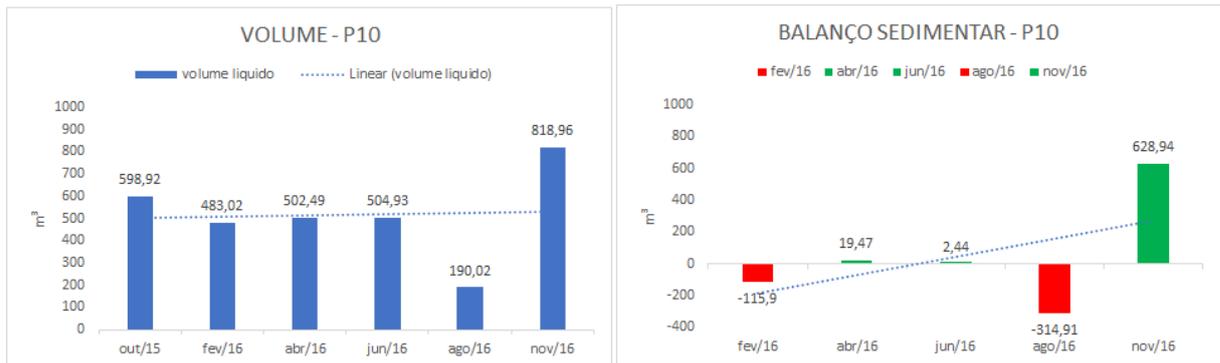


Fonte: fotos de erosão (arquivos de jornais e blogs locais), imagens de satélite do Google Earth.

A análise do volume do ponto 10 mostra uma média de 516,4 m³, com máximo obtido em novembro de 2016 com 818,96 m³. Em termos de balanço sedimentar foi possível notar uma perda -115,9 m³ de material entre outubro de 2015 e fevereiro de 2016, entre fevereiro e

junho há um acréscimo mínimo, porém no período entre junho e agosto é verificada uma perda de $-314,91 \text{ m}^3$, a maior registrada ao longo do período monitorado, essa tendência erosiva é interrompida pelo ganho $628,94 \text{ m}^3$ de material entre agosto e novembro. Entre o primeiro e o último experimento de campo o perfil ganhou $220,04 \text{ m}^3$ e apresenta um balanço sedimentar médio positivo de 44 m^3 (Gráfico 24).

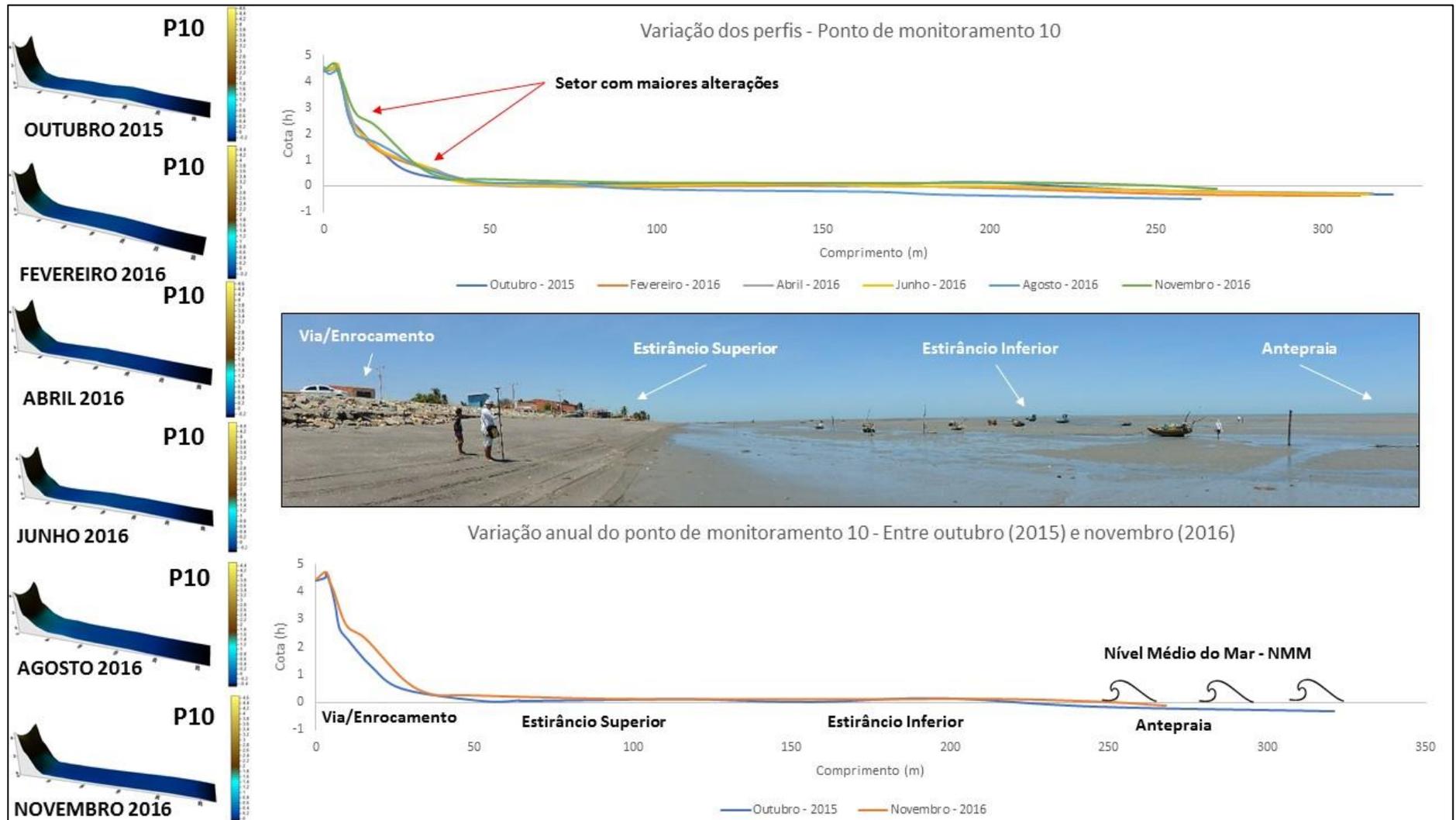
Gráfico 24: Volume e balanço sedimentar do ponto de monitoramento 10.



Fonte: Autoria própria.

Os perfis realizados neste ponto apresentam um estirâncio plano e extenso, atingindo sua exposição máxima principalmente em marés de sizígia podendo chegar a mais 1 km de extensão. As modificações neste ponto encontram-se concentradas principalmente na porção superior do perfil e se dá principalmente devido ao acúmulo de sedimentos na base do enrocamento existente na área (Figura 88 e 89).

Figura 88: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 10 durante os experimentos de campo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 89: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 10 ao longo do período monitorado.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 11 – Praia da Barrinha / Barra Grande

O ponto de monitoramento 11, o último a ser analisado durante a tese e o mais a leste do setor 3 encontra-se a 3,5 m em relação ao Nível Médio do Mar (NMM) (0 do IBGE), os perfis apresentaram em média 262 m, com máximo observado em abril/16 com 435 m e mínimo de 180 m obtido em novembro/16, com declividade média de 7° no estirâncio superior e 1,5° no estirâncio inferior (Figura 90). A ocupação neste ponto é muito similar ao que se fazia presente nos arredores do ponto 10, principalmente no que se refere à ocupação quase que diretamente concentrada na linha de costa, formada na sua maioria por pequenas residências. Fato que torna essas construções vulneráveis à eventos de marés com grandes amplitudes e/ou eventos de alta energia que ocorrem com mais intensidade no litoral do Estado no começo do ano.

Figura 90: Marco fixo do ponto de monitoramento 11.



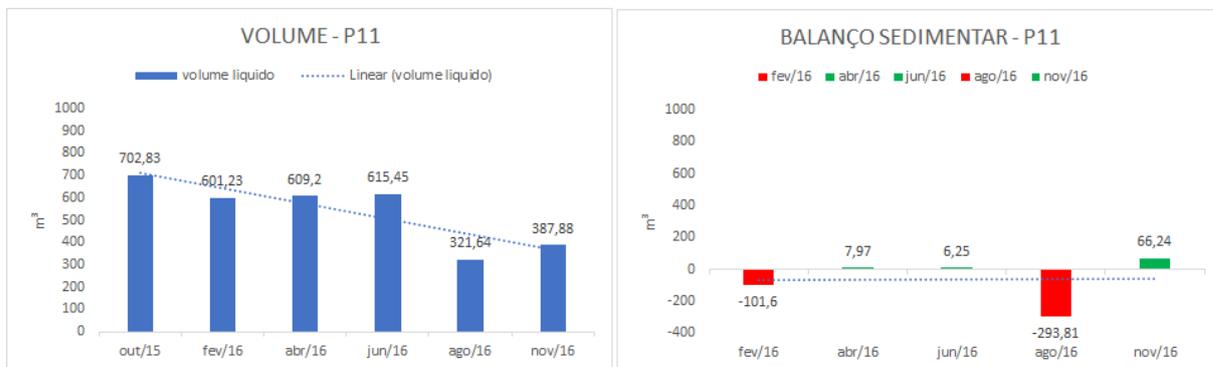
Fonte: Autoria própria.

O perfil 11 apresenta em média 539,7 m³, com o maior acúmulo de sedimentos observado em outubro de 2015 e o menor registrado em agosto de 2016. Em termos gerais, a análise aponta para uma tendência erosiva deste ponto, se compararmos o período inicial e final dos experimentos de campo, onde o perfil perdeu em um ano -314,95 m³.

Através da análise do balanço sedimentar foi possível verificar perdas no volume de material principalmente no período entre os meses de outubro de 2015 e fevereiro de 2016 com um balanço negativo de -101,6 m³, já nos meses seguintes quase não há reposição desse material, havendo novamente uma baixa no volume do material que se faz presente na praia na ordem de -293,81 m³ (Gráfico 25). Assim como a linha de tendência onde se faz perceptível a tendência à erosão do perfil, a média do balanço sedimentar também se faz negativa, - 62,9 m³. As modificações observadas no perfil se dão principalmente na sua porção superior,

principalmente na face de praia, que apresenta uma inclinação que se destaca do restante do perfil por se apresentar elevada em relação ao estirâncio (Figura 91 e 92).

Gráfico 25: Volume e balanço sedimentar do Ponto de Monitoramento 11.



Fonte: Autoria própria.

Figura 91: Registro fotográfico das alterações nos perfis do ponto 11 ao longo do período monitorado.





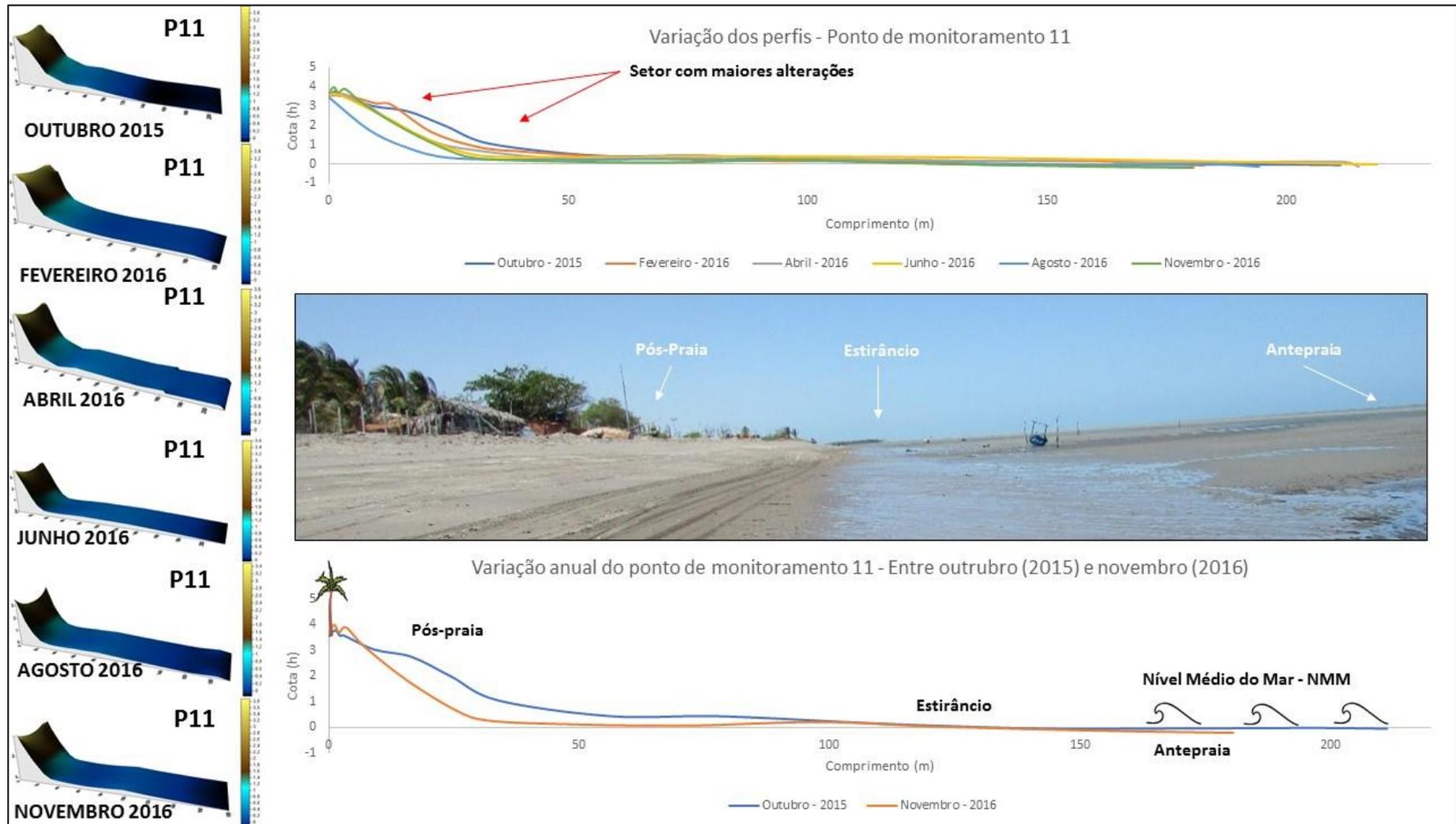
Fonte: Autoria própria.

A morfodinâmica praial, método cujo objetivo é o de analisar as observações morfológicas e dinâmicas ao longo da praia e zona de arrebentação, essas variações temporais do estado da praia dependem diretamente do regime de ondas de águas profundas, ao que passo que mudanças espaciais dependem diretamente das variações na modificação das ondas à medida que as mesmas se propagam em águas rasas que são controladas em virtude da geologia local e configuração da linha de costa (CALLIARI *et. Al*, 2003).

Desta forma, é notória a importância da hidrodinâmica nas variações do perfil praial, devido a influência do atrito destas forças na remobilização dos sedimentos e consequentes alterações no volume de sedimentos ao longo de um perfil praial, são estes chamados gradientes espaciais que ao se modificarem morfológicamente tendem a induzir alterações nos padrões hidrodinâmicos, portanto, a morfologia e a hidrodinâmica evoluem em conjunto e estão diretamente ligadas (WRIGHT & SHORT, 1984; CALLIARI *et al*, 2003).

Além disso, um outro fator importante que também deve ser considerado no estudo das alterações ao longo do perfil praial é a atuação da maré. Para *Short (1982)* ao analisar estudos anteriormente realizados por *Strahler (1966)* e *King (1982)* em ambientes de mesomaré e macromaré, a mobilidade praial tem influência direta com a variação da maré nestes ambientes, resultando em uma diferenciação morfodinâmica entre a porção superior e inferior do perfil em consequência de diferentes processos de transporte de sedimentos como as ondas incidentes e correntes de marés.

Figura 92: Variação dos perfis topográficos realizados no ponto de monitoramento 11 durante os experimentos de campo



Fonte: Autoria própria.

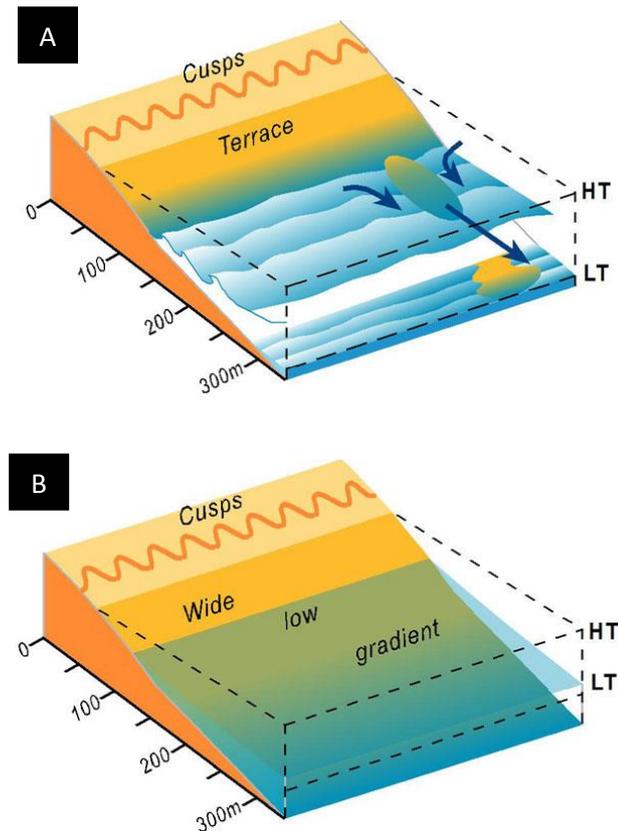
Conforme aponta Masselink (1993), perfis analisados em laboratório se mostram insensíveis às modificações na altura de onda em ambientes de significativas variações na maré, afirmando a importância da relação entre a variação da maré e a altura da arrebentação na determinação das contribuições dos processos da zona de estirâncio e da zona de surfe em detrimento dos processos de deformação de ondas sobre o perfil praial que passou a ser calculado através do “Parâmetro de Variação Relativa da Maré” (*Relative Tide Range Parameter - RTR*).

O Estado do Ceará encontra-se em um ambiente de mesomaré conforme a classificação proposta por Davies (1964) e em virtude da área de estudo apresentar amplitudes que chegam a 4 m, quase no limite da classificação entre ambientes de mesomaré e macromaré é de fundamental importância levar em consideração as influências deste processo na remobilização dos sedimentos e conseqüente estruturação do perfil praial.

Pinheiro *et al* (2016) ao estudar a morfodinâmica da costa cearense afirmam que as praias do litoral do Estado são predominantemente modificadas por maré, com $RTR > 3$, algo característico de ambientes de mesomaré com energia de onda moderada (MASSELINK & SHORT, 1993). Parte das praias de Icapuí em análise encontram-se classificadas quanto a este parâmetro como praias R+LTT (*Reflective Plus Low Tide Terrace*) que apresentam sedimentos de granulometria muito fina à média, tal classificação é característica nos setores 1 e 2. Durante a maré alta as ondas atingem os terraços e só quebram na praia no setor máximo de alcance da maré, algo semelhante ao que acontece em praias reflectivas dominadas por ondas, onde a face de praia apresenta uma maior inclinação em relação ao restante do perfil praial. A medida que a maré começa a baixar as ondas passam a quebrar através do terraço na maré baixa quebram na borda exterior, o que produz uma ampla zona de surfe dissipativa (Figura 93 A).

O Setor 3 apresenta características mais próxima de uma praia modificada por maré do tipo ultradissipativa (UD), são compostas prioritariamente por areia fina e se caracterizam por uma ampla zona intertidal, com gradiente que varia de baixo a moderado durante as marés alta e baixa, o perfil praial se apresenta quase que horizontal na sua totalidade na baixamar, neste caso, devido a ampla zona de arrebentação as ondas incidentes tem sua energia dissipada e devido ao deslocamento da zona de surfe em função do ciclo de maré o que coíbe a formação de bancos (MALLMAN *et al*, 2014; PINHEIRO *et al*, 2016) (Figura 93 B).

Figura 91: Modelo de praias R+LTT (Reflective Plus Low Tide Terrace) (Superior) e Modelo de Praia Ultradissipativa (UD) (Inferior)



Fonte: Australian Online Coastal Information – OzCoasts. Disponível em: http://www.ozcoasts.gov.au/conceptual_mods/beaches/tmb.jsp

Assim, em Icapuí, diferentemente de como ocorre em outras praias do Ceará, dominadas por ondas, as ondulações vindas de mar profundo perdem sua altura e força no momento que entram em águas rasas devido a uma plataforma rasa e extensa o que conseqüentemente anula a sua altura e energia antes de atingirem a linha de costa, desta forma, a maré passa a ter uma maior amplitude devido baixa profundidade da praia emersa e estirâncio, configurando-se assim como principal agente modificador do perfil praias nos trechos monitorados, tendo as ondas uma menor participação neste processo.

6.2. Caracterização Sedimentológica dos Pontos Monitorados

Este trecho do capítulo tem por principal objetivo apresentar as principais características sedimentares dos pontos de monitoramento, os resultados aqui apresentados tratam em caráter geral do tipo de material que dá origem as praias em análise e parâmetros estatísticos associados e que darão suporte para a análise do processo erosivo em Icapuí. Ao longo dos 6 trabalhos de campo foram coletadas 198 amostras no total, todas passaram pelo processo de análise

granulométrica conforme a metodologia clássica, além disso, todas foram analisadas também quanto aos valores de carbonato presente em virtude da presença de material bioclástico em grande parte das amostras coletadas durante os campos.

6.2.1. Classificação Textural e Variabilidade sedimentológica

De acordo com o tamanho médio do grão (D50), o trecho costeiro monitorado em Icapuí é formado por sedimentos classificados como areias muito finas em 36% das amostras, areias médias em 34%, areias finas em 28% e por fim areia grossa com apenas 2% observados nas amostras coletadas. Portanto, os sedimentos finos são maioria ao longo dos 6 km de praias analisadas com 64%, este tipo de material está concentrado principalmente no estirâncio e antepraia, já os sedimentos de maior granulometria encontram-se depositados no pós-praia, são sedimentos formados por areias médias, areias grossas e material biodetrítico (Gráfico 26 A). A classificação de Folk & Ward (1957) aponta uma presença em maioria de sedimentos formado por areias e com cascalho esparsos, tal classificação é encontrada em 52% das amostras coletadas, já as amostras de sedimentos classificadas apenas como areias se encontram em 48% (Gráfico 26 B). Esses cascalhos são em sua maioria composta por frações bioclásticas.

Gráfico 26: Classificação textural dos sedimentos coletados no trecho monitorado em Icapuí.



Fonte: Autoria própria.

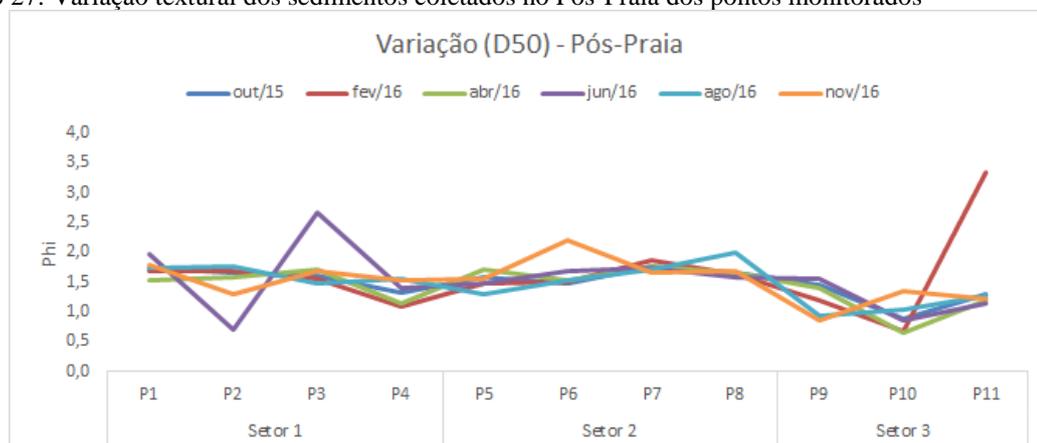
As praias são formadas por sedimentos que variam de areia muito fina a média no geral, em praias próximas às desembocaduras fluviais essa composição passa a apresentar uma tendência maior para sedimentos de frações maiores, podendo assim variar entre areia média e areia grossa e dependendo do grau de energia do ambiente pode também haver a presença de cascalhos (MARTINS 2003; JESUS & ANDRADE, 2013). Segundo apontam Davis Jr. & Fitzgerald (2004), a predominância de sedimentos finos em praias, como no caso de Icapuí, está diretamente relacionada ao grau de energia do ambiente em que estão depositados, em

ambientes modificados pela maré a maior energia está concentrada na arrebentação das ondas, na porção superior dos perfis, essa energia é dissipada pelo grande terraço de baixamar formado nestes ambientes fazendo com que sedimentos mais grossos se depositem na porção superior do perfil e sedimentos mais finos no estirâncio e antepraia.

O Pós-Praia e o Estirâncio Superior de alguns pontos monitorados apresentaram-se compostos ao longo das análises por sedimentos em sua maioria classificados como areia média em conjunto com material bioclástico com tamanho médio de 1,517 phi. No período entre abril e junho de 2016 foi possível verificar que houveram variações no tamanho dos grãos que compõem esta área dos perfis praias realizados em Icapuí, as areias médias deram lugar à fração areia grossa no Ponto 2, enquanto que no ponto 3 as areias médias deram lugar à fração areia fina. Essa variação na granulometria dos sedimentos do setor 1 pode estar diretamente relacionada à construção do enrocamento entre os Ponto 2 e 3.

As areias médias deram lugar às areias finas no ponto 6 entre agosto e novembro de 2016, neste mesmo período o ponto 9 deixou de apresentar as areias médias como principais constituintes e passou a apresenta uma composição com maior presença de fração areia grossa. No Ponto 10 houve um maior acúmulo de sedimentos classificados como areia grossa na base do enrocamento construído nesta área, porém, foi possível verificar uma alteração dessa fração predominante entre os meses de junho e novembro de 2016, neste caso, as areias médias passaram a ser mais presentes. Em fevereiro foi possível verificar que houve um aumento da fração areia fina no Ponto 11, que ao longo de todo o período de monitorado apresentou-se composto principalmente por sedimentos classificados como areias médias (Gráfico 27 e Figura 94).

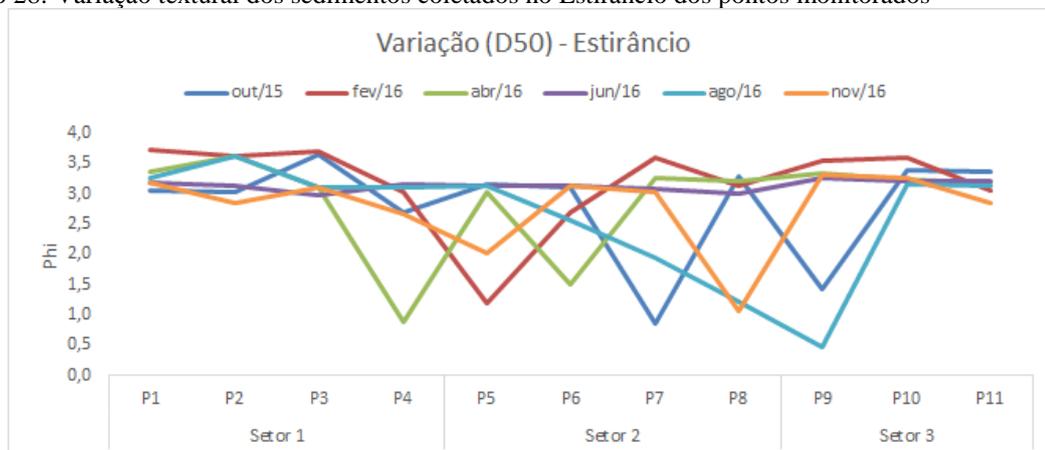
Gráfico 27: Variação textural dos sedimentos coletados no Pós-Praia dos pontos monitorados



Fonte: Autoria própria.

O Estirâncio dos pontos monitorados apresenta as maiores alterações nos padrões de sedimentação ao longo do período analisado, principalmente entre os Pontos 4 e 9, isto se dá pela variação diária das marés e ondas que atuam diretamente neste setor da praia ao longo do dia, conseqüentemente há uma maior intensidade e frequência na mobilização de sedimentos depositados. Este setor dos perfis de praia apresenta uma mistura na sua composição predominante de areias finas, muito finas e em alguns meses foi possível identificar a presença de areia grossa, de modo geral a composição dos sedimentos deste setor apresenta um tamanho médio de 2,899 phi (Gráfico 28 e Figura 94).

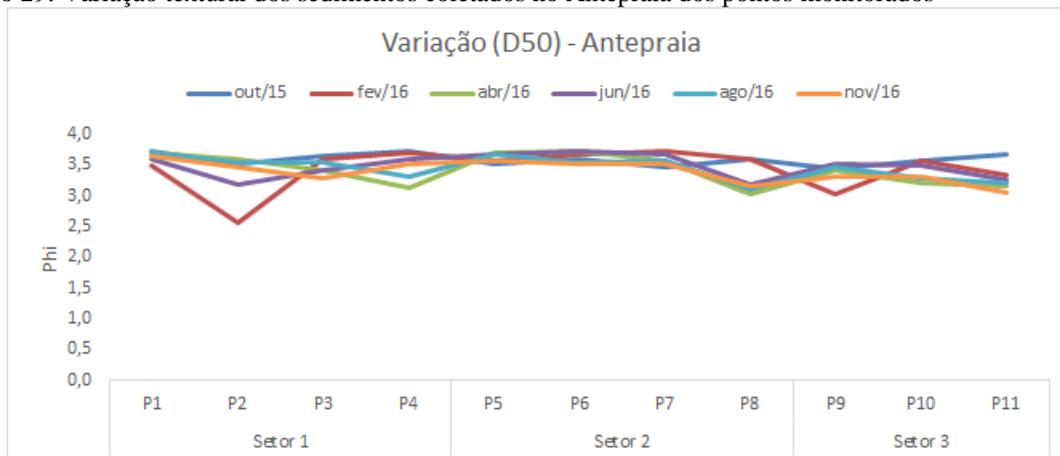
Gráfico 28: Variação textural dos sedimentos coletados no Estirâncio dos pontos monitorados



Fonte: Autoria própria.

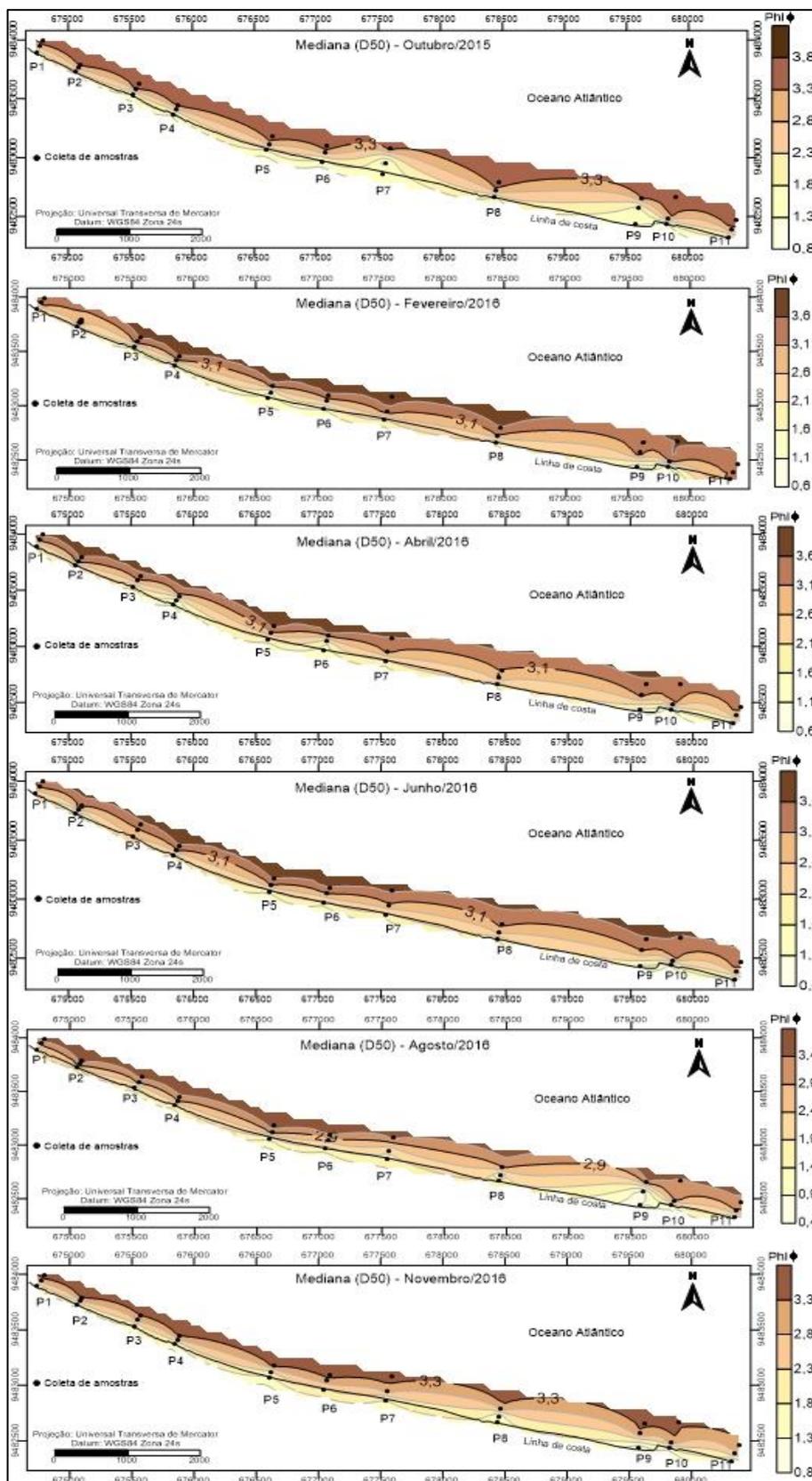
A área que corresponde à Antepraia, setor do perfil que está sempre submersa mesmo em períodos de sizígia, se apresenta composta por frações correspondentes às areias finas a muito finas, esta última ocorre na maioria dos pontos monitorados ao longo do período de monitoramento da pesquisa o tamanho médio dos sedimentos que compõe este setor é de 3,465 phi. As maiores variações foram identificadas no setor 1, entre os Pontos 2 e 3, no Ponto 2 é possível verificar um acúmulo de material de granulometria que varia entre areia fina e média no mês de fevereiro, podendo ser um indicativo da atuação de condições hidrodinâmicas de maior energia na mobilização dos sedimentos de fundo nessa área, foi possível verificar essa tendência, em menor escala, no Ponto 9, no mesmo período agosto (Gráfico 29 e Figura 94).

Gráfico 29: Variação textural dos sedimentos coletados no Antepraia dos pontos monitorados



Fonte: Autoria própria.

Figura 94: Mapa de Classificação pela média (D50) dos sedimentos do trecho monitorado em Icapuí



Fonte: Autoria própria.

6.2.2. *Parâmetros Estatísticos e Dinâmica de Transporte e Deposição dos Sedimentos*

A análise dos parâmetros estatísticos está diretamente relacionada aos padrões dos mecanismos de transporte e deposição dos sedimentos (GAO & COLLINS, 1994a e b) e MUEHE 2004). Assim, para se analisar de uma melhor forma os ambientes de deposição pode-se apontar a análise da assimetria, curtose e desvio padrão como melhores parâmetros a serem levados em consideração, sendo a assimetria a que melhor caracteriza o ambiente deposicional (MASON & FOLK, 1954 e JESUS & ANDRADE, 2013) e juntos com parâmetro textural, resultados da ação dos agentes de transporte nos dão uma melhor resposta sobre a dinâmica dos ambientes deposicionais.

O Grau de selecionamento, também conhecido por Desvio Padrão, é representado pela medida de dispersão da amostra, ou seja, o padrão de distribuição de tamanho referente ao material coletado (FOLK, 1974). Segundo Ponçano (1986), Muehe (2004) e Jesus & Andrade, 2013, a análise dos parâmetros estatísticos ajuda na identificação de quais processos são os mais atuantes no transporte do material sedimentar, sedimentos bem selecionados apresentam uma pequena dispersão dos seus valores granulométricos, portanto, a amostra é formada, geralmente, por um tipo de material predominante. Com o aumento do transporte, e consequente aumento do grau de energia do ambiente os fragmentos passam a ser separados por tamanho e assim apresentam um mal selecionamento. O Quadro 25 apresenta as escalas qualitativas do grau de seleção de acordo com Almeida et al., (2016).

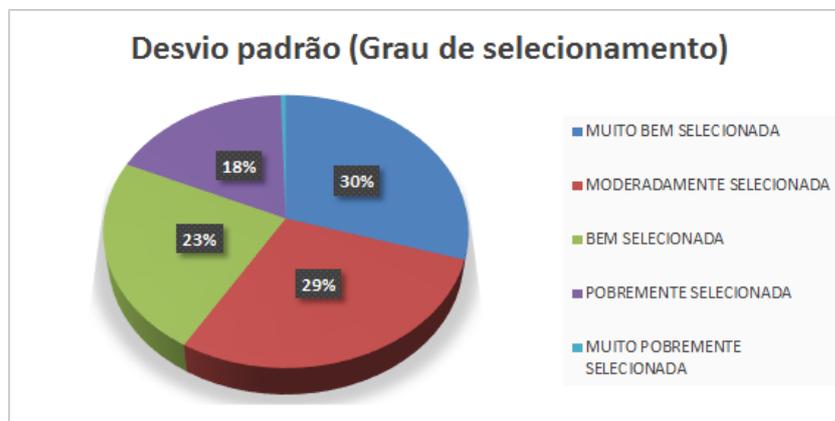
Quadro 25: Limites de classificação do grau de seleção

DESVIO PADRÃO	GRAU DE SELEÇÃO
$\sigma < 0,35$	Muito bem selecionada
0,30 a 0,50	Bem selecionada
0,50 a 1,00	Moderadamente selecionada
1,00 a 2,00	Pobrememente selecionada
2,00 a 4,00	Muito pobrememente selecionada
$\sigma > 4,00$	Extremamente mal selecionada

Fonte: adaptado de Almeida et al, 2016.

Assim, as amostras coletadas em Icapuí são formadas por areias muito bem selecionadas em 30% do material analisado, seguido por sedimentos moderadamente selecionados em 29% e por fim, as bem selecionadas que podem ser encontradas em 23% das amostras, portanto, são amostras que não apresentam misturas de populações nas curvas (Gráfico 30).

Gráfico 30: Desvio padrão dos sedimentos coletados no trecho monitorado de Icapuí

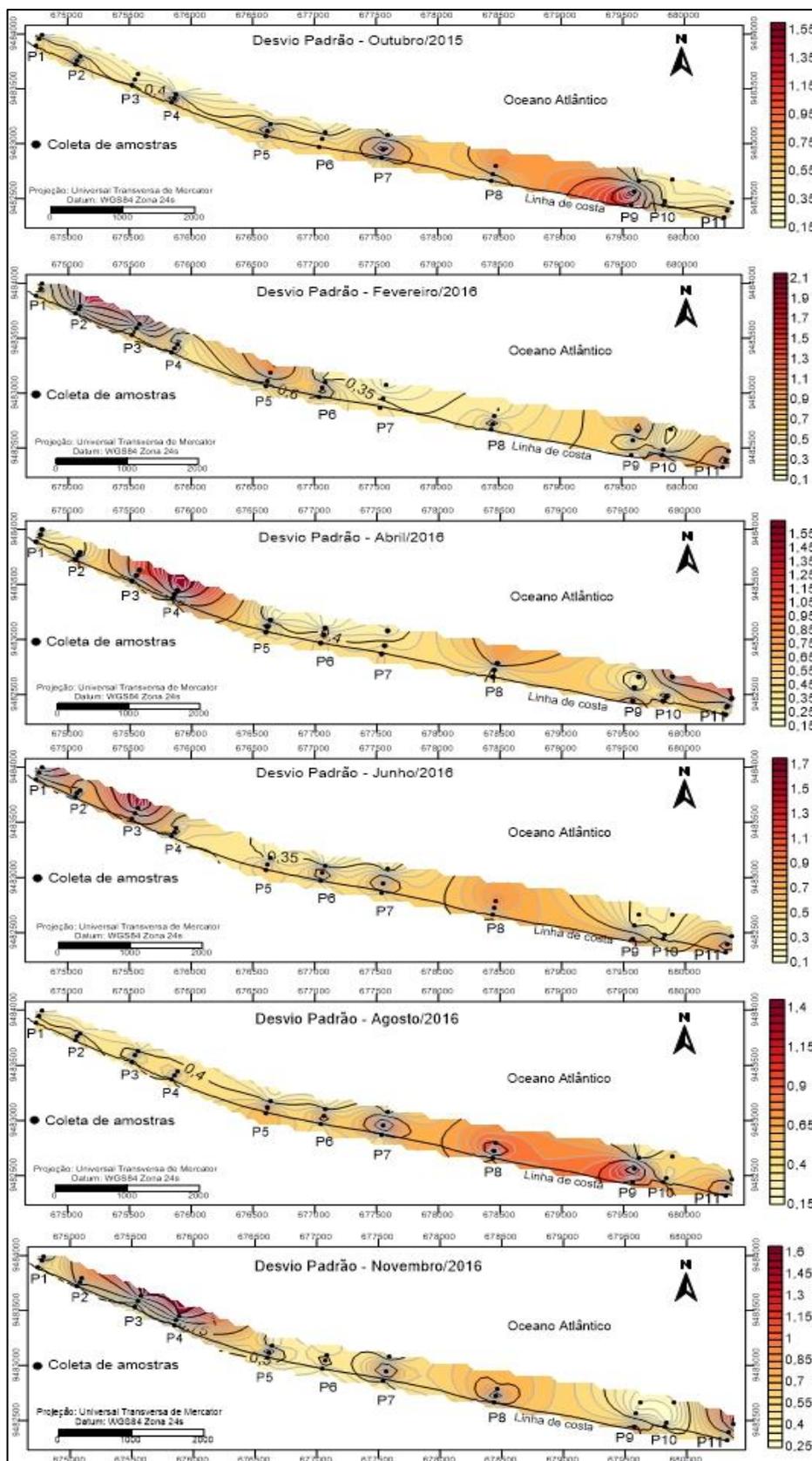


Fonte: Autoria própria.

Em praias, o grau de selecionamento ou desvio padrão, é reflexo direto das características hidrodinâmicas, ou seja, do retrabalhamento das partículas de sedimentos pela ação das marés, ondas, espraiamento (swash e backwash) e ventos (JESUS & ANDRADE, 2013). O predomínio de sedimentos bem selecionados nas praias é um indicativo de que este material é derivado de uma mesma fonte, conseqüentemente mais bem selecionados que sedimentos fluviais, isto em detrimento dos processos costeiros atuantes no local, o que pode ser verificado por meio das amostras coletadas em Icapuí.

Este bom selecionamento dos grãos depositados indicam a presença de sedimentos mais antigos e que conseqüentemente já estão sendo retrabalhados pelos processos costeiros a mais tempo e em Icapuí estão concentrados principalmente no estirâncio e antepraia, como dito anteriormente são sedimentos mais finos que se depositaram devido à baixa energia do agente transportador. Os sedimentos classificados como pobremente selecionados concentram-se principalmente nas áreas onde o processo erosivo se faz com maior intensidade, nos pontos 1 a 4, setor 1, no ponto 8 na área 2 e nas proximidades do ponto 10, isto se dá por uma provável presença de sedimentos de maior fração granulométrica que foram retrabalhados por processos costeiros de maior energia piorando assim o selecionamento deste material devido a variação no tamanho das partículas de sedimentos (Figura 95).

Figura 95: Mapas de distribuição do Desvio Padrão (Grau de Seleccionamento) do trecho monitorado.



Fonte: Autoria própria.

A curtose é a medida de esbelteza da curva de distribuição, ou seja, o grau de achatamento de uma curva em relação à curva representativa de uma distribuição normal (MUEHE, 1996; BULHÔES & ESTRADA, 2011). A curva de distribuição da curtose pode ser classificada como platicúrtica (achatada), mesocúrtica (normal) ou leptocúrtica (alongada). Assim, segundo Folk & Ward (1957) e Jesus & Andrade, 2013, valores muito altos ou baixos podem sugerir que um tipo de material foi transportado de uma determinada área-fonte sem perder as características originais, ou seja, ausência de retrabalhamento por processos hidrodinâmicos. Em curvas platicúrticas a tendência é de espalhamento dos sedimentos de menor e maior granulometria nas caudas de distribuição, o que indica uma mistura entre subpopulações (FRIEDMAN, 1967 e MARTINS, 2003).

A ausência de espalhamento de sedimentos nas curvas leptocúrticas indica sedimentos bem selecionados na porção central da distribuição, em ambientes praias a curva tendencial é classificada como leptocúrtica e muito leptocúrtica, diferentemente de ambientes onde há predominância do agente eólico como principal transportador onde as curvas classificam-se como mesocúrticas (MARTINS, 2003). O Quadro 26 apresenta o grau de picosidade de acordo com Folk & Ward (1957) e Almeida et al., (2016)

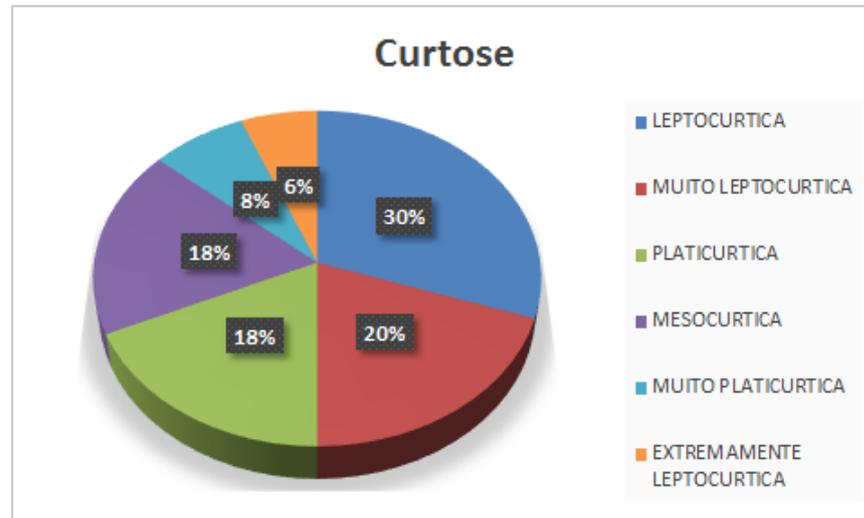
Quadro 26: Limites de classificação da Curtose

CURTOSE (K)	CLASSIFICAÇÃO
k > 0,67	Muito platicúrtica
0,67 a 0,90	Platicúrtica
0,90 a 1,11	Mesocúrtica
1,11 a 1,50	Leptocúrtica
1,50 a 3,00	Muito leptocúrtica
K > 3,00	Extremamente leptocúrtica

Fonte: adaptado de Almeida et al, 2016.

Os resultados apontam para curvas com picos elevados referentes à classificação leptocúrtica, em 30% e muito leptocúrtica, em 20%, tal fato pode elucidar as tendências de transporte que pode estar associado à remoção de frações por meio de correntes de fundo e/ou outras forçantes deposicionais de menor energia (PONÇANO, 1986) (Gráfico 31).

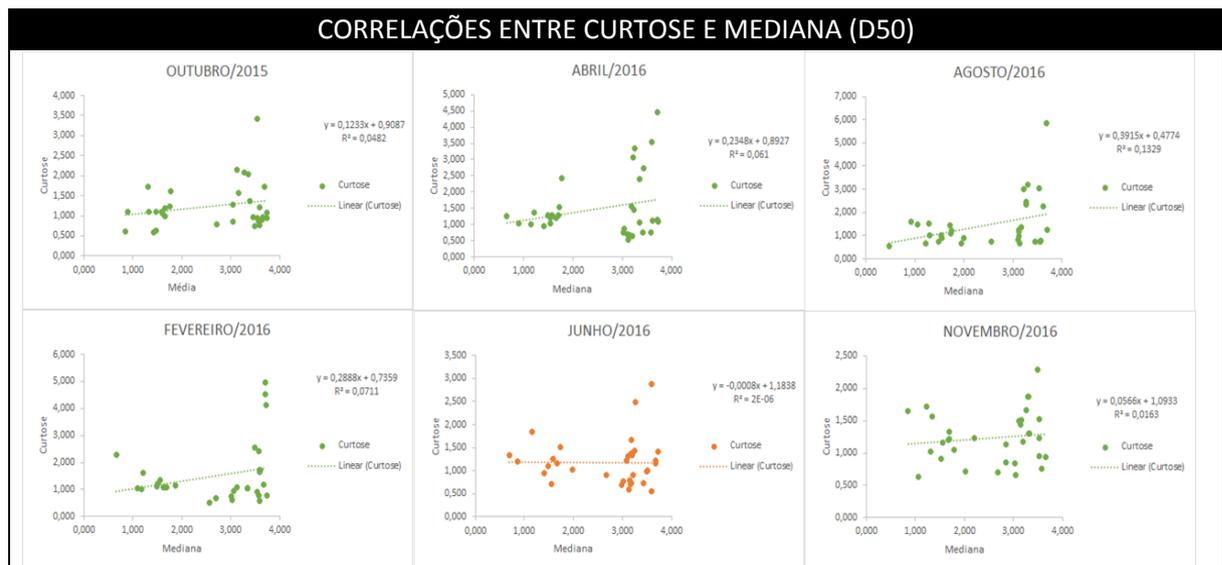
Gráfico 31: Curtose dos sedimentos coletados no trecho monitorado em Icapuí



Fonte: Autoria própria.

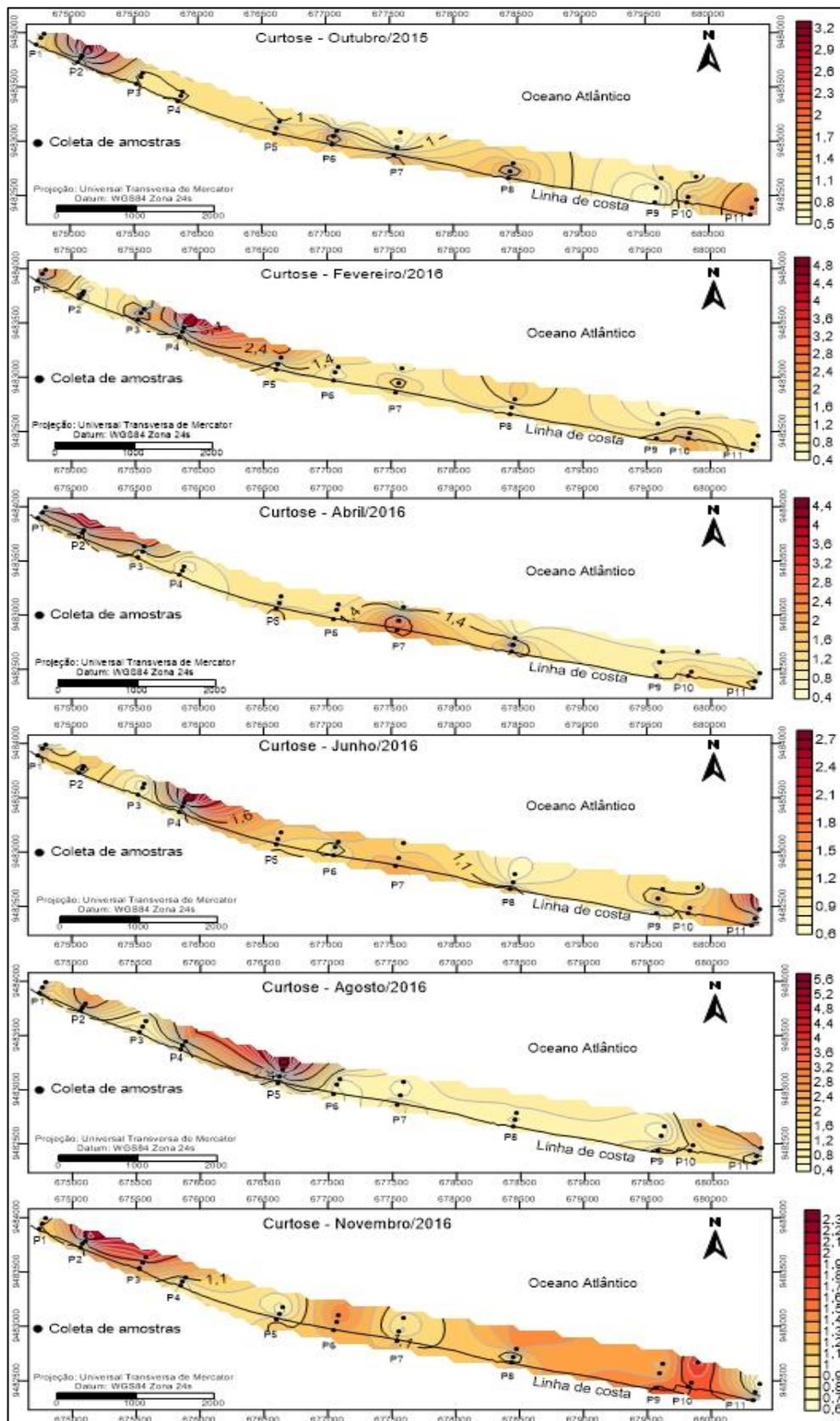
O quadro 27 mostra a relação entre curtose e mediana (D50) dos sedimentos analisados, é possível notar uma tendência leptocúrtica nos sedimentos mais finos que se encontram depositados principalmente no estirâncio e antepraia dos trechos monitorados, área onde foi constatada as maiores alterações do tamanho das partículas de sedimentos durante as análises dos sedimentos coletados, portanto, configurando-se como a área de maior mobilidade dos sedimentos ao longo do perfil praiar devido ao fluxo hidrodinâmico (Figura 96).

Quadro 27: Correlação entre a curtose e o tamanho médio dos sedimentos analisados



Fonte: Autoria própria

Figura 96: Mapas de distribuição da Curtose do trecho monitorado



Fonte: Autoria própria.

E por fim a análise da assimetria, grau de desvio de uma curva no sentido horizontal podendo esse desvio ser de caráter positivo ou negativo, mede a distribuição da frequência e marca a posição da média em relação à mediana e assim descreve se a curva é ou não simétrica (FOLK & WARD, 1957). O Quadro 28 apresenta o grau de picosidade de acordo com Folk & Ward (1957) e Almeida et al., (2016)

Quadro 28: Limites de classificação da Assimetria

ASSIMETRIA	GRAU DE TENDÊNCIA ASSIMÉTRICA
- 1,00 a - 0,30	Assimetria muito negativa
- 0,30 a - 0,10	Assimetria negativa
- 0,10 a 0,10	Aproximadamente simétrica
0,10 a 0,30	Assimetria positiva
0,30 a 1,00	Assimetria muito positiva

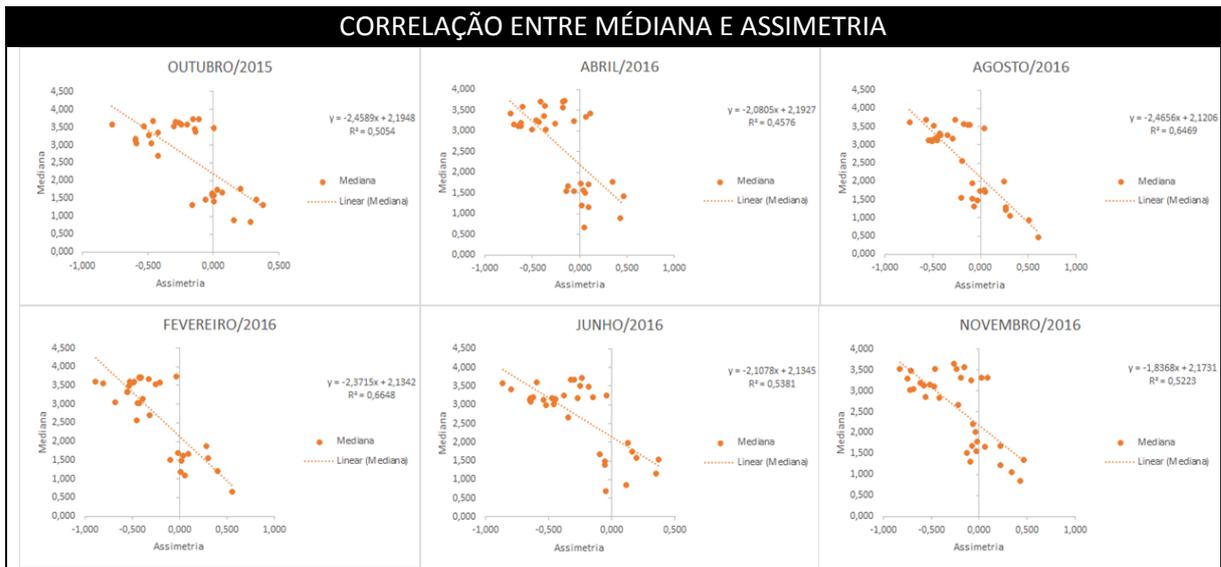
Fonte: adaptado de Almeida et al, 2016.

Segundo Dias, 2004 e Jesus & Andrade, 2013, a assimetria positiva ocorre quando o valor da média tende a ser superior ao valor da mediana, que por sua vez é maior que a moda, assim a cauda da curva de distribuição é voltada para direita (grãos mais finos). A assimetria negativa ocorre quando o valor da média é menor que o valor da mediana, que por sua vez é menor que a moda, assim a cauda de distribuição da curva pende para a esquerda (grãos mais grossos).

Assim, a medida que diminui o tamanho médio do grão, as frações mais finas, finas e muito finas se misturam havendo então uma tendência de a curva de assimetria ser negativa, com a cauda voltada para o lado de frações maior granulometria, em contrapartida, a medida que aumenta a presença de sedimentos mais grossos e muito grossos a cauda da curva passa a pender para o lado das frações mais finas, portanto, de assimetria positiva (FOLK & WARD, 1957; BULHÕES & ESTRADA, 2011) (Quadro 29).

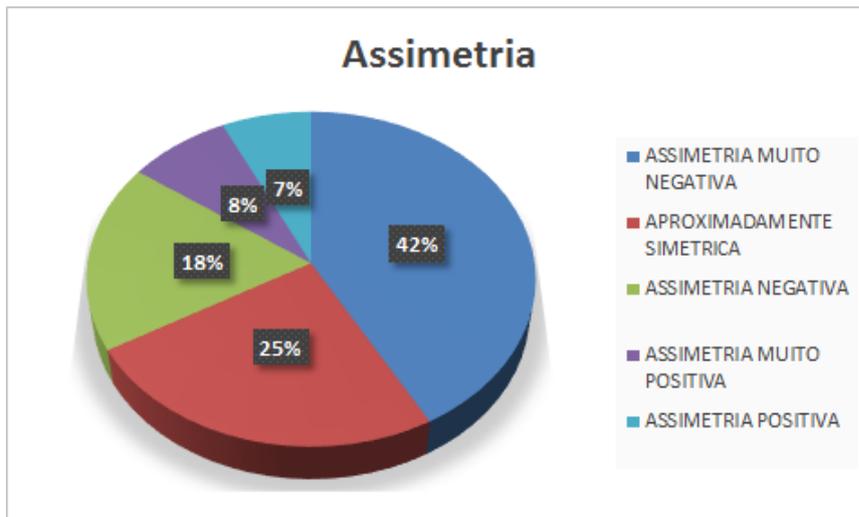
Para os sedimentos coletados em Icapuí, a análise deste parâmetro mostra uma tendência de curvas de assimetria muito negativa em 42% das amostras coletadas na presença de material muito fino e fino que são predominantes na área de monitoramento o que corrobora com a classificação pelo diâmetro médio do grão (D50) (Gráfico 32 e Figura 97).

Quadro 29: Correlação entre o tamanho médio dos grãos de sedimentos e assimetria dos sedimentos analisados



Fonte: Autoria própria.

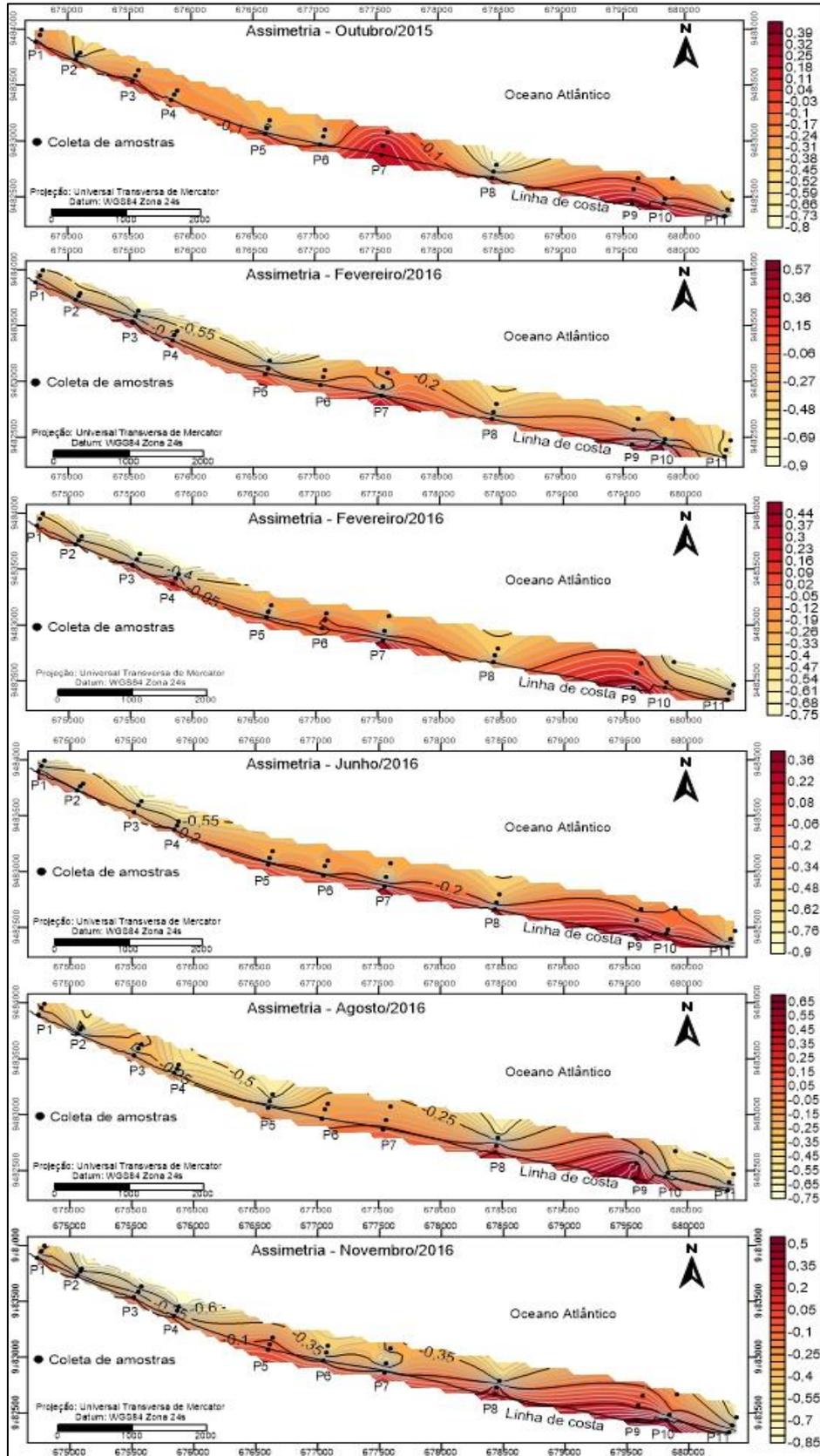
Gráfico 32: Assimetria dos sedimentos coletados no trecho monitorado de Icapuí



Fonte: Autoria própria.

Ao analisar os processos de deposição e sedimentação de ambientes costeiros, Duane (1964), Friedman (1967), Martins (2003), e Jesus & Andrade (2013) afirmam que a assimetria é uma característica inerente ao ambiente no qual os sedimentos estão depositados. Em ambientes praias o material sedimentar assume características de assimetria negativa a muito negativa, diferentemente de ambientes fluviais e dunares, onde as areias apresentam assimetria positiva. Essa assimetria positiva é influenciada diretamente por fluxos unidirecionais, ou seja, fluxo contínuo, geralmente em uma direção predominante, característico de direção de descarga fluvial e direção predominante de ventos.

Figura 97: Mapas de distribuição da assimetria dos sedimentos coletados



Fonte: Autoria própria.

Tal fato pode ser relacionado diretamente com os sedimentos coletados em Icapuí que estão depositados em uma área de baixa energia com deposição influenciada diretamente por processos costeiros, sem influência de corpos hídricos, com capacidade de fornecer material para as praias adjacentes e conseqüentemente alterar esses padrões de assimetria com sedimentos de maior granulometria.

6.2.3. Análise da Composição Carbonática dos Sedimentos Coletados

Além de passarem pela análise granulométrica, os sedimentos coletados durante os trabalhos de campo também foram testados para determinação dos valores de Carbonato de Cálcio presente em cada amostra, tal processo se deu através do Calcímetro de Bernard (modificado) com o intuito de identificar o tipo de material depositado na área de monitoramento que não faz parte da fração silicosa.

Conforme já citado em vários estudos já realizados na área, a região de Icapuí é marcada por sucessivos processos de variação do nível do mar que deram origem aos terraços marinhos e conseqüente níveis diferenciados de deposição com material silicoso intercalado de material bioclástico, assim, durante os trabalhos de campo foi possível observar, principalmente na região do pós-praia, grandes porções de material bioclástico em meio ao material de origem terrígena, são restos de conchas, rodólitos e demais fragmentos de algas calcárias que estão diretamente relacionados à outros níveis de mar, além da influência do transporte de áreas mais profundas e plataforma continental, na sedimentação em áreas costeiras (Figura 98).

Figura 98: Material bioclástico intercalado com material siliciclástico em trincheiras das salinas em Icapuí.



Fonte: Autoria própria.

Nos meses onde há a ocorrência de ondas Swell atingindo o litoral de Icapuí se faz notar um acúmulo de algas e rodólitos no estirâncio superior e que em alguns casos chegam a atingir algumas porções do Pós-Praia, isto se dá pelo maior grau de energia dessas ondulações que retiram esse material de áreas submersas e os depositam diretamente na praia, esses fenômenos são conhecidos por “arribadas” e acabam contribuindo para a composição sedimentológica dos trechos monitorados do litoral de Icapuí (Figura 99).

Figura 99: Acúmulo de algas e rodólitos na faixa de praias dos trechos monitorados



Fonte: Autoria própria.

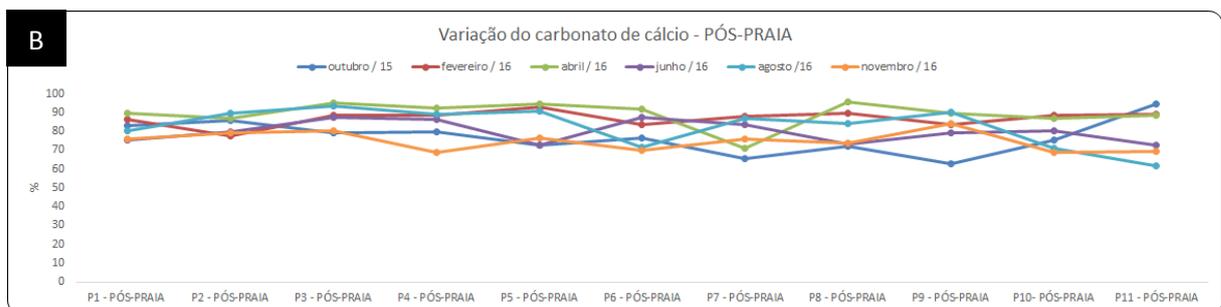
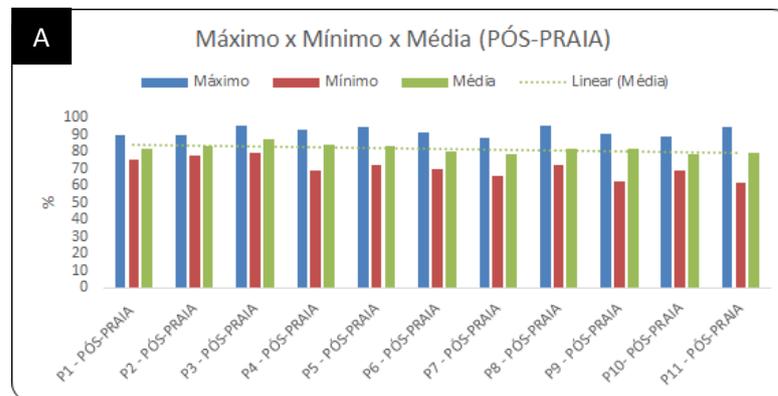
As análises realizadas nos sedimentos em Icapuí mostraram que os maiores valores de carbonato presente nas amostras se encontra na região do Pós-praia, o material coletado neste setor chega a atingir 95%, no ponto de monitoramento 3, no setor 1 e mínimo de 61% na região do ponto de monitoramento 11, setor 3, de modo geral, os sedimentos depositados neste setor do perfil praias das áreas de monitoramento apresentam em média 81% de CaCO_3 nas amostras, sendo classificados como areias bioclásticas segundo a classificação de Larssonneur (1977) (Quadro 30, gráfico 33 A e B).

Quadro 33: teores de carbonato de cálcio obtidos na berma durante o monitoramento

Nº Amostra	out/15	fev/16	abr/16	jun/16	ago/16	nov/16	Máximo	Mínimo	Média
P1 - PÓS-PRAIA	82,99	86,46	89,77	75,23	80,19	75,90	89,77	75,23	81,76
P2 - PÓS-PRAIA	85,60	77,55	86,94	79,84	89,76	79,20	89,76	77,55	83,15
P3 - PÓS-PRAIA	79,40	88,44	95,27	87,65	93,39	80,30	95,27	79,40	87,41
P4 - PÓS-PRAIA	79,72	88,77	92,61	86,58	89,10	68,93	92,61	68,93	84,29
P5 - PÓS-PRAIA	72,53	93,06	94,74	72,39	90,75	76,63	94,74	72,39	83,35
P6 - PÓS-PRAIA	76,46	83,82	91,55	87,29	71,61	70,03	91,55	70,03	80,13
P7 - PÓS-PRAIA	65,67	88,11	70,97	83,39	86,79	75,90	88,11	65,67	78,47
P8 - PÓS-PRAIA	71,88	89,76	95,45	73,10	84,15	73,70	95,45	71,88	81,34
P9 - PÓS-PRAIA	62,73	83,82	89,42	79,48	90,42	84,33	90,42	62,73	81,70
P10 - PÓS-PRAIA	75,48	88,77	86,94	80,19	70,95	68,93	88,77	68,93	78,54
P11 - PÓS-PRAIA	94,43	89,10	88,71	72,39	61,71	69,30	94,43	61,71	79,27

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 34: A) Variações dos teores de carbonato de cálcio medidos nas amostras coletadas durante os trabalhos de campo no berma, B) Variação longitudinal do carbonato no pós-praia ao longo dos perfis de monitoramento.



Fonte: Autoria própria.

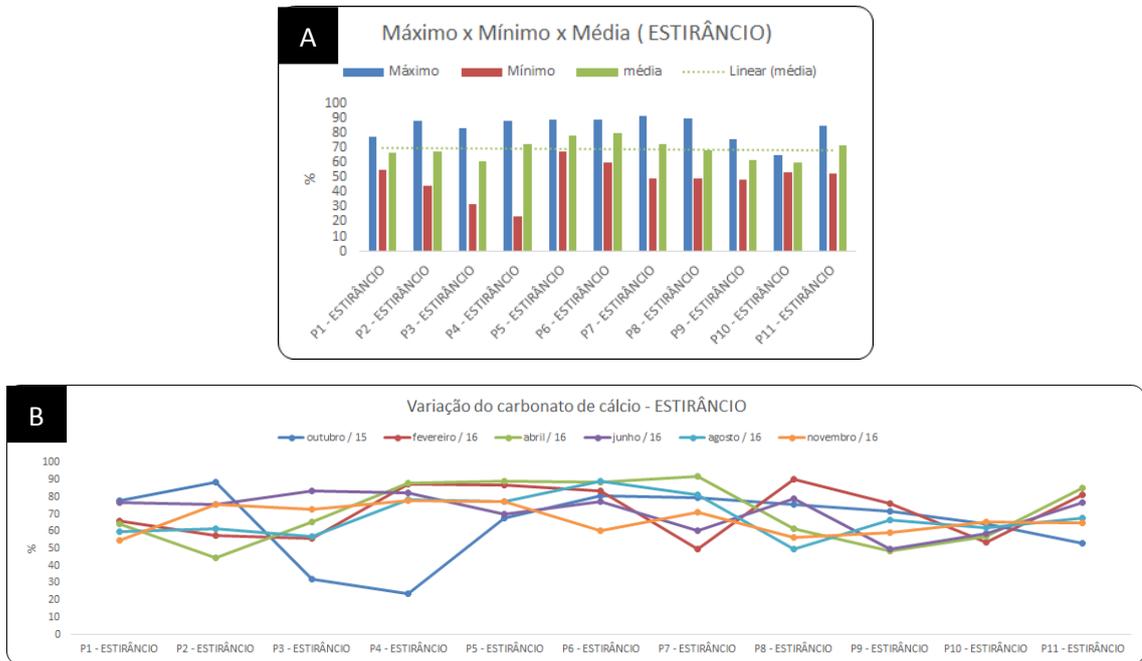
Os sedimentos coletados no estirâncio dos perfis de monitoramento apresentaram um máximo de 91% no ponto 7 e mínimo observado de 44% no ponto 2, com média geral para este setor dos perfis monitorados de 69%, o que classifica as amostras coletadas durante com os campos como areias biolitolásticas, ou seja, há uma predominância maior de material terrígeno neste setor do que o apresentado na área do Pós-praia (Quadro 31 e Gráfico 34 A e B).

Quadro 31: teores de carbonato de cálcio obtidos no estirâncio durante o monitoramento

Nº Amostra	out/15	fev/16	abr/16	jun/16	ago/16	nov/16	Máximo	Mínimo	média
P1 - ESTIRÂNCIO	78,09	66,00	64,58	77,00	60,06	55,00	78,09	55,00	66,79
P2 - ESTIRÂNCIO	88,87	57,75	44,71	75,94	61,71	75,90	88,87	44,71	67,48
P3 - ESTIRÂNCIO	32,35	56,10	65,65	83,39	57,09	72,60	83,39	32,35	61,19
P4 - ESTIRÂNCIO	23,52	87,78	88,35	82,32	78,54	77,73	88,35	23,52	73,04
P5 - ESTIRÂNCIO	67,96	87,12	89,42	70,26	77,22	77,37	89,42	67,96	78,22
P6 - ESTIRÂNCIO	81,03	83,82	88,71	77,35	89,43	60,50	89,43	60,50	80,14
P7 - ESTIRÂNCIO	79,40	49,83	91,90	60,68	81,51	71,13	91,90	49,83	72,41
P8 - ESTIRÂNCIO	75,80	90,42	61,74	79,13	49,83	56,47	90,42	49,83	68,90
P9 - ESTIRÂNCIO	71,55	76,23	48,61	49,68	66,66	59,40	76,23	48,61	62,02
P10 - ESTIRÂNCIO	64,37	53,79	57,13	58,55	62,37	65,63	65,63	53,79	60,31
P11 - ESTIRÂNCIO	52,93	81,51	85,16	76,65	67,65	64,90	85,16	52,93	71,47

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 34: A) Variações dos teores de carbonato de cálcio medidos nas amostras coletadas durante os trabalhos de campo no estirâncio; B) Variação longitudinal do carbonato de cálcio no estirâncio ao longo dos perfis de monitoramento



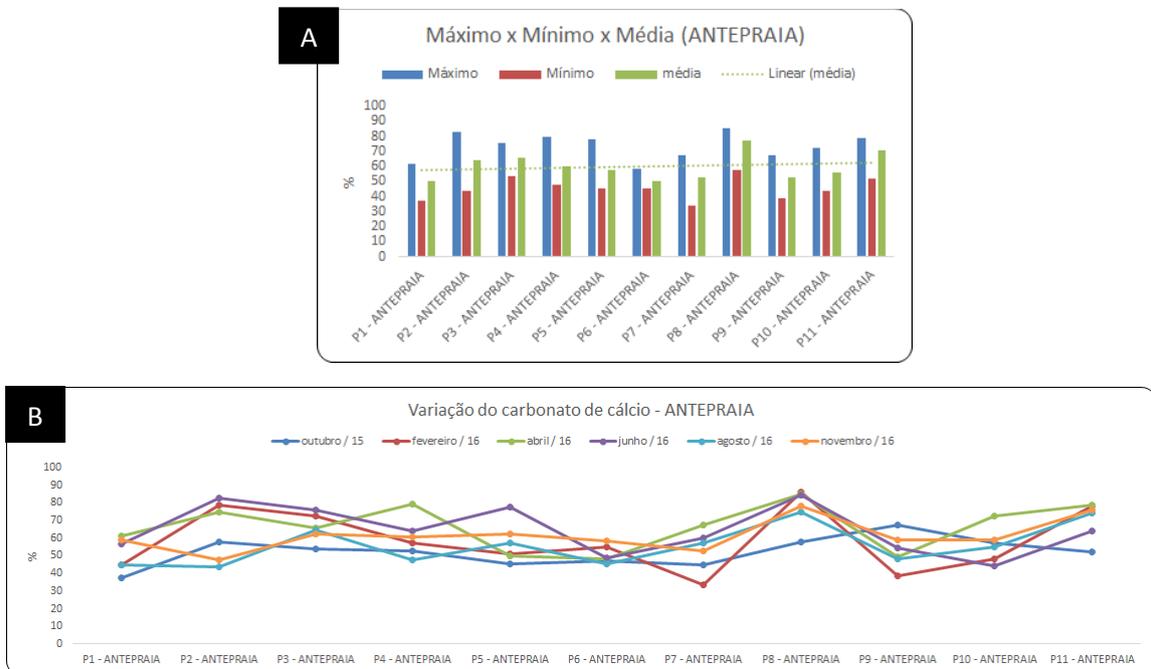
Fonte: Autoria própria.

Assim como os sedimentos coletados no setor do estirâncio dos perfis monitorados, as areias coletadas na antepraia apresentaram durante as análises uma média 69% de CaCO₃, com máximo obtido de 85%, e também se classificam como areias biolitoclásticas com predominância de material siliciclástico, em relação ao material de origem bioclástica (Quadro 32 e Gráfico 35 A e B)

Quadro 32: teores de carbonato de cálcio obtidos na antepraia durante o monitoramento

Nº Amostra	out/15	fev/16	abr/16	jun/16	ago/16	nov/16	Máximo	Mínimo	média
P1 - ANTEPRAIA	37,25	44,88	61,39	56,77	44,88	59,03	61,39	37,25	50,70
P2 - ANTEPRAIA	57,83	78,54	74,52	82,68	43,89	47,67	82,68	43,89	64,19
P3 - ANTEPRAIA	53,91	72,60	66,00	75,94	64,68	62,33	75,94	53,91	65,91
P4 - ANTEPRAIA	52,60	57,42	79,48	64,23	47,52	60,50	79,48	47,52	60,29
P5 - ANTEPRAIA	45,42	51,15	50,03	77,71	57,42	62,33	77,71	45,42	57,34
P6 - ANTEPRAIA	47,38	55,11	48,26	48,61	45,21	58,67	58,67	45,21	50,54
P7 - ANTEPRAIA	45,09	33,66	67,42	60,32	57,09	52,80	67,42	33,66	52,73
P8 - ANTEPRAIA	57,83	85,80	85,16	84,10	74,91	78,10	85,80	57,83	77,65
P9 - ANTEPRAIA	67,31	38,78	49,32	54,65	48,51	59,03	67,31	38,78	52,93
P10 - ANTEPRAIA	57,18	48,51	72,74	44,00	55,11	59,03	72,74	44,00	56,10
P11 - ANTEPRAIA	52,28	78,21	78,77	63,87	74,25	75,90	78,77	52,28	70,55

Gráfico 35: A) Variações dos teores de carbonato de cálcio medidos nas amostras coletadas durante os trabalhos de campo na antepraia; B) Variação longitudinal do carbonato de cálcio na antepraia ao longo dos perfis de monitoramento

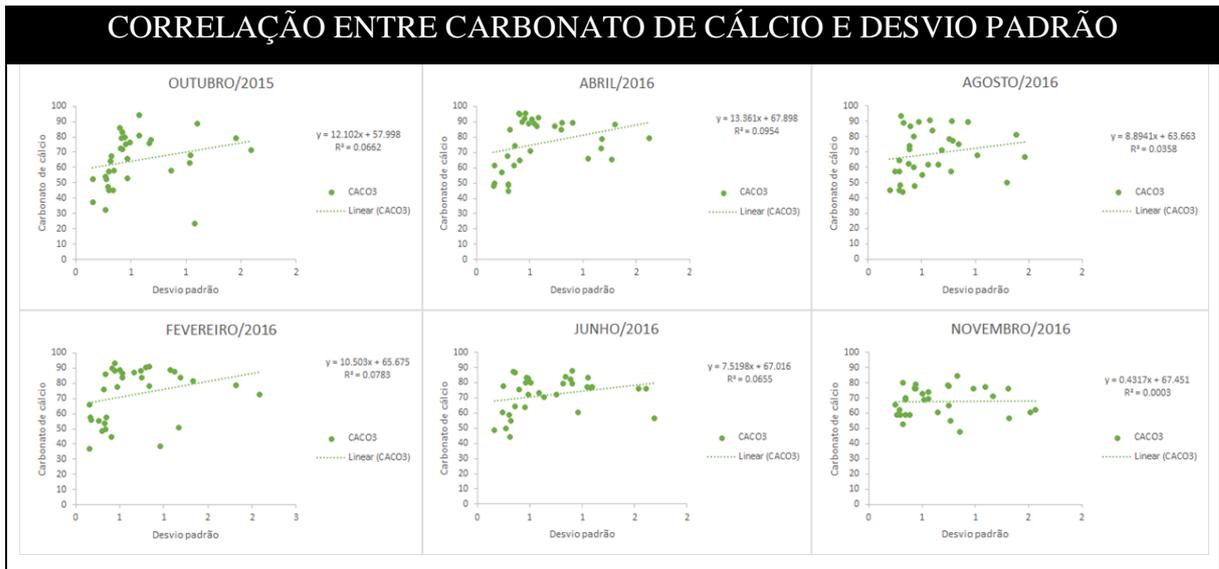


Fonte: Autoria própria.

A análise da correlação entre os teores de carbonato de cálcio e desvio padrão das amostras coletadas em Icapuí mostrou que as amostras apresentam um bom selecionamento dos grãos conforme o aumento de material bioclástico na amostra coletada, tal fato é explicado pela facilidade com que esse material é fragmentado, tornando-se um material de fração mais fina devido à ação dos processos costeiro atuantes no local (Quadro 33 e 34). Conforme visto durante o processo de análise granulométrica esse material está concentrado nas porções mais altas da praia, no Pós-Praia ou estrâncio superior, permitindo uma maior concentração de Carbonato nas amostras coletadas nestes pontos. A figura 100 mostra a presença de carbonato de cálcio entre as amostras coletadas e mesmo os valores mais altos estando concentrados no

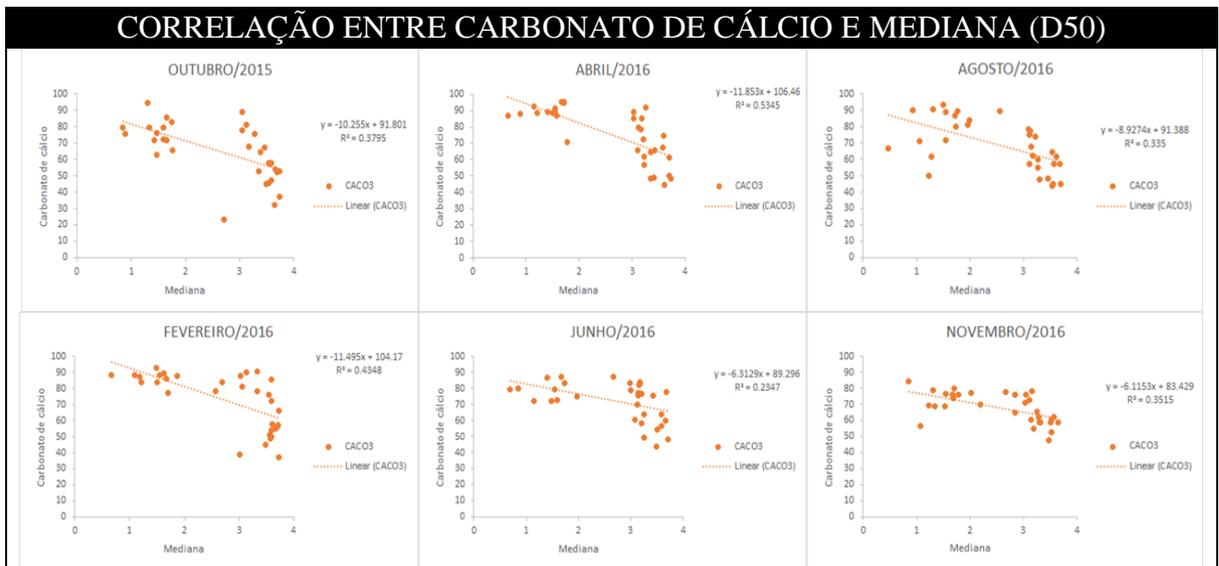
Pós-Praia, onde há sedimentos de maior fração granulométrica, é possível observar que as demais amostras apresentam um decaimento de material bioclástico, mas mesmo assim as amostras classificadas como sedimentos finos apresentam elevados teores de carbonato, principalmente entre os pontos 8 e 9, local onde as “arribadas” ocorrem com frequência.

Quadro 33: Correlação entre os teores de carbonato de cálcio e desvio padrão dos sedimentos coletados



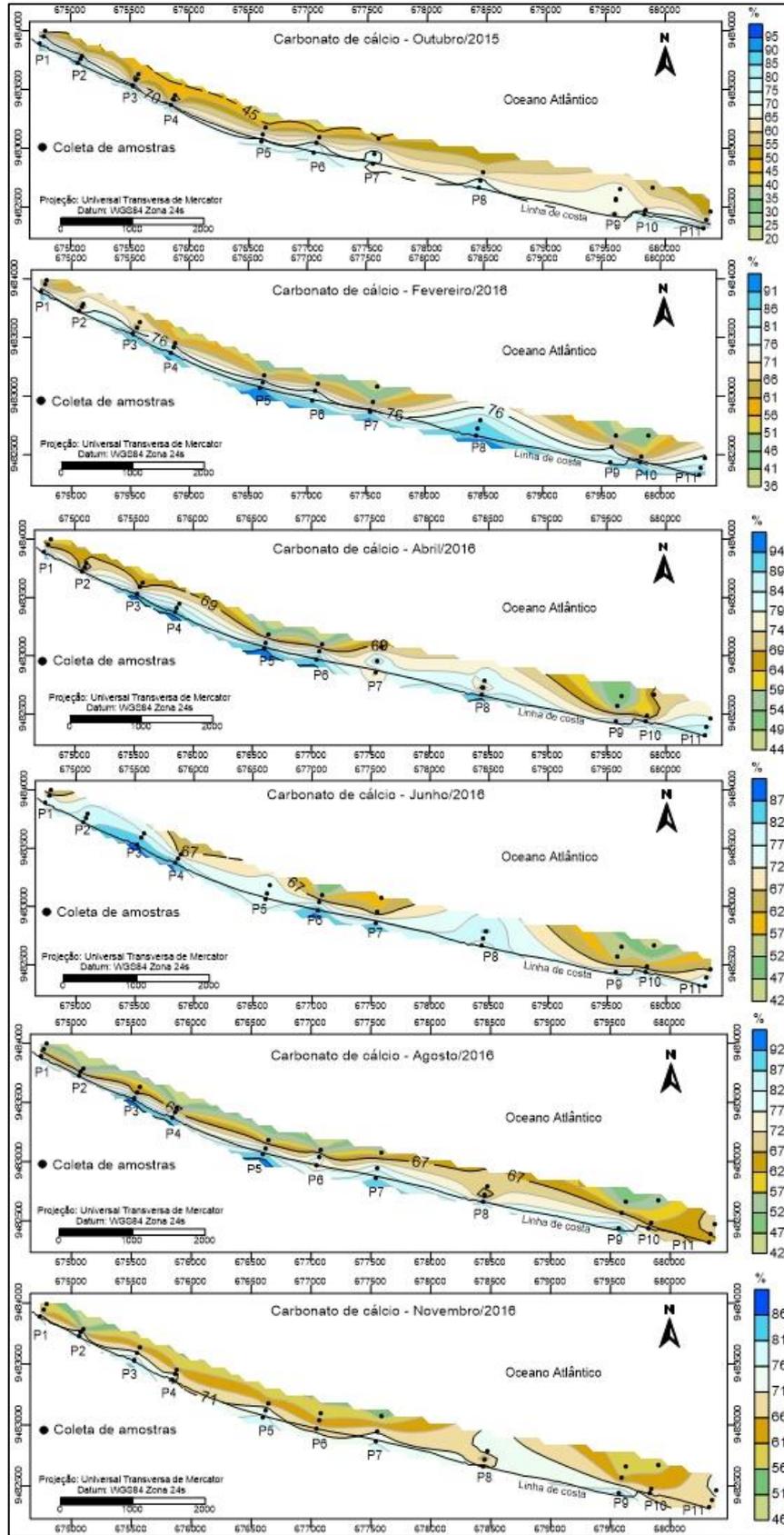
Fonte: Autoria própria.

Quadro 34: Correlação entre carbonato de cálcio e tamanho médio dos sedimentos coletados



Fonte: Autoria própria.

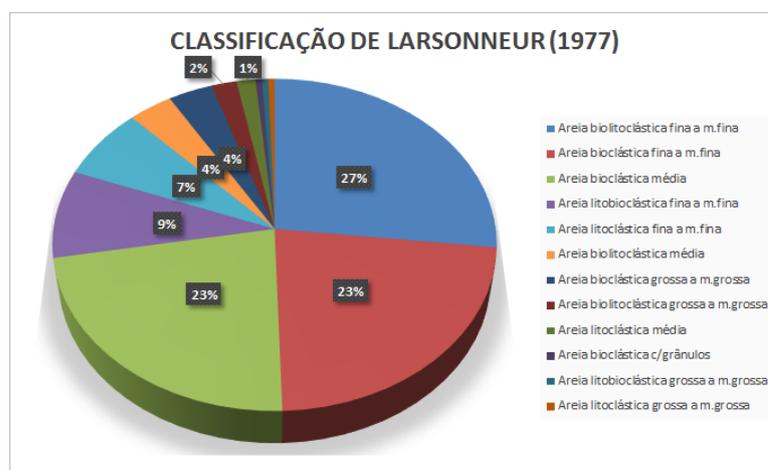
Figura 100: Mapa de distribuição dos teores de carbonato de cálcio nas amostras coletadas



Fonte: Autoria própria.

A partir dos resultados obtidos durante a análise de carbonato de cálcio presente nas amostras, foi possível classifica-las, também de modo geral, conforme já mostrado em relação ao tamanho do grão, de acordo com a classificação da Larssonneur (1977) que leva em consideração o tamanho médio do grão e a quantidade de carbonato de cálcio presente nas amostras. Os sedimentos que compõem a faixa de praia das áreas de monitoramento em Icapuí são classificadas em sua maioria como areias biolitoclásticas, em 27%, seguida de areias bioclásticas finas a muito finas e areias bioclásticas médias com 23% (Gráfico 36).

Gráfico 36: Classificação de Larssonneur (1977) para os sedimentos coletados na faixa de praia em Icapuí



Fonte: Autoria própria.

A realização da análise granulométrica em conjunto com a determinação do teor de carbonato de cálcio presente nas amostras mostrou que a área de monitoramento é composta principalmente por sedimento de fração granulométrica fina a muito fina, resultantes das características morfodinâmicas da área, ou seja, praias modificadas por marés e que apresentam baixa energia no ambiente favorecendo assim a deposição desse material. A análise dos parâmetros estatísticos mostrou que os sedimentos são em sua maioria, bem selecionados, indicando um grau elevado de maturidade o que implica dizer que já estão nesse ambiente a bastante tempo e que tendem a ser transportados geralmente por correntes de fundo.

As frações de maior granulometria depositadas na região do pós-praia e estirâncio superior são resultados de uma série de fatores, desde a própria evolução da planície costeira de Icapuí até a atuação de ondas na porção superior do perfil praiial, parte desse material depositado é composto por conchas, algas e demais fragmentos de composição bioclástica que são depositados em situações também relacionadas à evolução sedimentar do local, variações

do nível do mar, bem como a deposição influenciada pela incidência de ondas de maior energia que trazem esse material de áreas distantes e os depositam na parte superior do perfil.

6.3. Análise da Variação da Linha de Costa entre os anos de 2002 e 2016

Uma breve análise da Figura 101 disponibilizada pela CPRM onde mostra os 3 setores analisados da linha de costa em Icapuí em meados da década de 1980, é possível observar uma extensa faixa de praia, principalmente no setor 3, na Praia da Barrinha, em virtude da presença de uma planície de maré nesta área. Nas Praias de Barreiras de Baixo e de Cima, setor 1 e 2 respectivamente, essa faixa extensa de praia também é observada, mas diferentemente do que é observado nos dias atuais, quase não se fazem presentes ocupações ao longo da orla da área, vale ressaltar que neste período o atual município de Icapuí estava em processo de emancipação do município do qual era distrito, Aracati, portanto, o adensamento populacional nesta área era restrito à pequenas comunidades que viviam da pesca e demais atividades relacionadas, onde a erosão costeira ainda não era um fenômeno perceptível pelo poder público da época.

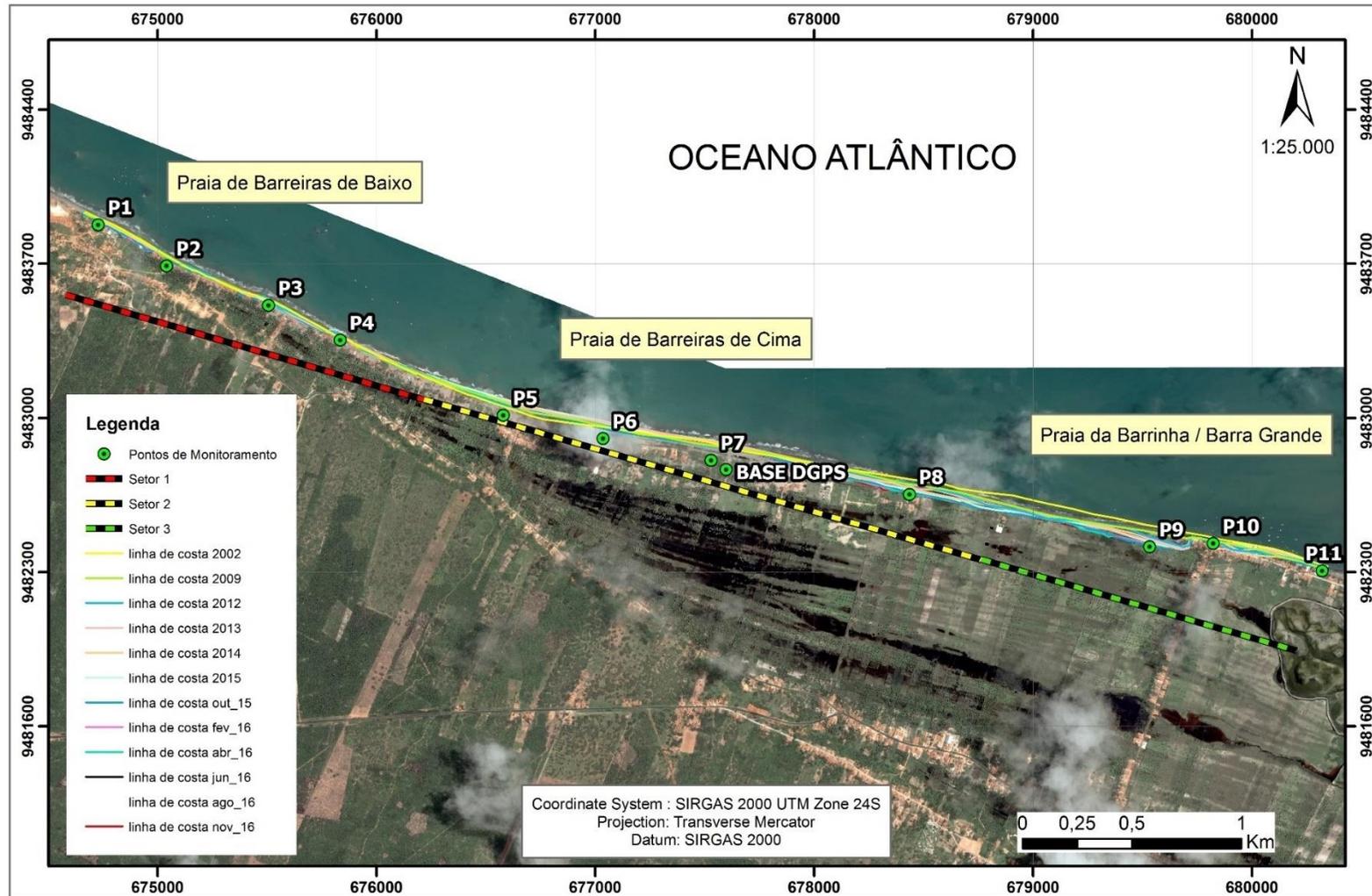
Figura 101: Trecho costeiro monitorado na década de 1980 em Icapuí



Fonte: Imagem adaptada, cedida pela CPRM.

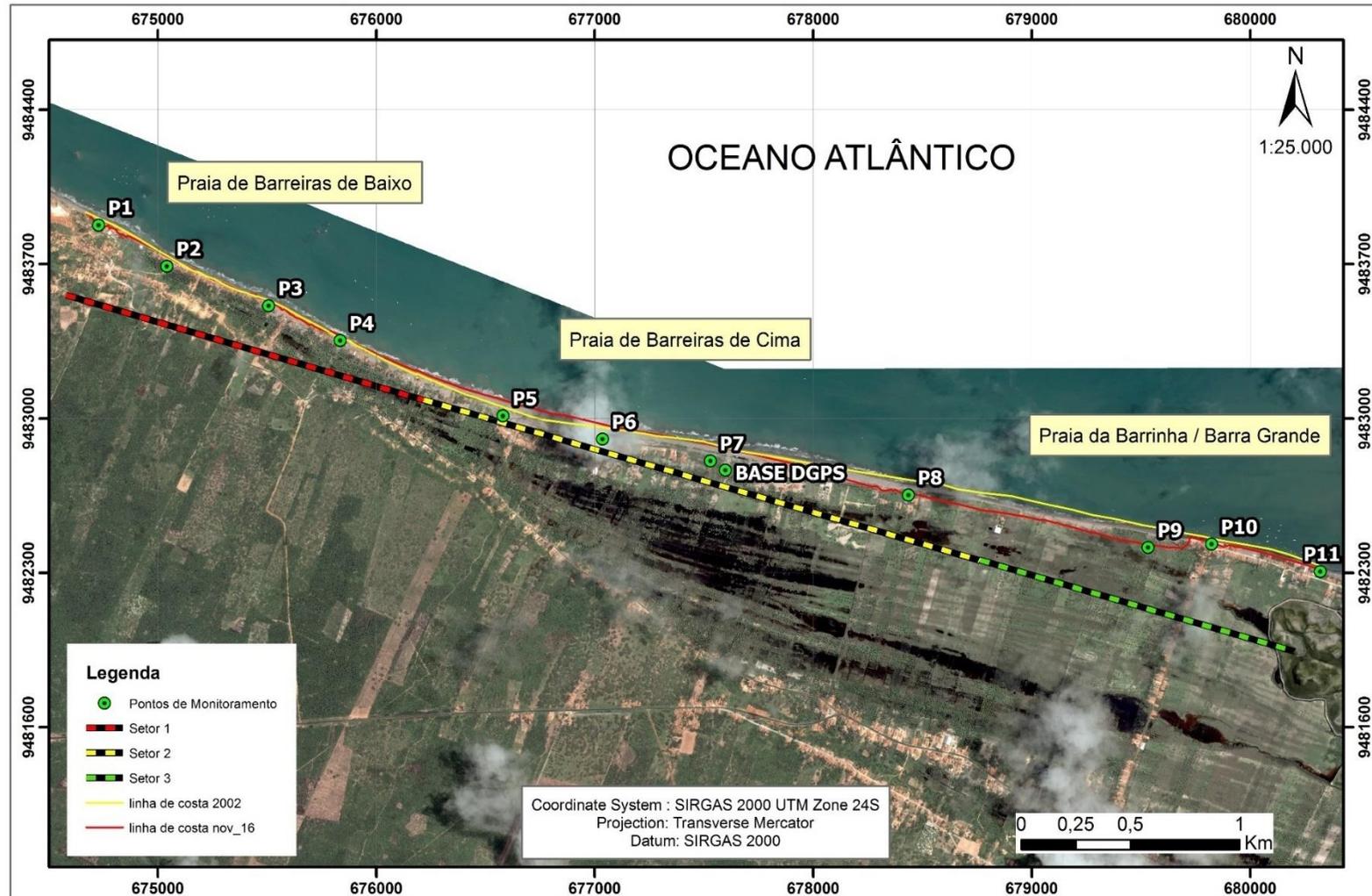
Diferentemente da década de 1980, o trecho costeiro monitorado apresenta uma orla com ocupações próximas ou diretamente na linha de costa e quase que totalmente linear, sendo limitada atualmente por obras de proteção contra erosão costeira em alguns pontos (Figura 102 e Figura 103).

Figura 102: Mapa com a representação de todas as linhas de costa utilizadas para análise.



Fonte: Autoria própria.

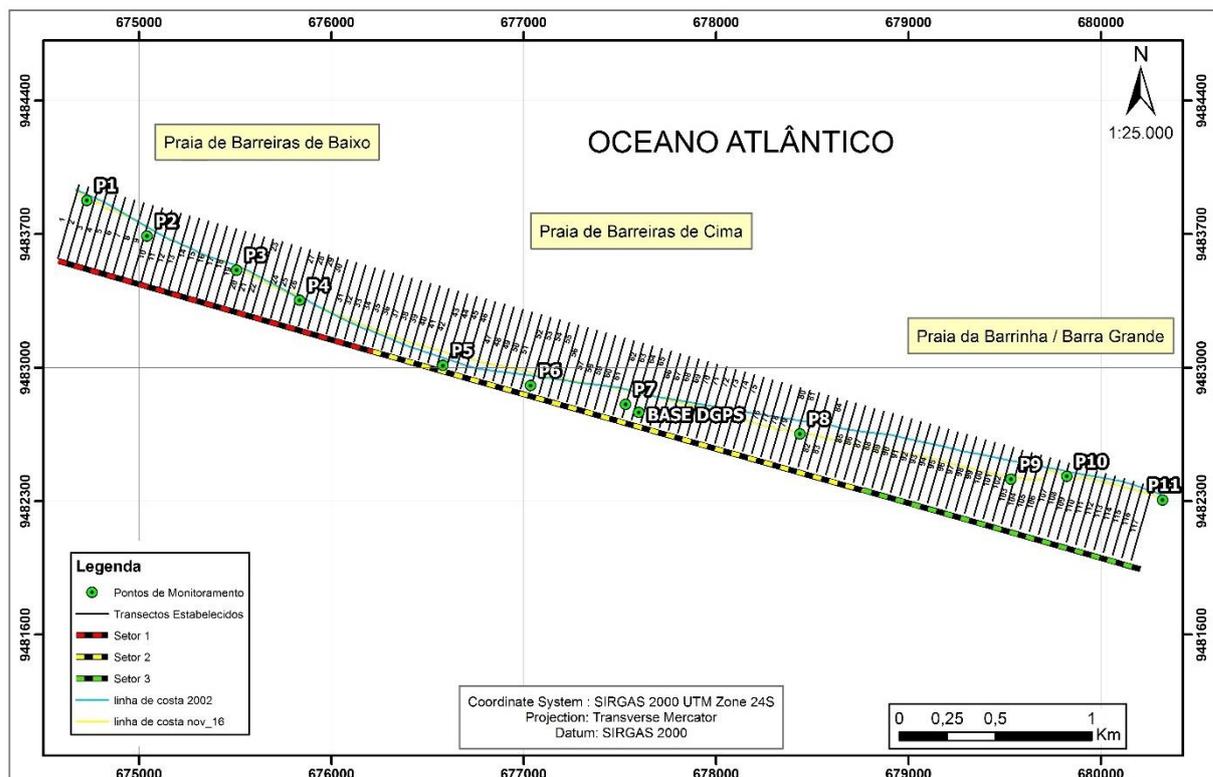
Figura 103: Mapa com a representação das linhas de costa de 2002, obtida com imagem de satélite e 2016, obtida no experimento de campo com o uso de DGPS.



Fonte: Autoria própria.

A figura 104 apresenta o trecho monitorado do município de Icapuí com os 117 transectos estabelecidos a partir da utilização do DSAS, cada transecto possui 400 metros de extensão com espaçamento entre eles de 50 metros. Os resultados mostram que as maiores variações da Linha de Costa estão concentradas nos setores 2 e 3, em contrapartida, as menores variações estão localizadas no setor 1, porém, tal fato não pode ser desconsiderado pois se trata do trecho que possui a maior concentração de residências construídas diretamente na Linha de Costa o que se torna um fator de risco.

Figura 104: Transectos estabelecidos pelo DSAS ao longo do trecho monitorado em Icapuí.



Fonte: Autoria própria.

O gráfico x apresenta os resultados obtidos com o DSAS através da análise de todas as linhas de costa disponíveis. Os valores acima do 0 no eixo x apresentam valores positivos, portanto são pontos delimitados pelos transectos onde houve uma progradação da linha de costa, os valores abaixo deste mesmo eixo, negativos, são referentes aos pontos onde um houve uma retrogradação da linha de costa.

Ao analisar em termos gerais dois parâmetros estatísticos, o Shoreline Change Envelope (SCE) que leva em consideração valores totais, sem considerar a data, a distância máxima entre as linhas de costa e o Net Shoreline Movement (NSM) que também representa uma distância, mas entre a linha de costa mais antiga, 2002 e a linha de costa mais recente,

2016, foi possível verificar que os trechos que apresentam os maiores valores totais estão concentrados principalmente no setor 3. Para o SCE foi possível verificar uma distância máxima de 91,88 m no transecto 103, aproximadamente 6,56 m/ano, e para o NSM verificou-se uma retração da linha de costa de 85,71 m no transecto 100, aproximadamente 6,12 m/ano, esse trecho corresponde a área entre os pontos de monitoramento 8 e 9, área em que o processo erosivo foi acelerado pela presença de um enrocamento no ponto de monitoramento 10, na Praia da Barrinha e que afetou completamente o comportamento do ambiente praial neste setor, entre os pontos 7 e 10 do trecho monitorado em Icapuí (Gráfico 37).

Gráfico 37: Resultados obtidos da variação da linha de costa com o DSAS



Fonte: Autoria própria.

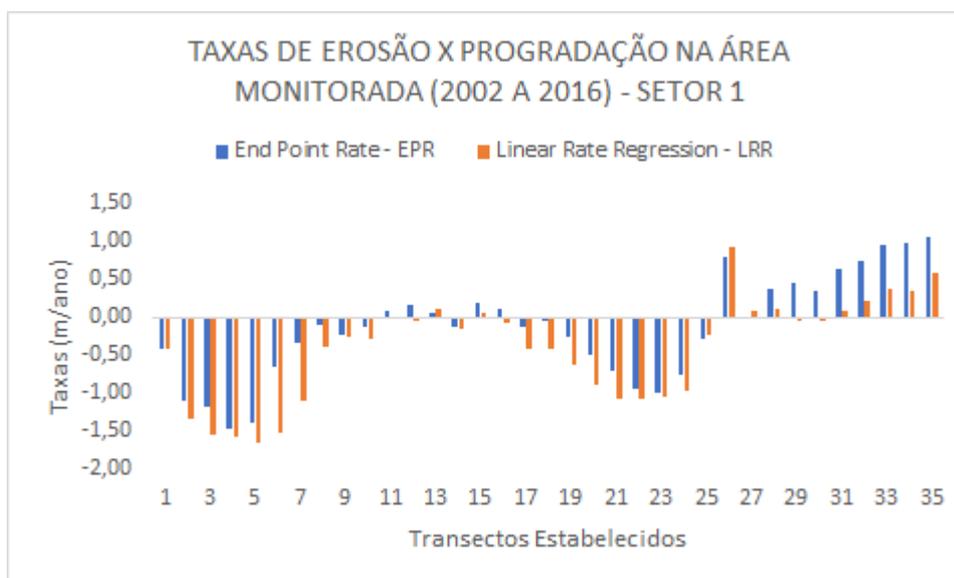
Para fins de análise trecho por trecho, utilizou-se dos resultados dos parâmetros End Point Rate (EPR) e Linear Regression Rate (LRR), pois ambos apresentam taxas baseadas nas linhas de costa disponíveis. O Setor 1, entre os transectos 1 e 35 é o que apresenta as menores alterações em termos de variação da linha de costa, as maiores mudanças estão concentradas entre os transectos 1 e 11, área do ponto de monitoramento 1 onde a retração da linha de costa é predominante com - 1,48 m/ano, (20,72 m, no total) para o EPR e de - 1,66 m/ano (23,24 m no total) para o LRR no transecto 4. Entre os transectos 17 e 25, área do ponto 3 de monitoramento também foram identificadas taxas de retração da linha de costa, com máximas observada no transecto 23 de - 1 m/ano, (14 m no total) para o EPR e - 1,05 m/ano (14, 7 m no total) para o LRR (Gráfico 38 e Quadro 35).

Também foram observadas taxas de progradação, entre os transectos 27 e 35, já no limite com o setor 2 de monitoramento. Nesta área a progradação máxima foi observada no transecto 35, com 1 m/ano (14 m no total) para o EPR e de 0,57 m/ano (7,98 m/ano) para o LRR,

observou-se também que para o LRR do transecto 26 há taxas de 0,97 m/ano (13,58 m no total) (Gráfico 38 e Quadro 35).

O trecho entre os transectos 11 e 17 corresponde a área onde há a presença de um enrocamento e casas construídas diretamente sob linha de costa no ponto de monitoramento 2, e conseqüentemente ao analisar as taxas deste trecho notou-se que a variação foi mínima devido a fixação da linha de costa. No transecto 10 e 17, há um recuo de - 0,10 m/ano (1,4 m no total) para o EPR e - 0,28 m (3,92 m no total) para o LRR, no transecto 17 também foi identificado recuos de - 0,41 m/ano (5,74 m no total) para o LRR, mesmo sendo mínimo, estes recuos identificados foram o suficiente para derrubar muros, vias e demais obras de infraestruturas localizadas neste trecho, representando assim, sérios danos para a comunidade local. Este setor apresenta em média uma retrogradação da linha de costa de - 0,14 m/ano para EPR e de - 0,41 de acordo com o LRR (Gráfico 38 e Quadro 35).

Gráfico 38: Resultados obtidos com a análise do DSAS com destaque para as taxas de erosão e progradação EPR e LRR para o setor 1.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 35: Taxas de EPR e LRR do setor 1 monitorado

Transecto	EPR m/ano	LRR m/ano	Transecto	EPR m/ano	LRR m/ano
1	-0,41	-0,43	19	-0,25	-0,63
2	-1,10	-1,34	20	-0,49	-0,90
3	-1,18	-1,55	21	-0,71	-1,08
4	-1,48	-1,58	22	-0,96	-1,09
5	-1,39	-1,66	23	-1,00	-1,05

SETOR 1	6	-0,66	-1,54	24	-0,76	-0,98
	7	-0,34	-1,10	25	-0,28	-0,24
	8	-0,11	-0,40	26	0,79	0,93
	9	-0,24	-0,26	27	-0,01	0,07
	10	-0,14	-0,28	28	0,36	0,11
	11	0,09	0,00	29	0,44	-0,04
	12	0,15	-0,04	30	0,35	-0,06
	13	0,05	0,10	31	0,64	0,07
	14	-0,12	-0,16	32	0,75	0,21
	15	0,19	0,05	33	0,94	0,37
	16	0,12	-0,08	34	0,99	0,35
	17	-0,14	-0,41	35	1,07	0,57
	18	-0,05	-0,43			

Fonte: Autoria própria.

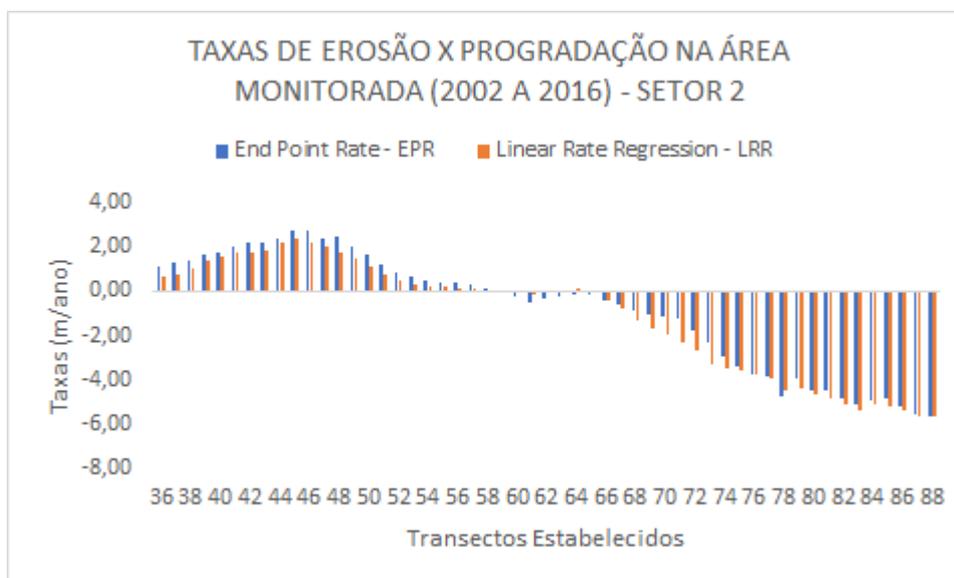
O setor 2 que abrange os pontos de monitoramento 5, 6, 7 e 8, apresenta duas características principais relacionadas a variação da linha de costa, entre os transectos 36 e 56 nota-se uma progradação da linha de costa e entre os transectos 66 e 88 ocorre o contrário, a linha de costa passa a ter uma tendência retracional que se estende até o setor 3. Tanto para o EPR como para o LRR observou-se que a taxa de progradação máxima para este setor é de 2,73 m/ano (38,22 m no total) no transecto 44, próximo ao ponto de monitoramento 5, área onde há a presença de dunas frontais e que apresentou o maior volume de sedimentos dentro de todos os pontos monitorados (Gráfico 39 e Quadro 36).

A retração de linha de costa para o trecho entre os transectos 66 e 88 se mostrou evidente através das análises de imagens de satélite e ao longo dos experimentos de campo nas proximidades do ponto 8 de monitoramento, ponto este cujo o volume de sedimentos é o que se apresenta mais crítico dentro do trecho monitorado. As maiores taxas de retração tanto para EPR como para LRR estão concentradas no transecto 88, com - 5,70 m/ano (79,8 m no total) e - 5,66 m/ano (79,24 m no total) respectivamente (Gráfico 39 e Quadro 36).

Entre progradação e retração da linha de costa, há um trecho neste setor onde nos últimos 14 anos as taxas para estes dois cenários se apresentaram mínimas, como pode ser observado no transecto 56 onde há progradação com 0,36 m/ano (5,04 m no total) para EPR e 0,10 m/ano (1,4 m por ano) para LRR e retração no transecto 59, com - 0,02 m/ano (0,28 m no total) para EPR e LRR respectivamente. Vale ressaltar que neste trecho, pontos 5, 6 e 7, não há danos às estruturas construídas por estarem posicionadas em locais mais distantes em relação à linha de costa. Em termos gerais, este setor apresenta, mesmo que infima, uma tendência retração da

linha de costa de - 0,56 m/ano segundo o EPR e de - 0,84 m/ano para o LRR (Gráfico 39 e Quadro 36).

Gráfico 40: Resultados obtidos com a análise do DSAS com destaque para as taxas de erosão e progradação EPR e LRR para o setor 2.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 36: Taxas de EPR e LRR do setor 2 monitorado.

SETOR 2	Transecto	EPR m/ano	LRR m/ano	Transecto	EPR m/ano	LRR m/ano
		36	1,13	0,70	63	-0,21
	37	1,30	0,77	64	-0,17	0,10
	38	1,44	1,06	65	-0,15	-0,08
	39	1,66	1,44	66	-0,37	-0,42
	40	1,79	1,58	67	-0,63	-0,81
	41	2,01	1,74	68	-0,83	-1,29
	42	2,17	1,80	69	-1,01	-1,69
	43	2,21	1,84	70	-1,14	-1,99
	44	2,38	2,22	71	-1,26	-2,31
	45	2,73	2,37	72	-1,74	-2,69
	46	2,73	2,22	73	-2,35	-3,30
	47	2,37	2,06	74	-2,98	-3,53
	48	2,45	1,80	75	-3,36	-3,58
	49	2,00	1,49	76	-3,78	-3,75
	50	1,65	1,12	77	-3,83	-3,99
	51	1,26	0,78	78	-4,77	-4,47
	52	0,88	0,46	79	-3,98	-4,38
	53	0,71	0,29	80	-4,50	-4,64

54	0,46	0,26	81	-4,50	-4,89
55	0,38	0,23	82	-4,81	-5,08
56	0,36	0,10	83	-5,10	-5,35
57	0,30	0,01	84	-4,92	-5,08
58	0,16	-0,05	85	-4,84	-5,17
59	-0,02	-0,02	86	-5,17	-5,41
60	-0,27	-0,08	87	-5,57	-5,62
61	-0,46	-0,13	88	-5,70	-5,66
62	-0,31	-0,02			

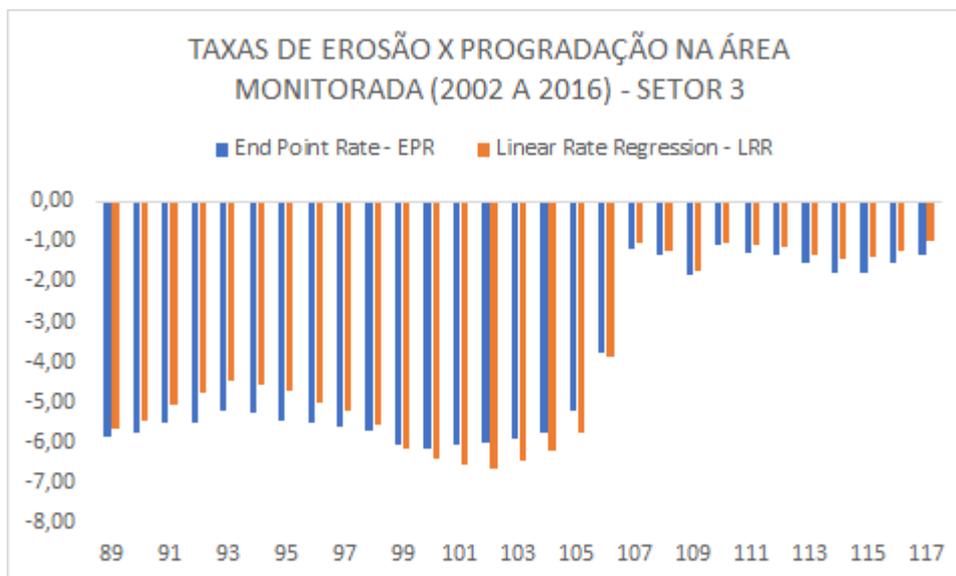
própria.

o primeiro e último setor analisado corresponde aos pontos de monitoramento 9, 10 e 11. O cenário mais crítico relativo à retração da linha de costa é o que apresenta um cenário mais crítico ao longo do trecho costeiro monitorado, entre os pontos 8, no setor 2 e o ponto 9 no setor 3 a qual se faz presente em menor escala, comparada ao que se apresenta na Praia de Barreiras de Baixo, no setor 1, onde a ocupação ocorre diretamente na linha de costa. Já entre os Ponto 10 e 11, na Praia da Barrinha a ocupação volta novamente a se fazer presente em áreas muito próximas a linha de costa, o que já foi motivo de várias notícias referentes à Erosão Costeira em Icapuí (Gráfico 40 e Quadro 37).

A análise estatística feita pelo DSAS mostrou que ao longo do intervalo de tempo de 14 anos, este setor apresenta somente taxas relativas à retrogradação da linha de costa, mesmo antes da construção do enrocamento no ponto de monitoramento 10. A construção da obra apenas agravou e acelerou o processo erosivo a sotamar da obra. Para o EPR, as menores taxas de erosão neste setor foram identificadas no transecto 110, com - 1,08 m/ano (15,12 m no total) e para o LRR no transecto 117, com 1,00 m/ano (14 metros no total), esse trecho corresponde à área de construção do enrocamento e onde a linha de costa encontra-se fixada por construções, assim como ocorre no ponto de monitoramento 2, no setor 2 (Gráfico 40 e Quadro 37).

As maiores taxas de retração da linha de costa foram identificadas no transecto 100 com - 6,15 m/ano (86 m no total) para EPR e de - 6,63 m/ano (92,82 m no total) para o LRR no transecto 102. Assim, ao longo das análises pode verificar que em média o Setor 3 apresenta uma retração da linha de costa de - 4,01 m/ano para o EPR e de - 3,87 m/ano segundo o LRR (Gráfico 40 e Quadro 37). As figuras 105 e 106 apresentam a espacialização das taxas obtidas com o DSAS para o EPR e LRR respectivamente, evidenciando assim o cenário mais crítico relativo à retração da linha de costa entre os setores 2 e 3 e em trechos específicos do setor 1.

Gráfico 41: Resultados obtidos com a análise do DSAS com destaque para as taxas de erosão e progradação EPR e LRR para o setor 3.



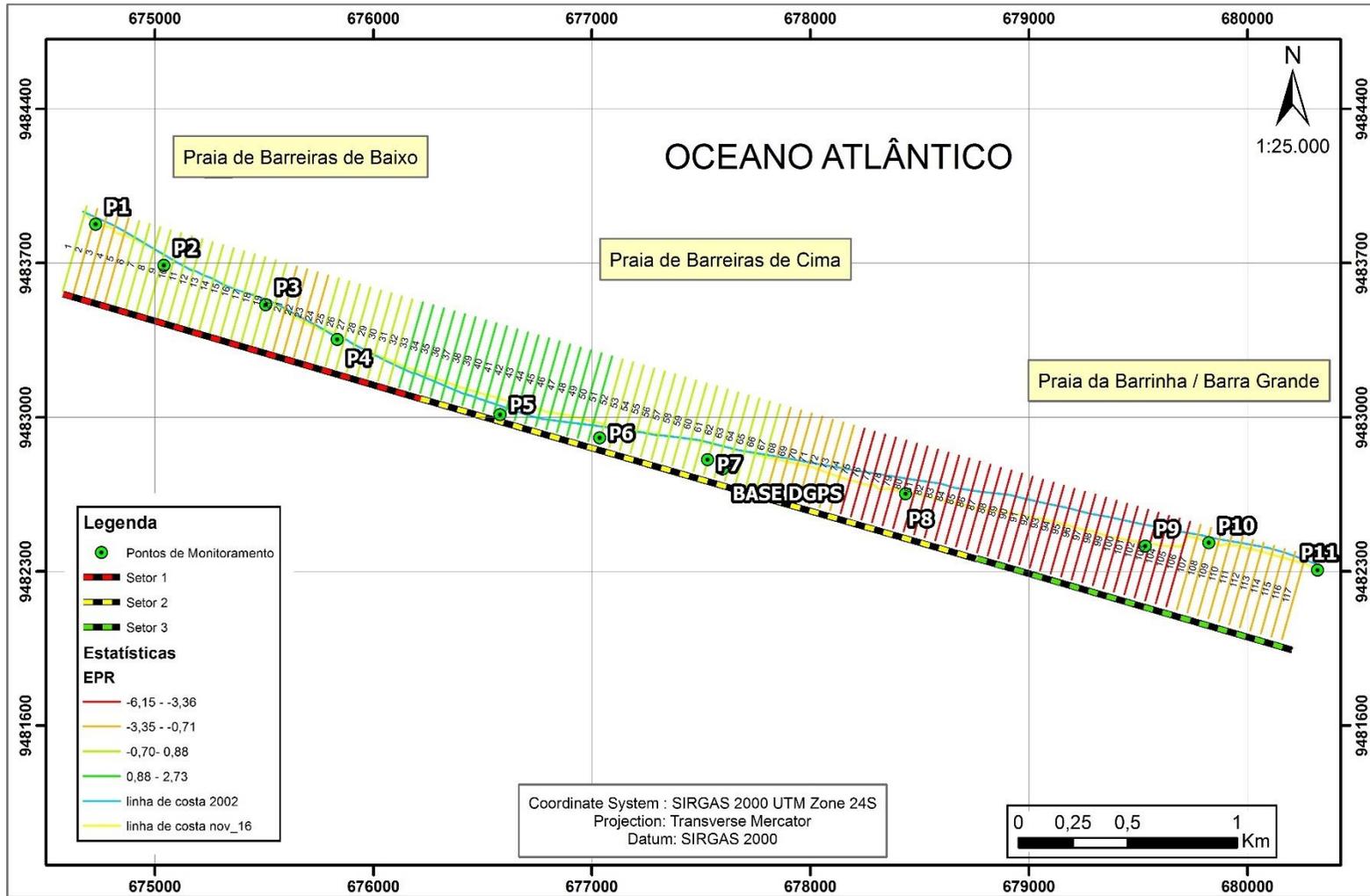
Fonte: Autoria própria.

Quadro 37: Taxas de EPR e LRR do setor 3 monitorado

SETOR3	Transecto	EPR m/ano	LRR m/ano	Transecto	EPR m/ano	LRR m/ano
		89	-5,85	-5,67	104	-5,77
	90	-5,74	-5,44	105	-5,19	-5,74
	91	-5,52	-5,05	106	-3,78	-3,89
	92	-5,49	-4,78	107	-1,18	-1,04
	93	-5,23	-4,45	108	-1,35	-1,25
	94	-5,27	-4,57	109	-1,83	-1,74
	95	-5,44	-4,71	110	-1,08	-1,05
	96	-5,49	-5,00	111	-1,26	-1,09
	97	-5,59	-5,22	112	-1,35	-1,15
	98	-5,71	-5,54	113	-1,55	-1,34
	99	-6,06	-6,17	114	-1,77	-1,44
	100	-6,15	-6,41	115	-1,78	-1,39
	101	-6,04	-6,53	116	-1,55	-1,22
	102	-6,00	-6,63	117	-1,31	-1,00
	103	-5,91	-6,47			

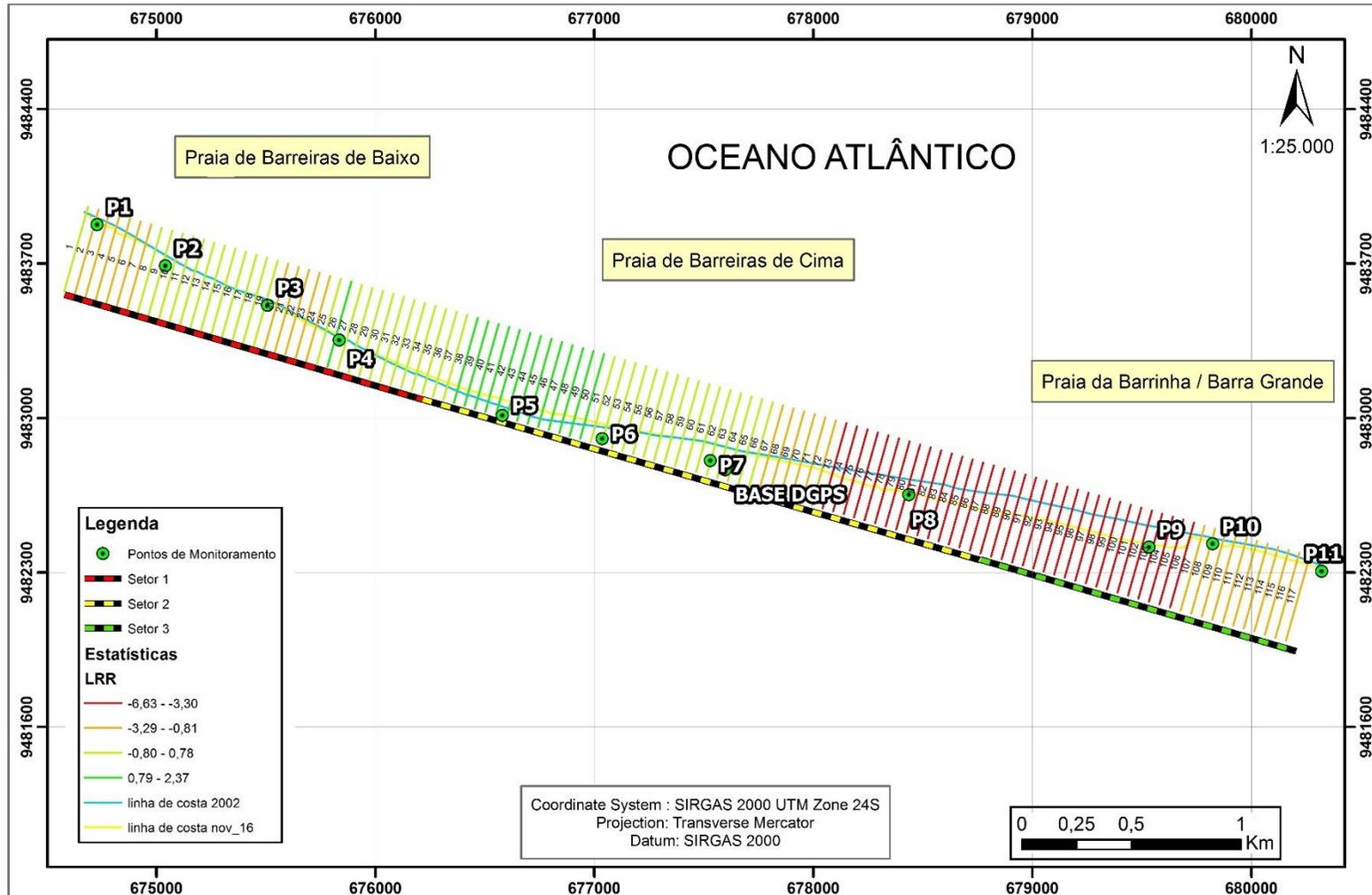
Fonte: Autoria própria.

Figura 105: Mapa das taxas de erosão e progradação da linha de costa do trecho monitorado em Icapuí segundo o End Point Rate obtido com o DSAS.



Fonte: Aatoria própria.

Figura 106: Mapa das taxas de erosão e progradação da linha de costa do trecho monitorado em Icapuí segundo o Linear Rate Regression obtido com o DSAS.



Fonte: Autoria própria

O quadro 38 apresenta os dados referentes a variação da linha de costa em transectos localizados próximos aos Pontos de Monitoramento ao longo do trecho costeiro analisado em Icapuí e os maiores retrações foram identificadas entre os Pontos 8 e 9 que estão à sotamar do enrocamento na Praia da Barrinha, no Ponto 10, portanto se configura como área crítica de erosão dentro de toda a área de monitoramento.

Quadro 38: Dados relativos à variação da Linha de Costa nos transectos próximos aos Pontos de Monitoramento no intervalo de 2002 a 2016.

VARIÇÃO DA LINHA DE COSTA NOS PONTOS DE MONITORAMENTO (2002 À 2016)				
Pontos de monitoramento	SETOR	Transecto próximo ao ponto	EPR m/ano	LRR m/ano
P1	1	2	-1,10	-1,34
P2	1	9	-0,24	-0,26
P3	1	19	-0,25	-0,63
P4	1	26	0,79	0,93
P5	2	43	2,21	1,84
P6	2	52	0,88	0,46
P7	2	62	-0,31	-0,02
P8	2	80	-4,50	-4,64
P9	3	103	-5,91	-6,47
P10	3	108	-1,35	-1,25
P11	3	117	-1,31	-1,00

Fonte: Autoria própria.

Alguns estudos referentes às alterações de costa no município de Icapuí já foram realizados, Ximenes (2013) estudou as variações da linha de costa de Icapuí entre 1984 a 2011 através das imagens LANDSAT 5 – TM e LANDSAT 7 – ETM+ disponibilizada pelo INPE utilizando técnicas de geoprocessamento através do *Digital Image Processing (DIP)* e correções entre as bandas RGB para que fosse possível identificar os limites da linha de costa e aponta que há uma tendência progradacional no município graças à deriva litorânea na área. O estudo teve por áreas monitoradas as Praias de Ponta Grossa, onde há a presença de um promontório controlando a hidrodinâmica local, e Barra Grande, onde há uma barra arenosa, que segundo o estudo *op.cit.* migrou no sentido na corrente mais 1300 m em um intervalo de 27 anos. Vale ressaltar que o estudo não apresentou dados em áreas onde a ocupação se faz com maior densidade.

Moreira (2014) usou técnicas de sensoriamento remoto para avaliar a mobilidade da linha de costa entre os anos de 1984 a 2013 através da análise das bandas de imagem *LANDSAT* disponível e de imagens de alta resolução do *Google Earth*, para os cálculos das taxas de recuo

e progradação foi utilizada a ferramenta *DSAS* além de técnicas estatísticas. O estudo, assim como o de Ximenes (2013) mostra uma tendência progradação para o litoral de Icapuí, mas teve com área foco o setor que corresponde à área de influência da barra arenosa, área onde a elevada disponibilidade de sedimentos que abastece a deriva litorânea de sentido L-O e consequentemente contribuí para a migração da barra arenosa no sentido da corrente.

Portela et al., (2014) analisa a evolução da morfologia costeira através da variação da linha de costa entre os anos de 1975 e 2013 com fotografias aérea de 1975, imagem Quickbird de 2002 e imagem RapidEye de 2013, ainda foram analisados também os aspectos sedimentares da área através de coleta de amostras em pontos de monitoramento. O estudo teve por áreas foco as Praias de Ponta Grossa e Redonda, e aponta uma predominância de acreção na porção que compreende a primeira praia em análise em virtude da disponibilidade de sedimentos presentes em campos de dunas e falésias na área que dão origem a cordões arenosos. A Praia de Redonda apresentou tendência erosiva durante o período levado em consideração, com danos às estruturas rígidas construídas ao longo da linha de costa.

A maioria dos estudos se concentram em áreas onde predominantemente a acreção se sobrepõe à erosão com formação de cordões arenosos provocados por processos hidrodinâmicos e disponibilidade de sedimentos que transportados pela deriva, nenhum dos estudos indicou as tendências de erosão ou acreção para a área que está sendo trabalhada nesta tese, tão pouco monitoramento de campo periódico, à exceção dos estudos realizados por Portela et al., (2014), onde foram coletadas amostras, mesmo assim, não há indicação de realização de perfis praias.

O processo erosivo da costa não se manifesta atualmente somente em escala local, mas também em escala global, estimando-se que aproximadamente 70% das costas arenosas do mundo estejam submetidas a esse fenômeno (MORTON, 1979; BIRD, 2008). Souza et al. (2005) considera a erosão costeira um processo decorrente da redução do balanço sedimentar que, por vezes, diminui a largura da praia e provoca a perda e os desequilíbrios dos habitats naturais. Nesse sentido, é de fundamental importância entendermos que a erosão se trata de um processo natural que ocorre em diferentes escalas temporais e espaciais (CHARLIER e MEYER, 1998; SUGUIO, 2001).

Esse processo deve ser estudado e entendido de forma a evitar possíveis danos futuros e a compreender os fatores que influenciam a sua ocorrência. Existe assim, a necessidade de

integrar as análises de fatores naturais e antrópicos como forma de melhorar o nível de resposta sobre as causas da erosão costeira (DIAS, 1990; MUEHE, 2001; BORGES et al., 2009). Essas causas variam, não estando relacionadas apenas as intervenções antropogênicas como a ocupação irregular de áreas com significativo aporte sedimentar.

No caso de litorais que apresentam feições originadas pela interação do fluxo marinho e fluvial, as alterações impostas pelo regime climático colaboram diretamente na configuração da linha de costa e de áreas adjacentes (MORAIS et al., 2008). Em praias modificadas por marés o gradiente de declividade da praia potencializa a amplitude dos processos hidrodinâmicos que atuam na remobilização de sedimentos (PINHEIRO et al., 2016). Assim, entre os fatores relacionados a retração da linha de costa evidenciado, temos o baixo gradiente topográfico da praia e plataforma continental associada que incrementa a ação erosiva das marés (MORAIS, 2000).

A progradação em trechos do setor 2 pode ter sido originado pelo acúmulo de material erodido da Praia da Barrinha/Barra Grande situada à barlamar. Além disso, destaca-se a existência de dunas frontais que amortecem o alcance máximo do espraio e contribuem para o aporte sedimentar dos setores intermarés.

7. OS DESAFIOS PARA A GESTÃO DA ORLA DE ICAPUÍ

Este último capítulo faz uma análise dos desafios que a Orla de Icapuí vem passando desde a intensificação a intensificação dos problemas causados pela erosão até os dias atuais. Serão abordados os aspectos relativos às áreas vulneráveis às inundações provocadas por eventos como ressacas e superluas. Além disso, por meio das atividades de campo foi possível relacionar as características do ambiente costeiro de Icapuí com os prognósticos referentes à uma possível elevação do nível dos oceanos até 2100 de acordo com os relatórios divulgados pelo IPCC e assim verificar quais seriam as áreas mais atingidas e assim estabelecer limites de ocupação para a Orla do município de acordo com a legislação brasileira.

7.1. Estabelecimento de limites seguros de ocupação no litoral em virtude dos cenários de elevação do mar baseados em relatórios do IPCC

Segundo Muehe (2001) o limite da praia se apresenta limitado, principalmente quando levamos em consideração um iminente cenário de elevação do nível do mar e aumento da frequência de eventos extremos que podem atingir a costa. Assim, para se delimitar as formas

de ocupação ao longo do litoral é preciso levar em consideração dois aspectos principais o alcance do processo morfodinâmico com a tendência erosiva da área, por pelo menos uma década, e por último, o efeito de uma elevação do nível do mar.

O mesmo autor op.cit. afirma que para a adoção do limite seguro de ocupação ao longo do litoral em função de eventos extremos e elevação do nível dos oceanos pode se utilizar os dados mais pessimistas referentes aos relatórios do IPCC até o ano de 2100, o que possibilita a essa faixa de absorção de impactos ser estabelecida no sentido de evitar a perda de estruturas ao longo do litoral, mesmo que este cenário mais pessimista não se concretize. Assim, podemos utilizar a regra de Bruun, 1962 para determinação dessa faixa de segurança.

Para que fosse possível determinar essa faixa limite de segurança ao longo do trecho monitorado em Icapuí, foi necessário primeiramente determinar a profundidade de fechamento do perfil ativo da área monitorada por meio da equação de Hallermeier (1981) a partir do clima de ondas disponibilizado pelo banco de dados do Wavewatch III (Quadro 39). O trecho costeiro analisado apresenta de acordo com o banco de dados disponíveis de 10 anos, uma altura significativa média (Hs) de 1,57 m, período médio das ondas significativas (Ts) de 8,4 s com desvio padrão médio de 0,26, assim, temos que para a região em análise a profundidade de fechamento do perfil ativo se encontra aos 6 m.

Quadro 39: Parâmetros de ondas (Hs) para região do trecho monitorado.

PARÂMETROS DE ONDAS ENTRE OS ANOS DE 2006 E 2016								
ANO	ALTURA SIGNIFICATIVA (Hs) m				PERÍODO (s)			
	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	Desvio Padrão Médio	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	Desvio Padrão Médio
2006	3,00	1,00	1,91	0,28	16,60	4,30	8,00	1,66
2008	2,80	0,90	1,70	0,25	17,60	4,10	8,67	2,23
2009	3,00	0,90	1,71	0,28	18,00	4,60	8,94	2,39
2010	3,00	0,80	1,32	0,30	19,30	4,60	9,39	2,80
2011	2,80	0,80	1,59	0,21	18,00	4,20	8,43	2,35
2012	2,30	0,80	1,39	0,19	20,30	4,50	7,83	2,20
2013	2,30	0,60	1,31	0,21	20,40	4,30	8,27	2,65
2014	2,10	0,60	1,33	0,21	19,90	4,30	8,41	2,79
2015	3,10	0,80	1,64	0,33	17,90	4,60	8,20	1,95
2016	3,10	0,90	1,79	0,28	18,50	4,80	8,59	2,10

Fonte: Base de dados Modelo Wavewatch III

Com relação elevação do nível dos oceanos, utilizou-se dos cenários do IPCC apresentados no Quinto relatório de Avaliação (AR5) referentes ao Representative Concentration Pathways (RCP's) relativos ao aumento do nível dos oceanos, para fins de análise foram considerados três cenários, o mais brando, RCP 2.6, o mais pessimista, RCP 8.5 e por fim um cenário mais extremo, RCP 8.5 para elevação dos oceanos até 2100. Cada RCP utilizado apresenta dois cenários de elevação, um brando e o outro pessimista (Quadro 40).

Quadro 40: Cenários do IPCC sobre elevação do nível dos oceanos.

Quinto Relatório de Avaliação (AR5) - IPCC / Representative Concentration Pathways (RCP)			
Cenários	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 8.5 (Extremo)
Elevação branda (m)	0,26	0,45	0,52
Elevação pessimista (m)	0,55	0,82	0,98

Fonte: adaptado de IPCC, 2014.

A lei de Bruun (Bruun, 1962) permite estabelecer o recuo erosivo da linha de costa (R) e considera a elevação do nível do mar (S), o comprimento do perfil ativo (L) que é dado pela distância entre a linha de costa e a profundidade de fechamento, altura do perfil ativo (H), somatória das cotas obtidas de cada ponto de monitoramento ao longo dos experimentos de campo com a profundidade de fechamento e por fim a proporção de material erodido que se mantém no perfil ativo (G), que por motivos de difícil estabelecimento foi considerada como 1 na equação (Quadro 41).

Quadro 41: Dados do trecho monitorado utilizados para cálculo da Lei de Bruun.

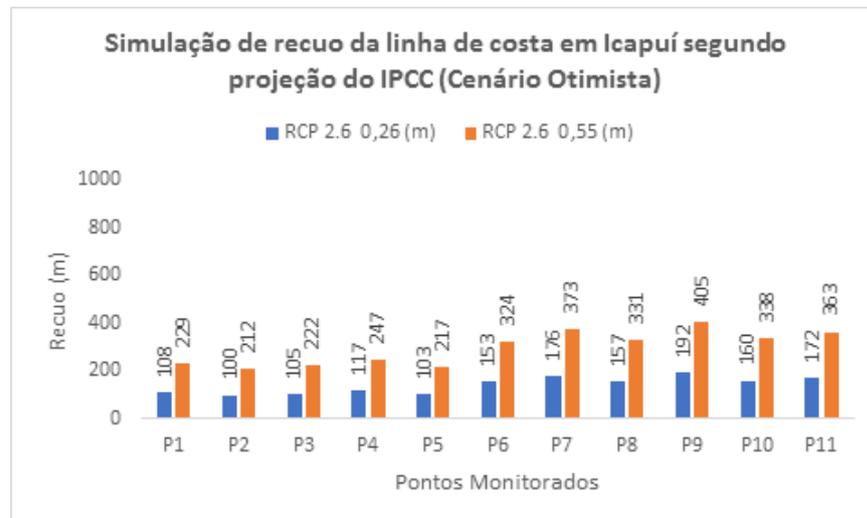
Ponto de monitoramento	Profundidade de fechamento (Metros)	Comprimento do Perfil ativo (L) (Metros)	Cota Ponto de monitoramento (RN) (Metros)	Altura do Perfil Ativo (H) (Metros)	Proporção de material erodido (G)
1	6	5,107	6,3	12,3	1
2	6	4,673	6,1	12,1	1
3	6	4,657	5,5	11,5	1
4	6	4,716	4,5	10,5	1
5	6	4,777	6,1	12,1	1
6	6	6,211	4,5	10,5	1
7	6	6,226	3,2	9,2	1
8	6	6,022	4,0	10,0	1
9	6	6,559	2,9	8,9	1
10	6	6,418	4,4	10,4	1
11	6	6,398	3,7	9,7	1

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos referentes à retrogradação da linha de costa considerando um aumento de 0,26 m no nível dos oceanos apontam para um recuo máximo da linha de costa observado no ponto 9, podendo chegar aos 192 m e mínimo de 100 m no ponto 2. No geral, para esta elevação do cenário RCP 2.6 há um recuo médio da linha de costa de 140 m, portanto apresenta uma taxa de retrogradação de -1,6 m/ano até 2100. Considerando um aumento de 0,55 m, nota-se uma retrogradação da linha de costa máxima, também identificada no Ponto 9,

de 405 m e mínimo de 212 m no Ponto 2, com média de 296 m, ou seja, uma retrogradação da linha de costa na média de -3,52 m/ano até 2100 (Gráfico 41).

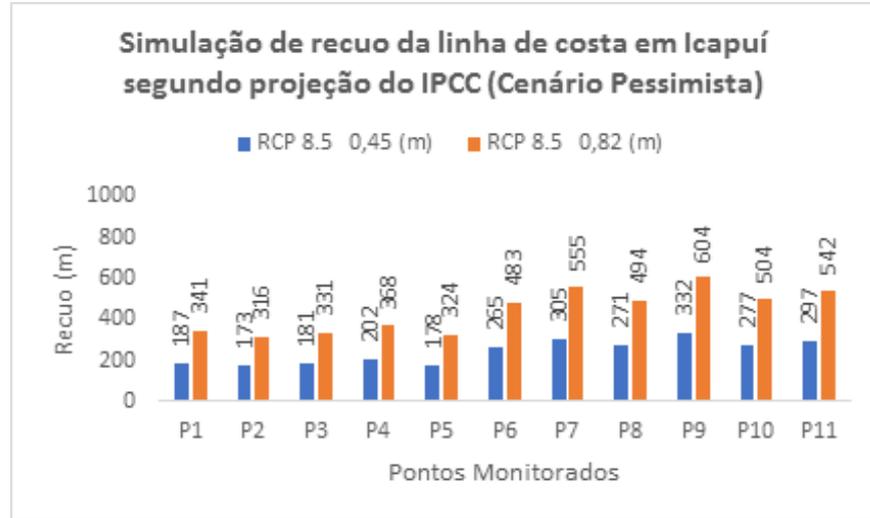
Gráfico 41: Cenário otimista de retrogradação da linha de costa do trecho monitoramento em Icapuí de acordo com o RCP 2.6



Fonte: autoria própria.

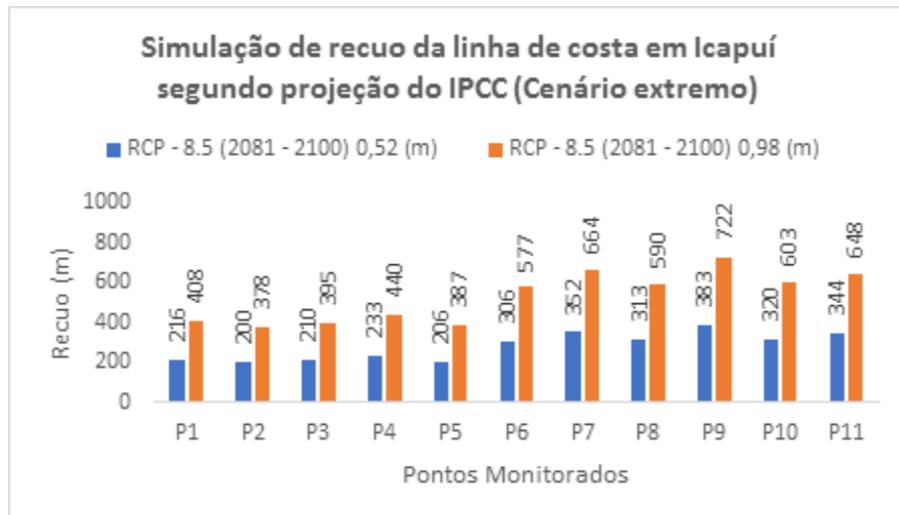
Considerando o cenário RCP 8.5 com um aumento do nível do mar de 0,45 m temos o máximo de recuo da linha de costa observado no ponto 9 de 332 m e mínimo de 173 m no ponto 2, ao considerarmos a elevação de 0,82 m a retração máxima chega a atingir 604 m e mínimo de 316 nos pontos 9 e 2 respectivamente. Para este RCP 8.5 temos as taxas de retrogradação da linha de costa com médias de 243 m para a elevação de 0,45 m, -2,89 m/ano, e 442 m, -5,2 m/ano para uma elevação prevista de 0,82 m para até 2100 (Gráfico 42).

Gráfico 42: Cenário pessimista de retrogradação da linha de costa do trecho monitoramento em Icapuí de acordo com o RCP 2.6



O cenário mais extremo possível considerado pelo IPCC apresenta uma elevação do nível dos oceanos de 0,52 m e 0,98 m respectivamente, o máximo de recuo observado para uma situação mais branda dentro deste RCP é de 383 m, e de 722 m na elevação máxima, o mínimo de recuo da linha de costa, é 200 m na situação mais branda e 378 m na simulação de aumento do nível dos oceanos, vale ressaltar que para o RCP 8.5 Extremo, a média de recuo para o trecho costeiro monitorado é de 280 m, -3,3 m/ano entre 2081 e 2100, considerando a elevação de 0,52 m e de 528 m, -6,28 m/ano, entre os anos de 2081 e 2100, para a elevação de 0,98 m (Gráfico 43).

Gráfico 43: Cenário de retrogradação da linha de costa do trecho monitoramento em Icapuí de acordo com o RCP 8.5 (2081 – 2100)

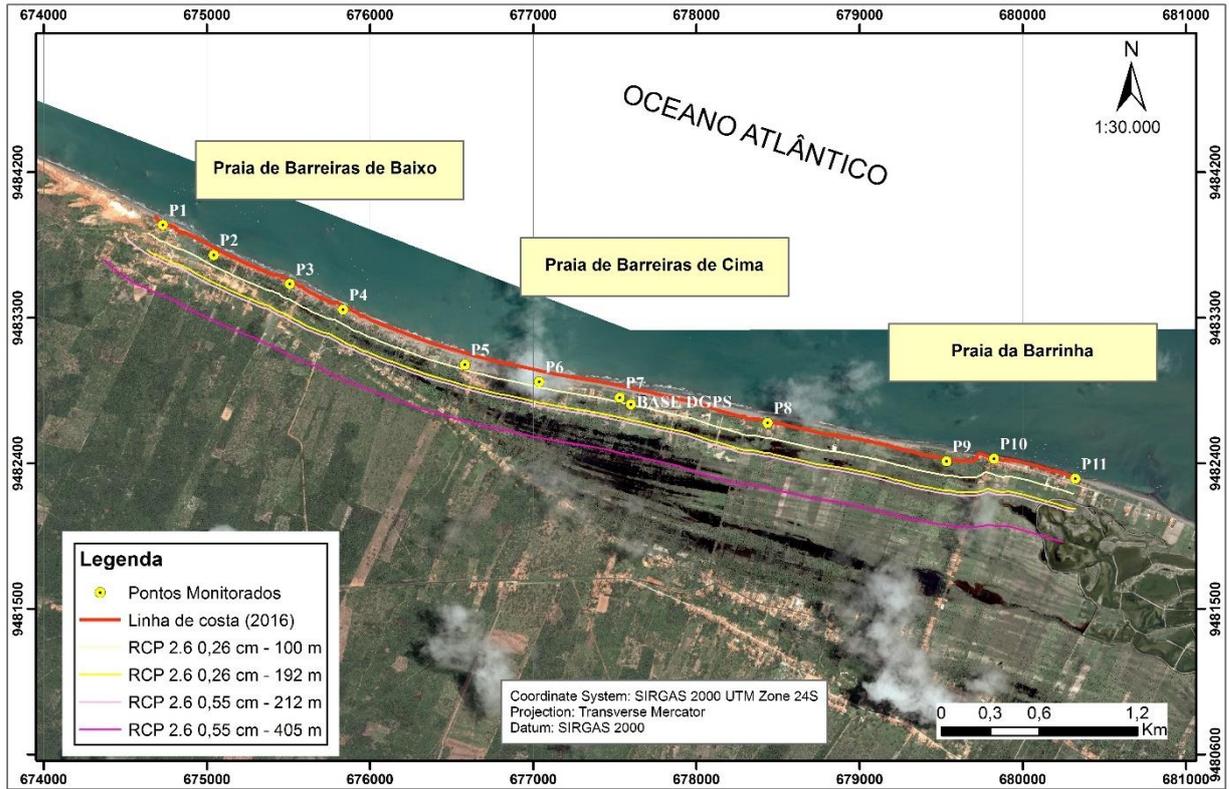


Ao considerarmos todos os cenários, RCP 2.6, RCP 8.5 e o RCP 8.5 Extremo, foi possível verificar que as áreas mais críticas dentro do trecho monitorado da costa de Icapuí concentram-se no Ponto 2, no setor 1, no Ponto 5, no setor 2 e no Ponto 9, no setor 3, quando nos remetemos à retração da linha de costa em virtude da elevação do nível dos oceanos. Há claramente uma tendência de um recuo da linha de costa em direção à Praia da Barrinha e isto muito se dá em virtude das próprias características do perfil ativo dos pontos de monitoramento localizados no setor 3 que apresentam cotas mais baixas em relação às demais, uma plataforma continental interna com baixo grau de declividade o que confere a estes pontos as maiores distâncias entre a linha de costa e a profundidade de fechamento do perfil, logo essas características conferem à estes pontos um potencial erosivo mais evidenciado (MUEHE, 2001) (Gráfico 42).

As figuras 107, 108 e 109 apresentam os mapas com as faixas de segurança baseadas nas taxas máximas e mínimas de recuo da linha de costa em virtude de uma elevação do nível dos oceanos baseadas nos relatórios do IPCC. É possível verificar que as ocupações ao longo da orla de Icapuí seriam atingidas mesmo no cenário de elevação mais branda com 0,26 cm à mais na coluna d'água.

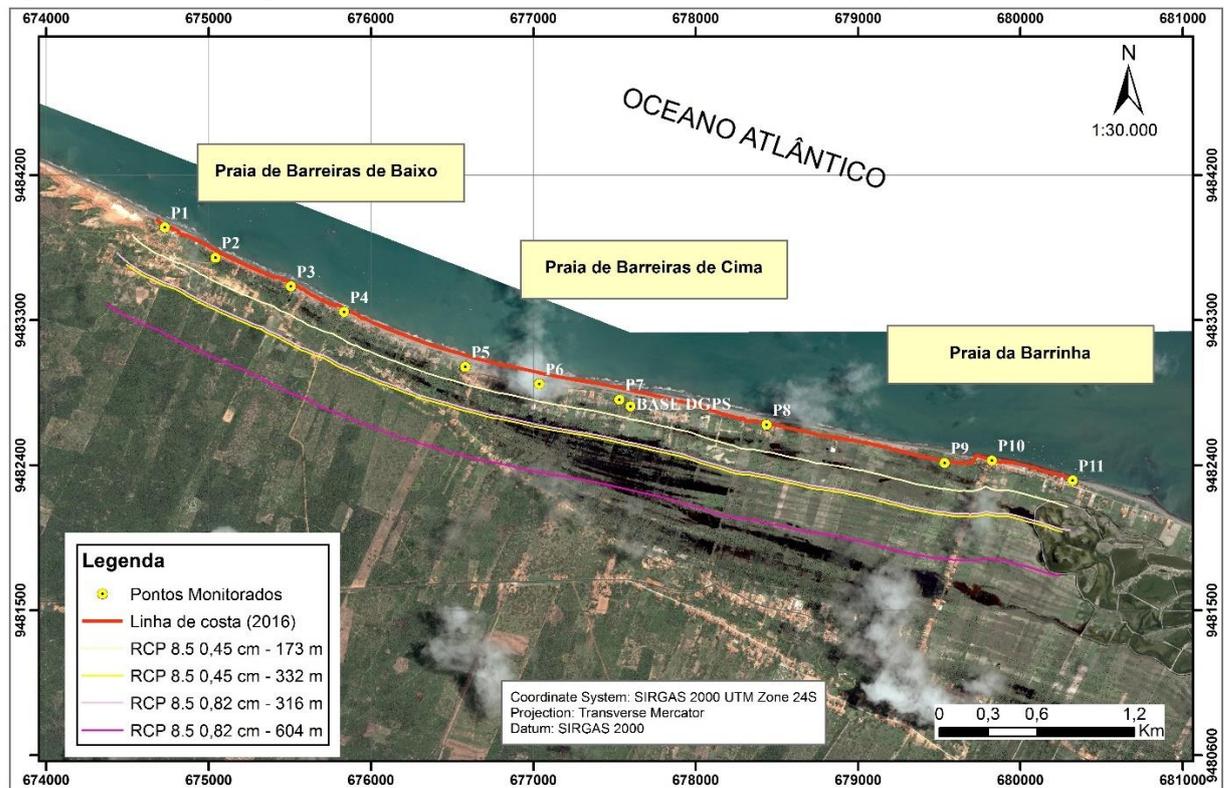
O estabelecimento de faixas de segurança da ocupação do litoral em virtude de taxas de recuo da linha de costa acentuada, provocada, seja por fatores locais, seja por um possível aumento do nível dos oceanos até 2100, é de fundamental importância na tomada de decisões de Projetos referentes ao ordenamento e controle da ocupação ao longo da orla dos municípios litorâneos e assim minimizar impactos nas comunidades que vivem nestes espaços, visto que devido as condições morfológica da planície litorânea de Icapuí há uma clara tendência à erosão no trecho monitorado. Assim, espera-se que o Poder Público se utilize não somente de medidas pontuais e emergenciais, mas sim de me formas baseadas em um Planejamento de médio a longo prazo para áreas que possam vir a apresentar problemas como os já evidenciados ao longo desta pesquisa em Icapuí.

Figura 107: Faixas de segurança de ocupação relativas ao RCP 2.6 para a orla de Icapuí.



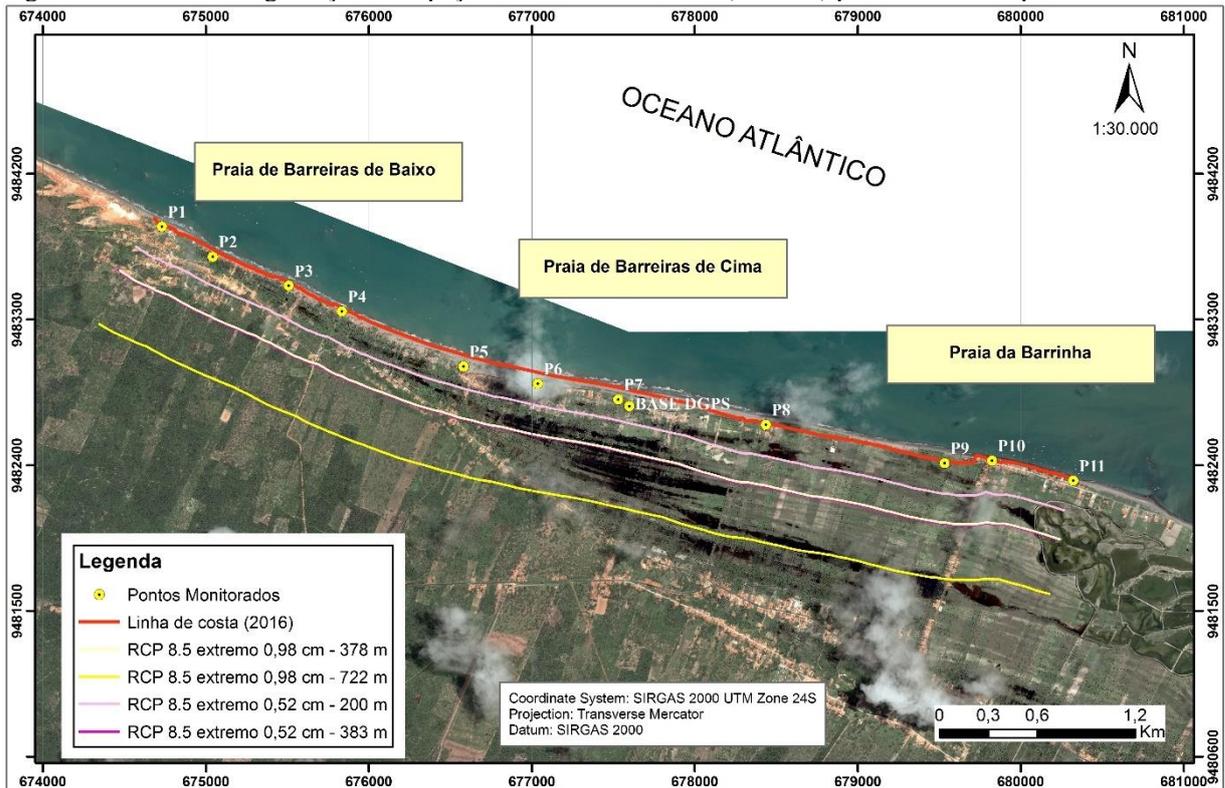
Fonte: Autoria própria.

Figura 108: Faixas de segurança de ocupação relativas ao RCP 8.5 para a orla de Icapuí.



Fonte: Autoria própria.

Figura 109: Faixas de segurança de ocupação relativas ao RCP 8.5 (extremo) para a orla de Icapuí.



Fonte: Autoria própria.

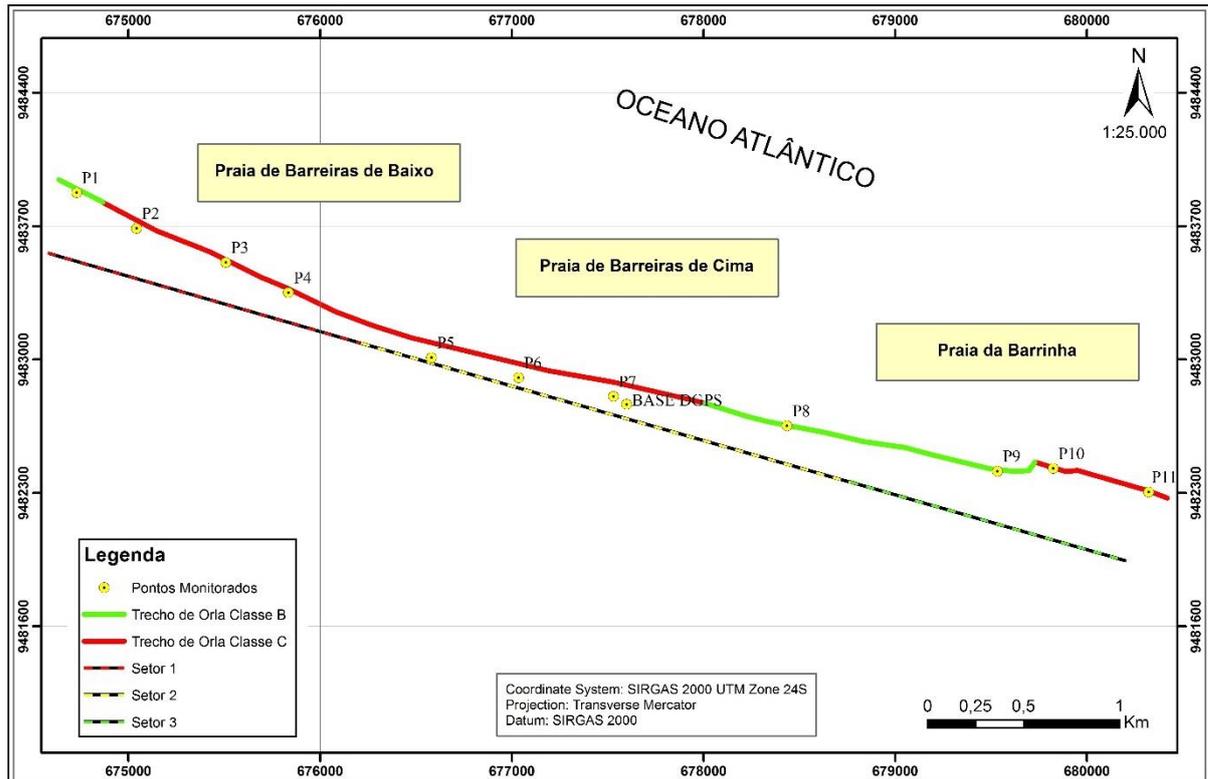
7.2. Classificação, Estabelecimento dos limites de orla costeira e cenários observados no Litoral de Icapuí

O trecho monitorado de Icapuí se encontra inserido na Unidade II, conforme o Plano de Gerenciamento Integrado de 2005, e conforme as diretrizes que compõem a metodologia de aplicação do Projeto Orla, no que se refere à tipologia de classificação referente à urbanização podemos destacar dois tipos de classes identificadas ao longo dos experimentos de campo e análise de imagens de satélite, Orla de Classe B, com usos compatíveis com a manutenção da qualidade ambiental e baixo potencial de impacto e Orla de Classe C, com usos pouco exigentes quanto aos padrões de qualidade ambiental, onde se observa alto potencial impactante. A Classe A, não identificada no trecho monitorado apresenta usos compatíveis com a preservação e manutenção das características e funções naturais

A Classe B é composta por uma orla linear exposta com a presença de falésias mortas, dunas frontais, vegetação de tabuleiro, coqueirais, bancos de alga, pesca, vila de pescadores, restaurantes, pequenas pousadas, ocupação rarefeita e indicadores de erosão costeira e pode ser verificada nas proximidades do ponto 1, na Praia de Barreiras de Baixo e entre os pontos 8 e 9

entre as Praias de Barreiras de Cima e Barrinha. A Classe C também é composta por uma orla linear exposta, mas caracterizada pela presença de uma ocupação consolidada com malha urbana informal com residências, pousadas, comércio e um cenário onde as obras de contenção da erosão costeira já se fazem presentes, podendo ser identificada entre os pontos 2 e 7 e entre os pontos 10 e 11 (Figura 110).

Figura 110: Mapa de classificações dos tipos de orla de acordo com o Projeto Orla para o trecho monitorado.



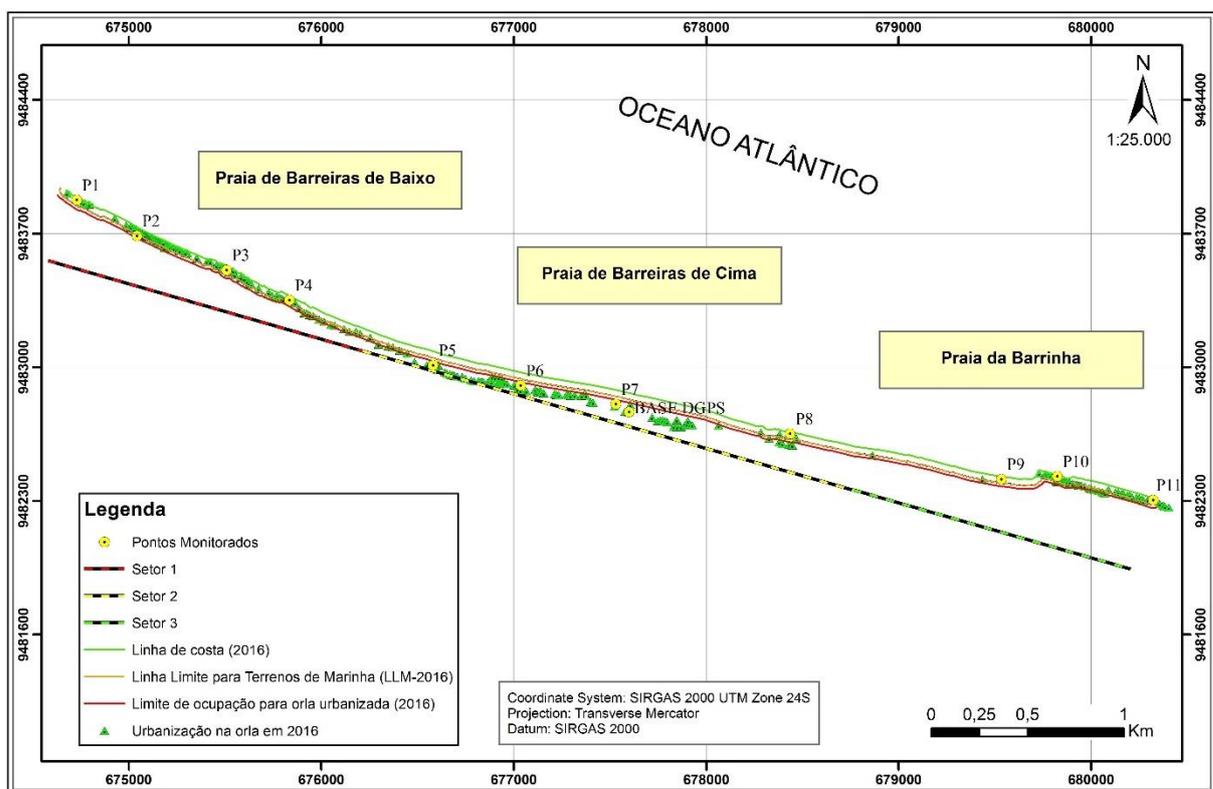
Fonte: Autoria própria.

No que se refere à área terrestre, por meio dos experimentos de campo foi possível delimitar a linha de costa atual do trecho monitorado e assim pode-se substituir a Linha de Preamar Média de 1831 para delimitação de Terrenos de Marinha pela Linha de Costa mais atual obtida em 2016 e assim criar as delimitações para ocupação da orla de acordo com as diretrizes do Projeto Orla.

Classificada como Orla de Classe B e C, a orla monitorada do município foi considerada como Orla Urbanizada ou que apresenta um ambiente natural modificado pela urbanização, assim foi aplicada a delimitação de 50 metros como limite de ocupação e de 33 m para Terrenos de Marinha, ambos a partir da linha de costa atual. Vale ressaltar que esses limites para orla urbanizada podem ser alterados de acordo com as tendências de erosão/progradação conforme

aponta o Projeto Orla, ambos cenários são observados ao longo do trecho monitorado. Assim, observou-se que neste trecho do município de Icapuí, o limite de ocupação de 50 m não foi respeitado, muito menos o limite de terrenos de marinha, 33 m, pertencentes à União. Foram identificadas 216 formas de ocupação na orla do trecho monitorado muito próximas dos limites estipulados pela legislação, nos setores 1 e 3 e em parte do setor 2, sendo identificadas 135 formas de ocupação irregulares dentro destes limites, fazem-se presentes nessa faixa pousadas, residências e barracas (Figura 111).

Figura 111: Limites genéricos de ocupação da orla ao longo do trecho costeiro monitorado



Fonte: Autoria própria.

Se atualizarmos os perfis feitos de acordo com o Plano de Intervenção da Orla de Icapuí feito em 2005 com a atualidade é possível apontar alguns detalhes que podem ser observados ao longo dos experimentos de campo. Em uma situação de erosão severa no litoral em análise casas ao longo da Praia de Barreiras de Baixo e Praia da Barrinha apresentam sérios danos causados pelo processo erosivo devido à proximidade da linha de costa e não apresentavam na época qualquer linha de defesa contra o processo erosivo (*e.g. vegetação de manguezal ou dunas frontais*), a Praia de Barreiras de Baixo ainda possui um agravante, a presença de plataformas de abrasão referentes à nível do mar diferente do atual e que estão em área defronte

às residências e que atuam na modificação dos padrões de ondas e correntes na região, o que pode agravar o processo erosivo na área.

Tal processo erosivo ainda impede atividades tradicionais costeiras características da área como a pesca que é dificultada pela presença de destroços de casas ao longo da praia, uma escarpa alta e sem qualquer escada que possa facilitar o acesso das jangadas ou do material que ainda é pescado na área para as residências que se encontram na parte superior da falésia. Em contrapartida, a Praia de Barreiras de Cima que apresenta uma ocupação mais recuada em relação à linha de costa e possui uma linha de dunas frontais, que agem como proteção deste litoral não apresenta danos ao patrimônio público e particular (Figura 112).

Figura 112: Cenário da situação da erosão nos setores de monitoramento



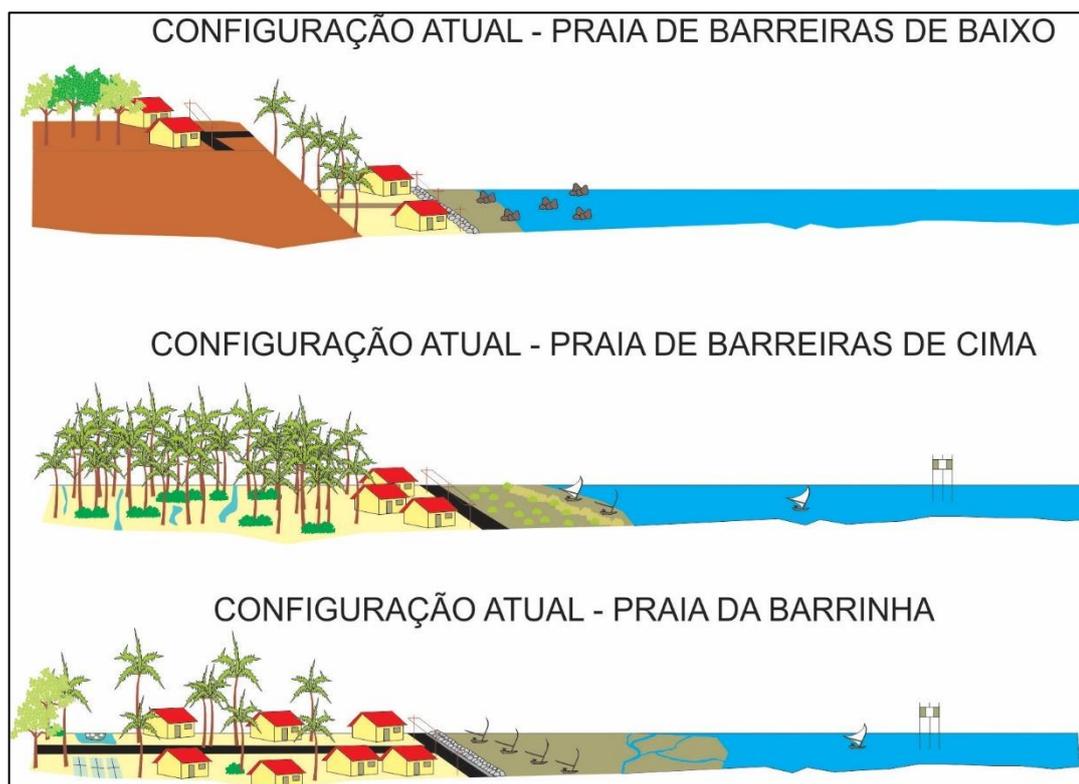
Fonte: Autoria própria.

Atualmente as Praias de Barreiras de Cima e Barrinha apresentam ao longo da sua linha de costa obras de proteção contra o avanço do mar, porém a obra recentemente feita em Barreiras de Cima precisa de adaptações ao longo da sua extensão, a mesma ainda não apresenta qualquer tipo de ordenação das habitações na sua proximidade, casas ainda se encontram abandonadas devido ao processo de embargo da Defesa Civil, o acesso à praia foi dificultado ainda mais devido à instalação do enrocamento a diferença de altura entre a pós-praia e o

estirâncio, o que dificultou ainda mais a pesca no local, foram iniciadas as instalações de escadarias de madeira, mas ainda são em pequeno número e se encontram distantes umas das outras.

O acesso da parte superior da falésia para a praia ainda apresenta problemas devido a erosão provocada pelo escoamento superficial, resultante do mal ordenamento das casas acima o que dá origem à ravinas e voçorocas. A Praia de Barrinha foi estabilizada em parte pela presença do enrocamento no de 2011, foram revitalizadas as vias de acesso e famílias que tiveram suas casas derrubadas pela ação da maré passaram a morar em área recuada próximas ao seu local de origem. A Praia de Barreiras de Cima teve parte de sua orla urbanizada, foram instalados calçadões e vias pavimentadas na retaguarda da linha de dunas frontais que existem na área (Figura 113).

Figura 113: Cenário configuração atual da erosão nos setores de monitoramento



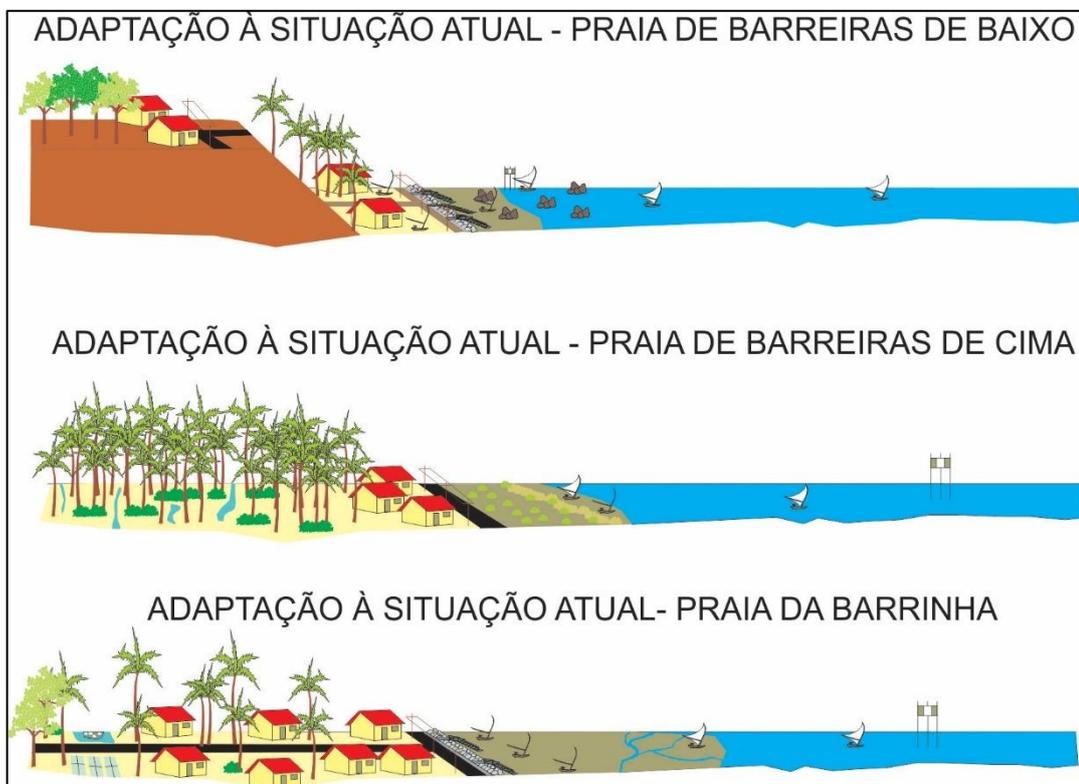
Fonte: Autoria própria.

Assim se fazem ainda algumas adaptações à realidade dos processos erosivos atuantes nas áreas de monitoramento e que permitam um bom aproveitamento destes espaços pelas comunidades locais. Na Praia da Barrinha ainda se fazem necessárias as instalações de rampas de acesso não só da comunidade à praia, mas também rampas que possibilitem o transporte de

jangadas e do pescado, quiosques para atrair turistas para a localidade e reestabelecimento de pousadas, instalação de entrepostos comerciais, conforme a solicitação feita no Plano de Intervenção feito em meados de 2005, urbanização da orla deste trecho com iluminação eficaz, drenagem, saneamento e pavimentação das vias de acesso, ordenamento das residências obedecendo os aspectos legais que envolvem o gerenciamento costeiro no Brasil, ordenamento das casas que se encontram na porção superior das falésias para evitar riscos futuros de desmoronamentos causadas pelo escoamento superficial ou pela erosão marinha.

Na Praia da Barrinha o acesso à praia também dificultado pela presença da obra de contenção, porém o tipo de embarcação atuante neste setor monitoramento é diferente dos encontrados nas Praias de Barreiras de Baixo e Barreiras de Cima, onde predominam as jangadas. Na Praia da Barrinha os barcos de maior porte, por exemplo lagosteiros, são a maioria e não contam com atracadouros, assim ainda se faz necessária a instalação de estruturas para facilitar o acesso à praia além de outras estruturas referentes à urbanização da orla (Figura 114).

Figura 114: Cenário da adaptação à situação atual à erosão nos setores de monitoramento



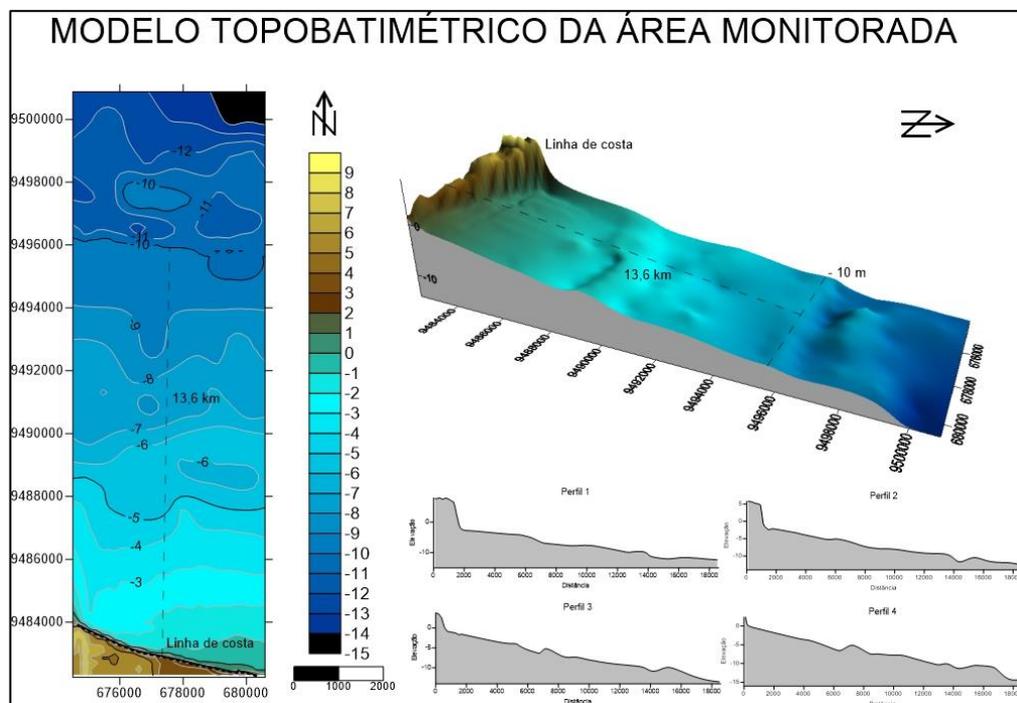
Fonte: Autoria própria.

No que se refere aos limites de orla na zona marinha, foram utilizados os dados de levantamento geodésico dos experimentos de campo em conjunto com os dados de batimetria

disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) possibilitando assim gerar um modelo topobatimétrico completo do trecho monitorado. Segundo a delimitação proposta pelo Projeto Orla, em zona marinha, deve se considerar a isóbata de metros, profundidade na qual a ação das ondas passa a sofrer influência da variabilidade topográfica do fundo marinho promovendo o transporte de sedimentos, ou seja, a profundidade de fechamento do perfil ativo, este fator é de fundamental importância também no entendimento da dinâmica costeira da área.

Segundo Muehe (2001) a adoção desse limite de 10 m na zona marinha se dá pela baixa declividade da plataforma continental interna do Brasil (em média, inferiores a 0,2° características de margens passivas), como consequência disto, a retrogradação da linha de costa se torna potencializada em centenas de metros nestas áreas. Assim, esse limite médio foi estabelecido para o Brasil como forma de ordenar qualquer tipo de atividade que possa ser realizado dentro desta faixa e que possa trazer consequência para orla, como por exemplo a intensificação do processo erosivo em virtude de modificações nos padrões de transporte de sedimentos e incidências de ondas, em Icapuí, a isóbata de 10 m se encontra distante 13,6 km da linha de costa (Figura 115).

Figura 115: Limite genérico de orla marinha para o trecho monitorado.



Fonte: Autoria própria.

8. CONCLUSÕES

Os dados obtidos e apresentados ao longo da pesquisa apontam que a hipótese apontada se considera verdadeira. Assim, os danos causados pela erosão costeira, em virtude da intensificação dos processos erosivos e/ou por interferência antrópica passa a ser um sério problema onde a ocupação muito próxima a linha de costa se encontra intensificada, normalmente em grandes regiões metropolitanas e capitais, porém, tal fato pode ser verificado em municípios distantes dessa aglomeração, mas que também apresentam uma concentração de estruturas construídas muito próximas à praia, como foi possível verificar em Icapuí.

Ao longo da pesquisa foi verificado que a erosão costeira passou a ter uma maior influência no dia-a-dia da comunidade local a partir da emancipação de Icapuí, deixando de ser distrito de Aracati, dessa forma, tal processo levou à um crescimento da população local na metade da década de 1980, atualmente o município apresenta uma população que se aproxima dos 20 mil habitantes.

Devido à falta de planejamento da administração pública, o crescimento populacional resultou no avanço descontrolado de ocupações na direção de um ambiente extremamente dinâmico, que antes apresentava pequenas comunidades tradicionais e atualmente apresenta residências, pequenas pousadas e comércios. As construções postadas diretamente ou muito próximas da linha de costa com o tempo passaram a sofrer diretamente com impacto de processos costeiros (e.i marés e ondas), em virtude da fixação de áreas fonte de sedimentos, desta forma, um processo natural, que na maioria dos casos ocorre sem ser percebido, passou a ser vista com maior preocupação.

O levantamento de notícias disponíveis por meio dos veículos de comunicação relativas a erosão no Estado do Ceará e mais especificamente em Icapuí, mostrou que houve uma intensificação da preocupação com o cenário de destruição provocado pela erosão por volta do início dos anos 2000, mas vale ressaltar que o aumento do número de notícias nesse período não implica dizer que o processo se iniciou aí, mas que os danos causados pela erosão ao patrimônio público passaram a ter maior frequência e conseqüentemente maior destaque, o que nos leva a pensar que o aumento da concentração de construções muito próximas à linha de costa se intensificou neste período. Em meio a isto, vale ressaltar que durante este período, principalmente entre os anos de 2011 e 2014 houve uma intensificação de notícias relacionadas

à erosão costeira, não somente em Icapuí, mas em diversas áreas litorâneas do Estado e que podem estar relacionadas diretamente aos fatores climáticos característicos da nossa região.

A grande seca pela qual nosso Estado vem passando possui influência direta no transporte de material sedimentar do continente e que conseqüentemente abasteceria nossas praias, parte desse material é impedido de chegar aos baixos-cursos dos rios devido a presença de barramentos para a manutenção de reservatórios de água, a região monitorada não apresenta um rio com grande aporte sedimentar, mas mesmo assim, o baixo índice de chuvas também influencia na drenagem continental e a o escoamento dos sedimentos para as praias.

A gravidade do cenário causado pela erosão costeira pode ser facilmente constatada nas Praias de Barreiras de Baixo, setor 1, e Barrinha, setor 3, que dentro do trecho monitorado, são as que apresentam ao longo da linha de costa uma ocupação elevada e que passaram e ainda vem sofrendo sérios problemas. Ao longo dos experimentos de campo e análise das matérias de jornais e fotos é possível verificar ao longo da orla dessas praias que diversas casas foram destruídas, assim como pousadas, comércios, vias, estruturas de suporte público, como postes de rede elétrica.

Na Barrinha o problema atingiu uma escola municipal, tal fato, impulsionou a prefeitura de Icapuí à iniciar uma tentativa de contenção da erosão costeira no local com a instalação de enrocamento na área onde se encontrava a escola e outro na Praia de Barreiras de Baixo que também possuía casas destruídas pela erosão, a população também criou medidas individuais de proteção com estacas de madeira e sacos de areia, o que pode ter acelerado a erosão devido a criação de pequenas células de fixação dos sedimentos, como se fossem pequenos espigões acumulando os sedimentos à barlar e erodindo as estruturas construídas à sotamar.

Durante os experimentos de campo, onde foram coletados dados in situ por meio dos perfis topográficos, coleta de sedimentos e levantamento da linha de costa ajudaram a entender a dinâmica costeira do trecho costeiro monitorado em Icapuí que diferentemente de outras praias do Estado, apresenta um ambiente praiado modificado principalmente por marés, neste caso, a maré é o principal agente atuante na modificação do perfil praiado.

Em suma, os perfis são extensos e apresentam baixa declividade, característica que se estende até a plataforma continental, conforme verificado por meio da Batimetria da área, ao longo dos experimentos se verificou também que as principais alterações volumétricas se

concentraram na parte superior dos perfis de praia, no pós-praia, resultado do aumento do grau de energia neste setor dos perfis devido a ação das ondas durante a preamar, isto é evidenciado pela presença de sedimentos de granulometria que varia de grossa à média, com presença em algumas ocasiões de areias finas, em conjunto com sedimentos carbonáticos. Em contrapartida, quase não há alterações nos setores do estirâncio e antepraia dos pontos monitorados.

A medida que a maré baixa, as ondas são dissipadas e os sedimentos passam a ser transportados pelo fluxo da maré vazante consequência da baixa energia, o que favorece a deposição de sedimentos de granulometria fina e muito fina que ocorrem em maioria na área de estudo. Vale ressaltar também que ao longo do monitoramento verificou-se a grande presença de sedimentos carbonáticos na área, que estão ligados diretamente ao processo de evolução da planície costeira local em associação com a flutuação do nível do mar e uma plataforma continental extremamente carbonática. Em eventos de alta energia, esses sedimentos são levados de regiões submersas diretamente para a praia pelas ondas Swell, que também possuem importância nos processos erosivos na localidade geralmente com maior intensidade nos meses de dezembro e abril.

Os pontos 1, 2 e 3 no setor 1, o ponto 8 no setor 2 e o ponto 11, no setor 3, foram os pontos que apresentaram uma perda no volume de sedimentos, balanço sedimentar negativo, fato preocupante, pois são as áreas que apresentam uma ocupação muito próxima à linha de costa. A perda de sedimentos no ponto 1 pode estar diretamente relacionada à construção do enrocamento no Ponto 2, que se encontra à barlar, como resultado da fixação de sedimentos e alterações nos padrões de correntes e ondas no local, algo que pode ser verificado por meio de indicadores verificados no local após a finalização da obra. A perda de volume de sedimentos no Ponto 2 é resultado das etapas de construção do enrocamento utilizado para conter a erosão nesta área e se faz necessário um monitoramento à longo prazo para se verificar o comportamento da praia pós finalização da estrutura. O Ponto 3 apresentou alterações volumétricas na porção superior do perfil devido também à construção do enrocamento do Ponto 2 à sotamar, pois era utilizado como via de acesso para o Ponto 2.

O Ponto 8 ao longo dos experimentos apresentou as maiores alterações, foi possível acompanhar a intensificação da erosão neste trecho entre o primeiro e último campo, que motivou o recuo de muros de residências no local que já havia perdido uma via de acesso e postes de iluminação pública e como medida de minimizar a destruição foi instalada uma

estrutura de madeira para minimização da energia das ondas que ocorrem na preamar. O Ponto 11 também apresentou uma perda no volume de sedimentos, tal fato pode indicar sérios problemas no futuro, pois esse trecho, assim como outros pontos monitorados, apresenta ocupações diretamente no pós-praia e conseqüentemente estão sujeitas à atuação direta da maré.

O ponto 4, no setor 1, os pontos 5,6 e 7 no setor 2 e os pontos 9 e 10 no setor 3 se apresentaram em equilíbrio durante os experimentos de campo, vale ressaltar que parte dessa estabilidade está diretamente relacionada aos enrocamentos construídos no ponto no 4 e no ponto 10 e ao extenso pós-praia e dunas frontais nos pontos 5, 6 e 7. Outro fator importante é o a urbanização recuada em relação à linha de costa entre os pontos 5 e 7, o que impede que as residências sejam destruídas pela erosão.

A análise da variação da linha de costa com o DSAS entre os anos de 2002 e 2016 mostrou que dentre os 3 setores analisados, o que apresenta um cenário mais crítico relativo à retrogradação da mesma é o setor 3 com $- 4,01$ m/ano e $- 3,87$ m/ano, EPR e LRR, respectivamente, com médias totais de aproximadamente 56 m em 14 anos, porém existem trechos deste setor que perderam 92,82 m em 14 anos, o que nos traz uma taxa de erosão de $- 6,63$ m/ano. Isto se deu em muito, em virtude da construção do enrocamento no Ponto 10 que influenciou diretamente na erosão e conseqüente recuo da linha de costa de todo o setor 3, com exceção do Ponto 11 que se encontra a barlar da obra, mas vale ressaltar que a erosão já se fazia presente antes mesmo da instalação da estrutura, conforme foi possível ser verificado através das notícias de jornais e relatos da população.

O setor 1 apresentou uma retração média de $- 0,14$ m/ano e $- 0,41$ m/ano, EPR e LRR respectivamente, o que aparentemente é mínimo, mas em uma área que concentra uma série de ocupações construídas diretamente na linha de costa pode representar, assim como foi verificado ao longo dos experimentos de campo e indicadores, um cenário de destruição. O setor 2 apresenta trechos com progradação e retração da linha de costa, mas em termo gerais, apresenta uma média geral referente à uma retrogradação de $- 0,56$ m/ano e $- 0,84$ m/ano, porém, diferentemente dos pontos no setor 1, não apresenta construções muito próximas da linha de costa, o que impede o desenvolvimento do cenário de destruição já discutido anteriormente. A exceção deste setor é o ponto 8 que passou a ser influenciado diretamente pelo enrocamento construído no Ponto 10, no setor 3.

Devido as características topográficas da área monitorada e subsequente morfologia do fundo marinho, foi possível verificar que toda a área se encontra a mercê principalmente da atuação da maré no local, vários são os registros de relatos da população de áreas que frequentemente são inundadas durante as marés de sizígia, trazendo danos para as comunidades que vivem próximas do limite máximo de atuação da maré e ondas, fato que é maximizado durante a atuação de ondas Swell no litoral de Icapuí.

Neste caso, levando em consideração os cenários de elevação do nível do mar para até o ano de 2100 verificou-se que todo o trecho monitorado apresenta elevado risco de inundação, o que pode representar em um cenário mais extremo com 0,98 cm, em uma retrogradação da linha de costa que pode chegar aos 722 m nas proximidades do Ponto 9, área que apresenta a menor altitude em relação ao nível médio do mar dentro do trecho monitorado, mas tal cenário extremo também pode ser verificado em outros pontos que apresentam menor altitude dentro da área.

O Plano de Gerenciamento Costeiro Integrado (PGI) de Icapuí que se encontra alinhado com as diretrizes do Projeto Orla, possui mais de 10 anos de criação, porém, foi possível verificar que quase nenhuma das implicações discutidas no PGI foram aplicadas à Orla em questão, como por exemplo o ordenamento de construções muito próximas à linha de costa, além de outros aspectos, visto que muitas das ocupações estão concentradas dentro da área que não deveria ser ocupada de acordo com a legislação brasileira, isto se dá em virtude de uma falta de planejamento público e ausência de planos delimitem essas ocupações, como por exemplo o Plano Diretor do Município e Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS).

Tal fato contribuiu para o agravamento do cenário de erosão em algumas áreas da orla do município, levando aos órgãos responsáveis a tomar medidas imediatistas para conter o chamado “avanço do mar” na localidade com a intervenção por meio de obras que de forma pontual conteriam o processo, porém foi verificado que a erosão costeira em Icapuí também foi influenciada diretamente por essas obras, como por exemplo no setor 3 e aparentemente não se pensou nas alterações que a obra causaria no litoral futuramente. Os enrocamentos instalados tiveram impactos diretamente no modo de vida das comunidades do trecho analisado, como por exemplo a dificuldade de acesso à praia pela população e embarcações, bem como outras obras públicas, como vias de acesso e drenagem.

Assim, pode se concluir com esta pesquisa que ainda se fazem necessárias medidas públicas administrativas mais eficientes no município de Icapuí ligadas à mitigação de impactos causados pela erosão, visto que se trata de um fenômeno natural e que em alguns trechos foi potencializado por obras imediatistas que não contaram com estudos relativos à dinâmica costeira local. Desta forma verifica-se também a necessidade de uma revisão do PGI em conjunto com outros documentos relativos ao ordenamento de ocupações no município, que deve ser baseado nos atuais conflitos na orla em questão e que em muito é resultado do cenário de destruição causado pela erosão, além disso, sugere-se também a aplicação de um monitoramento contínuo para acompanhamento dos processos costeiros no local que possa servir de base para planos de mitigação de possíveis impactos causados pela atuação dos processos costeiros no local e assim promover uma correta ocupação da orla do município de Icapuí.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M. G.; CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S.; PINHEIRO, L. de S. (2009). Morfodinâmica da praia do Futuro, Fortaleza-CE: uma síntese de dois anos de estudo. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v.1, n.2, p.49-57.
- ALBUQUERQUE, M.G.; CALLIARI, L.J.; PINHEIRO, L.S. (2010). Análise dos Principais Riscos Associados ao Banho de Mar na Praia do Futuro, Fortaleza-Ceará. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 14(1):1-8.
- ALMEIDA, H.R.R.C.; ALMEIDA, D.F.C.; ALMEIDA, P.R.R.C. (2016). Análise dos parâmetros granulométricos dos sedimentos praias do litoral da Barra de São Miguel-AL. In: 4º GEOALAGOAS – SIMPÓSIO SOBRE AS GEOTECNOLOGIAS E GEOINFORMAÇÃO NO ESTADO DE ALAGOAS, p. 1-10
- ANDERS, F. J.; BYRNES, M.R. (1991) - *Accuracy of shorelines change rates as determined from maps and aerial photographs*. *Shore and Beach* (ISSN : 0037-4237), 59(1):17-26.
- ANGULO,R.J. e LESSA, G. C. (1997) .*The brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions*. *Marine Geology*. 140, p. 141-166,
- ANTUNES, C.; TABORDA, R. (2009). Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *J. Coastal Research* SI 56 (1) pp. 218-222.
- BAPTISTA P., CUNHA T., BERNARDES C., GAMA C., FERREIRA Ó., DIAS A. (2011). *A precise and efficient methodology to analyse the shoreline displacement rate*. *Journal of Coastal Research*, 27(2):223-232.
- BELLIGOTTI, F.M. (2009) - Avaliação metodológica da profundidade de convergência (profundidade de fechamento) de perfis de três praias de energia moderada a alta no litoral do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 130p., Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- BERTANI, R.T.; COSTA, I.G.; MATOS, R.M.D. (1990) *Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e hábitat do petróleo na Bacia Potiguar*. In: RAJA GABAGLIA, G.P.; MILANI,

E.J. (Coord.) Origem e evolução de bacias sedimentares. Rio de Janeiro: Petrobras. SEREC.CENSUD, p. 291-310.

BIRD, E. (1993) *Submerging Coasts – The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*. John Wiley & Sons. Earthwath, 1993, p.184

BIRD, E. C. F. (1985) *Coastline changes: A global review*. University of Melbourne and United Nations University, John Wiley e Sons, 219p.,

BIRD, E. C. F. (1996) *Beach management*. Chichester, England; New York: John Wiley, 281p.,

BOAK, E. H.; TURNER, I. L. (2005) shoreline definition and detection: a review. *Journal of coastal research*, vol. 21, n° 4, 2005.

BORGES, P. LAMEIRAS, G. CALADO, H. (2009) *A erosão costeira como factor condicionante da sustentabilidade*, 1º congresso de desenvolvimento regional de cabo verde, 2º Congresso lusófono de ciência regional.

BRASIL. (1988). Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e Dá Outras Providências. Brasília, DF. Disponível em Acesso em: 10 dez. 2017.

BRASIL. (2004). Decreto nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em Acesso em: 15 dez. 2017.

BRASIL. IBGE. Censo demográfico, 2010: Sinopse por setores. Disponível em: . Acesso em: 15 dez. 2017.

BROWN S, NICHOLLS R, WOODROFFE C, HANSON S, HINKEL J, KEBEDE AS, (2013). *Sea-Level Rise Impacts and Responses: A Global Perspective*. In: Finkl CW, editor. *Coastal Hazards*. Netherlands: Springer;. pp. 117–149.

BRUUN, P., 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Waterways and Harbors Division* 88, 117 – 130.

BULHÕES, E; ESTRADA, A.F.D. (2011) *Distribuição e Transporte de Sedimentos Costeiros em Ambiente de Baixa Energia. Enseada da Ferradura, Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil*. Revista Gravel, Vol. 9 (1), p. 41-56,

BUSTAMANTE, A. M. G (2005). Memória e identidade local em Icapuí/CE. Tese de Doutorado em Psicossociologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Instituto de Psicologia, Programa EICOS de Estudos Interdisciplinares de Comunidades e Ecologia 207p.

CALLAGHAN, D.; RANASINGHE, R.; SHORT, A. (2009) - *Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning*. Coastal Engineering, 56:90-93. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2008.10.003

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JÚNIOR., E. (2003). *Morfodinâmica: uma breve revisão*. Revista Brasileira de Oceanografia, v. 51, n. 1, p. 63-78.

CAMFIELD, F.E.; MORANG, A. (1996) - *Defining and interpreting shoreline change*. Ocean and Coastal Management, 32(3):129-151. DOI: 10.1016/S0964- 5691(96)00059-2

CARTER R.W.G., HESP P.A., NORDSTROM K.F. (1990). *Erosional landforms in coastal dunes*. In: Nordstrom K.F., Psuty N.P., Carter R.W.G. (eds.), Coastal Dunes: Form and Process. New York: Wiley: 217–250.

CAVALCANTI, A.P.B. (2003) *Impactos ambientais da Zona Costeira – Uma análise geocológica da paisagem*. Teresina: UFPI,

CHARLIER, R.H., MEYER, C.P.D., (1998). *Coastal erosion, response and management*. Springer, Berlin, 343 pp.

CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE. (2016). Reestruturação e atualização do mapeamento do projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará – zona costeira e unidades de conservação costeiras - Relatório final de caracterização ambiental e dos mapeamentos. Fortaleza: 475 p., il.

CHURCH JA, CLARK PU, CAZENAVE A, GREGORY JM, JEVREJEVA S, LEVERMANN A (2013). *Sea Level Change*. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J et al., editors. ClimateChange: The Physical Science Basis. Contribution of

Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

CROWELL, M.; LEATHERMAN, S.P., BUCKLEY, M.K (1991). Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, v. 7, n. 3, p. 839-852. Ft. Lauderdale (Florida). ISSN 0749-0208

CROWELL, M.; LEATHERMAN, S.P.; BUCKLEY, M.K. (1991) - *Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy*. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 7(3):839-852, 1991. <http://www.jstor.org/stable/4297899>.

CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (2016). Banco de dados histórico da Plataforma de Coleta Automática (PCD). Disponível em: <http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/historico/index.php>. Acesso em: 14 de set. 2016.

DAVIES, J. L. (1964). *A morphogenetic approach to world shorelines*. *Zeit. Geomorphol.* 8:127– 142

Davis Jr., R. A. & Fitzgerald, D. M. 2004. *Beaches and Coasts*. Blackwell Publishing. UK. 419p

DELIBRIAS, C., LABOREL, J., (1969). *Recent variations of the sea level along the Brazilian coast*. *Quaternaria* 14, 45-49.

DIAS, A. (2004). *A história da evolução do litoral português nos últimos vinte milénios*. In *Evolução Geohistórica do Litoral Português e Fenómenos Correlativos: Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*, Lisboa, 3-4 Junho, 2004.

DIAS, F. F., CASTRO, J. W. A., SEOANE, J. C. S., & CAMARGO, L. H. R. (2009). *Indicadores de Mudanças Climáticas e de Variações do Nível do Mar na Costa do Rio de Janeiro: Aquecimento ou Resfriamento?* *OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia*, 1(1), 21-32.

DIAS, J. M. A. (1990). *A Evolução actual do litoral português*. *Geonovas* **11**,15-28.

DIAS, J. M. A. (1993) - *Estudo de Avaliação da Situação Ambiental e Propostas de Medidas de Salvaguarda para a Faixa Costeira Portuguesa* (Parte de Geologia Costeira). Liga para a Protecção da Natureza / Ministério do Ambiente, , 137p., Lisboa.

DIAS, J. M. A. (2005) *Evolução da Zona Costeira Portuguesa: Forçamentos Antrópicos e Naturais*. *Revista Encontros Científicos - Turismo, Gestão, Fiscalidade*, 1:7-27, Faro

DILLENBURG, S.; ESTEVES, L.S.; TOMAZELLI, L. (2004) - *A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil*, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(3):611-623. DOI: 10.1590/S0001

DOMINGUEZ, J. M. L., BITTENCOURT, A. C. S. P., LEÃO, Z. M. A. N., AZEVEDO, A. E. G. (1990). *Geologia do Quaternário Costeiro do Estado de Pernambuco*. *Revista Brasileira de Geociências*, 20(1-4), 208-215

DOMINGUEZ, J.M.L (1999). *Erosão costeira na região Leste-Nordeste do Brasil*. 175p, TESE (Professor Titular). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

DOMINGUEZ, J.M.L. (1984). *Sealevel hystory: a dominant control on modera coastal sedimentation styles* (resumo). In: FIRST ANNUAL MIDYEAR MEETING. San Jose, California, Soc. Econ. Paleon. and Mineral, p.26

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P. & MARTIN, L. (1983) *Papel da deriva litorânea dos sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associados às desembocaduras dos Rios São Francisco (SEAL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ)*. *Rev. Bras. Geol.*, p. 98-105.

DONNELLY, C.; KRAUS, N.; LARSON, M. State of knowledge on measurement and Modeling of coastal overwash. *J. Coastal Res*, 22(4): 965-991. 2006.

DUANE, D.B. 1964. Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. *J. Sed. Petrol.*, 34:864-874.

EMERY, K. O. (1961). *A Simple Method of Measuring Beach Profiles*. *Limnology and Oceanographic* V 6. pp. 90-93

EMERY, K. O., AND E. UCHUPI. (1984). *The geology of the Atlantic Ocean*. Springer-Verlag, New York.

FARIAS, E.G.G.de; MAIA, L.P. (2010). Uso de Técnicas de Geoprocessamento para análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 10 (4):521-544 (2010).

FOLK RL, WARD WC. (1957). *Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters*. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3–26

FOLK RL. (1954). The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology* 62: 344–359.

FRANÇOLIN, J.B.L., SZATMARI, P. (1987) *Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira*. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 17, p.196-207

FRIEDMAN, G. M. (1967). Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37: 327-354

GAO, S. AND COLLINS, M., 1994A. Analysis of grain-size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of Coastal Research*, 10(1), 75-78.

GAO, S. AND COLLINS, M., 1994B. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport Vectors” reply. *Sedimentary Geology*, 90, 171-185.

GUERRA, R.G.P (2014). *Vulnerabilidade costeira a eventos de alta energia no Litoral de Fortaleza*, Ceará Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais 103p.

HALLEGATTE S, GREEN C, NICHOLLS RJ, CORFEE-MORLOT J. (2013) *Future flood losses in major coastal cities*. *Nature Climate Change*; 3: 802–806.

HALLERMEIER, R.J., 1981, A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate, *Coastal Engineering*[^], pp. 253-277.

IPCC (2014) *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press;

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report Summary for Policymakers. The Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

JAKOB, Alberto A.E. Kriging demographic variables in order to look for trends in the spatial distribution of population. Trabalho final do curso Spatial Modeling and Analysis – CSS 620, do Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, Ithaca, NY, 2002

JESUS, L. V.; ANDRADE, A. C. S. 2013. Parâmetros Granulométricos dos sedimentos da praia dos Artistas – Aracaju – SE. SCIENTIA PLENA. 9, (5), 1 – 9.

KING. C. A. M. (1972). *Beaches and coasts*. London, Edward Arnold. 570p.

KOMAR, P. Beach Process and Sedimentation. Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, New Jersey, 1976, 428 p.

KRAUS, N. C.; MILLITELLO, A.; TODOROFF, G. Barrier breaching processes and barrier spit breach, Stone Lagoon, California. *Shore & Beach*, 70(4): 21-28. 2002

LAMAS, F.; IRIGARAY, C.; OTEO, C.; CHACON, J. (2005) *Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls*. *Engineer. geol.*, v. 81, p. 32-41.

LAMEGO, A. R. (1940). *Restingas na Costa do Brasil. Divisão de Geologia e Mineralogia*. Boletim nº 96, DNPM, pp. 63.

LARSONNEUR, C. (1977) *La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche*. *J. Rech. Océanogr.*, 2:34-39.

LEATHERMAN, S. (2003) - *Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast*. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), SI38:5-13

LEATHERMAN, S.P., (1979), Overwash processes on Nauset Spit, in Leatherman, S.P., ed., *Environmental Geologic Guide to Cape Cod National Seashore*: Society of Economic

Paleontologists and Mineralogists, Eastern Section p.171-192. Leatherman, S.P., 1983, Shoreline mapping: A comparison of techniques, Shore and Beach, v.51, p. 29-33

LIMA, R.S.; PINHEIRO, L.S.; MORAIS, J.O. (2015). Vulnerabilidade das dunas frontais aos regimes de espraiamento, colisão e overwash na praia da Caponga, Cascavel, Ceará. In: Paula, D.P., Dias, J.A.. (Org.). Ressacas do Mar e Gestão Costeira. 1ed. Fortaleza: Premium, v. 1, p. 393- 415.

LIMA, S. F. *Modelagem numérica da evolução da linha de costa das praias localizadas a oeste da cidade de Fortaleza, Ceará: trecho compreendido entre o Rio Ceará e a praia do Cumbuco*. 2002. 113f. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

LINS-DE-BARROS, F. M. Risco e Vulnerabilidade à Erosão Costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro. 2005. 147f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG / UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

LIRA, C.W.P.; FREIRE, G.S.; JUNIOR, C.A.S.; MANSO, V.A. (2015) Determinação da vulnerabilidade e da zona não edificante para as Praias de Tabuba e Cumbuco município de Caucaia, Ceará, NE do Brasil. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 34, n. 2, p.302-311, 2015

MAACK, R. (1947) *Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina*. Arq. Biologia Técnica, Curitiba, v. 2, p. 66-154,

MAIA, L.P. (1998) *Proceso costeros y balance sedimentario ao lo largo de Fortaleza (NE-BRASIL): implicaciones para uma gestão adecuada de la zona litoral*,. Tese (Doutorado). Universidade de Barcelona-Espanha, 269 p.

MALLMANN, D.L.B. (2008) *Vulnerabilidade do litoral Sul de Pernambuco à erosão*. *Dissertação de Mestrado*. Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Recife

MARINO, M.T.R.D.; FERNANDES, D.; MORAES, S.G., TAJRA, A.A. (2016). Vulnerabilidade física de parte do litoral leste do Ceará à erosão. Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba, v. 38, p.253-281.

MARINO, MÁRCIA THELMA RIOS DONATO; FREIRE, GEORGE SATANDER SÁ (2013) *Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil*. RGCI, Lisboa, v. 13, n. 1, p. 113-129, mar.

MARTIN, L. & SUGUIO, K. (1978) *Excursion route along the coastline between the town of Cananéia (state of São Paulo) and Guaratiba outlet (state of Rio de Janeiro)*. In: International Symposium on Coastal Evolution 133 in the Quaternary. São Paulo. Special Publication, 2. São Paulo, Instituto de Geociências SBG - p 1- 97.

MARTIN, L., MORNER, N. A., FLEXOR, J. M., SUGUIO, K. (1986). *Fundamentos e reconstrução de antigos níveis marinhos do Quaternário*. Boletim Ig USP Publicação Especial, 4, 1-161.

MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; VILAS-BOAS, G.S. (1982). *Principais ocorrências de corais pleistocênicos da costa brasileira. Datação do máximo da última transgressão*. Ciência da terra, 1, p.16-17.

MARTIN, L.; SUGUIO, K. & FLEXOR, J.M. (1986). *Shell middens as a source for additional information in Holocene shoreline and sea-level reconstruction: example from the coast of Brazil*. In: Sea-level research: a manual for the collection and evaluation of data. Ed. by Orson van de Palassche; 18, , p.503-523.

MARTINS, L.R. (2003). Recent Sediments and Grain size analysis. Revista Gravel, Porto Alegre, (1): 90-105.

MASSELINK, G. & Short. (1993). The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. J. coast. Res., 9(3):785- 800.

MASSELINK, G. (1993). Simulating the effects of tides on beach morphodynamics. J. coast. Res.. SI 15:180- 197.

MCGRANAHAN G, BALK D, ANDERSON B. (2007). *The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones*. Environment and Urbanization; 19: 17–37.

MEIRELES, A. J. A. (1991) *Mapeamento geológico/geomorfológico da planície costeira de Icapuí, extremo leste do Estado do Ceará*. 178f. Dissertação (Mestrado). Centro de Tecnologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MEIRELES, A. J. A. (2005). *Riscos sócio-ambientais ao longo da zona costeira*. In: simpósio SBPC - Sociedade Brasileira para o progresso da ciência. Riscos naturais e antropicos na zona costeira. Registros dos debates da 57^o reunião anual. Fortaleza-Ce,

MEIRELES, A. J. A., ARRUDA, GORAYEBE, A., THIERS. (2005). *Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense*. Mercator, 8, 109-134.

MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, A. M. F. (2012). *Atlas de Icapuí*. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão.

MEIRELES, A.J.A. & MAIA, L.P. (1998) *Indicadores morfológicos de los cambios del nivel del mar en la llanura costera de Ceará – nordeste de Brasil*. In: A. G. Ortiz y F. S. Franch (Editores): *Investigaciones Recientes en Geomorfología Española*. Barcelona, 1998, pp.325-332, Geofoma Ediciones, Logroño

MEIRELES, A.J.A.; MORAIS, J.O. & FREIRE, G.S.S. (1990). *Os terraços holocênicos da planície costeira de Icapuí - Extremo leste do Estado do Ceará*. XXXVI Cong. Bras. Geol., Natal/RN. Anais... V 2, p.709-c718.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2006) - *Projeto Orla: Fundamentos para Gestão Integrada*. Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 74p., Brasília, D.F., Brasil. ISBN: 8577380297 http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_04122008111238.pdf

MORAES, A. C. R. (2007). *Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro*. São Paulo: Annablume, 2^a edição ampliada, 232 p.

MORAIS, J. O. (1981) *Evolução Sedimentar da Enseada do Mucuripe*. Arq. Cien. Mar. Fortaleza 21 (1/2): 20-32,

MORAIS, J. O. de. (1980) *Aspectos do Transporte de Sedimentos no Litoral de do Município de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil*. Arq. Ciên. Mar, 20 (1/2) : 71-100, Fortaleza-CE.

MORAIS, J. O. de. (1996) *Processos e Impactos Ambientais em Zonas Costeiras*. Revista de Geologia da UFC, Fortaleza-CE, v.9, p 191-242,

MORAIS, J.O. Compartimentação territorial e evolutiva da zona costeira do Estado do Ceará. In: *Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará*. Lima, L.C (et al.) organizadores., Editora: FUNECE: Fortaleza, p: 106- 180, 2000.

MORAIS, J.O.; FREIRE, G.S.S., PINHEIRO, L.S.; SOUZA, M.J.N.; CARVALHO, A.M.; PESSOA, P.R.S.; OLIVEIRA, S.H.M. CEARÁ. In: MUEHE, D. (2006). (Org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.131-154.

MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S.; CAVALCANTE, A.A.; PAULA, D.P.; SILVA, R. L. (2008). *Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil*. Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 8, p. 61-76

MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S.; FREIRE, G.S.S., PESSOA, P.R.; GUERRA, R.P.; BARROS, E.L., MOURA, J.M. Ceará. In: Muehe, d. (2017). (org.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), p.261-288.

MOREIRA, A; CYNTHIA, R.; MICHAEL, V. (2014) *Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto na análise multitemporal da linha de costa região de icapuí/ce, entre 1984 e 2013*. Revista geonorte, v. 5, n. 16

MOURA, M. R. (2009) *Processos costeiros e evolução da ocupação nas praias do litoral oeste de Aquiraz, Ceará entre 1970- 2008*. Fortaleza, Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFC.

MOURA, M. R. (2012). *Dinâmica costeira e Vulnerabilidade à erosão do litoral dos municípios de Caucaia e Aquiraz, Ceará*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geografia, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MUEHE D. (1996). *Geomorfologia costeira*. In: CUNHA SB da & GUERRA AJT. *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p: 191-238.

MUEHE D., ROSO R.H., SAVI D.C. (2003). *Avaliação de método expedito de determinação do nível do mar como datum vertical para amarração de perfis de praia*. Revista Brasileira de Geomorfologia, 4(1):53-57.

MUEHE, D. (1998) *O litoral brasileiro e sua compartimentação*. In: *Geomorfologia do Brasil*. Antônio Guerra e S. B. Cunha (org.), São Paulo, Ed. Bertrand Brasil.

MUEHE, D. (2001) *Crítérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento*. Revista Brasileira de Geomorfologia, Vol. 2, No. 1, pp 35 - 44,

MUEHE, D. (2004). *Erosion in the brazilian coastal zone: an overview*. *Journal of Coastal Research* 39, 43-48.

MUEHE, D. (2005) *Aspectos Gerais da Erosão Costeira no Brasil*. Revista Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 04, número 07, 97 - 110p.,.

MUEHE, D. (2006) *Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmico e evolutivo*. In: PROJETO ORLA: fundamentos para gestão integrada / Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Brasília: MMA.

MUEHE, D. (2011) *Erosão costeira – tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e cabo Frio, Brasil*. Revista da Gestão Costeira Integrada, 11(3):315- 325. DOI: 10.5894/rgci282

MUEHE, D., OLIVEIRA, K.L. (2014). *Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial, Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais*. In. Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):121-124

NEUMANN B, VAFEIDIS AT, ZIMMERMANN J, NICHOLLS RJ (2015) *Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment*. PLoS ONE 10(3): e0118571. doi:10.1371/journal.pone.0118571

NICHOLLS RJ, CAZENAVE A. (2010) *Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones*. Science 2010; 328: 1517– 1520. doi: 10.1126/science.1185782 PMID: 20558707

NICHOLLS RJ, HANSON SE, LOWE JA, WARRICK RA, LU X, LONG AJ.(2014) *Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change 2014; 5: 129–150

PAULA, D. P. (2012) *Análise dos riscos de erosão costeira no litoral e Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos*. 364 f. Tese (Doutorado em Ciências do Mar) – Universidade do Algarve-UALG, Faro, Portugal

PAULA, D.P. de (2015). *Erosão Costeira e Estruturas de proteção no litoral da região metropolitana de Fortaleza (Ceará, Brasil): Um contributo para a artificialização do litoral*. REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA Fortaleza, Brasil, v. 9, n. 1, p. 73-86, jan./jun. 2015. ISSN: 1982-5528

PAULA, D.P.; FARRAPEIRA NETO, C. (2017) Resposta de uma praia arenosa a um evento de ressaca do mar: o caso da Praia do Icarai (Caucaia, Ceará, Brasil). *Ateliê Geográfico*, Goiânia, v. 11, n. 2, p. 184-204, ago. 2017. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/atelie>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

PINHEIRO, L. S. (2000) *Compatibilização dos Processos Morfodinâmicos e Hidrodinâmicos com o uso e ocupação da praia da Caponga-Cascavel-CE*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J. O.; MEDEIROS, C. Mudanças da linha de praia e feições morfológicas em cascavel, Estado, do ceará. *Arquivo de ciências do mar, fortaleza*, v.34, n. 1, p. 117-130, 2001.

PINHEIRO, L.S, MORAIS, J.O. de, MAIA, L.P. 2016. *The Beaches of Ceará*, In: *Brazilian Beach Systems Volume 17 of the series Coastal Research Library*; pp 175-199 DOI. 10.1007/978-3-319-30394-9_7 Springer International Publishing

POLLETE, M. e POGETTI SILVA, L. (2003) *Gesamp Icam e PNGC – Análise comparativa entre as metodologias de gerenciamento costeiro integrado*. *Revista da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência*, nº4 Tema e Tendências: Gestão das Águas., p. 27-30

PONÇANO, W.L. (1986). *Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplos de sedimentos quaternários na costa brasileira*. Revista Brasileira de Geociências, 16 (2): 157-170.

PORTELA, J.P. FREIRE, G.S.S., MORAES, M.V.A.R.; SILVA, C.A. (2014) *Evolução da morfologia costeira do litoral oeste de Icapuí – CE*. Revista geonorte. V. 5, n. 15.

PORTELA, J.P. FREIRE, G.S.S., MORAES, M.V.A.R.; SILVA, C.A. (2014) *Evolução da morfologia costeira do litoral oeste de Icapuí – CE*. Revista geonorte. V. 5, n. 15.

RUGGIERO, P., 2010, Impacts of shoreline armoring on sediment dynamics, in Shipman, H., Dethier, M.N., Gelfenbaum, G., Fresh, K.L., and Dinicola, R.S., eds., 2010, Puget Sound Shorelines and the Impacts of Armoring—Proceedings of a State of the Science Workshop, May 2009: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5254, p. 179- 186

SANTOS, T. C. C.; CÂMARA, J. B. D. (2002) (orgs.) *Geo Brasil perspectivas do meio ambiente no Brasil*. Brasília, DF: Edições IBAMA.

SCHWEITZER, A. 2013. Monitoramento da Linha de Costa: Uma Análise de Métodos e Indicadores Aplicados em Investigações na Escala de Eventos. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: UFSC.

SETO KC, FRAGKIAS M, GÜNERALP B, REILLY MK. (2011) *A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion*. PLoS ONE ; 6: e23777. doi: 10.1371/journal.pone.0023777 PMID: 21876770

SHEPARD, F. P. (1954) *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios*. Journal Sedimentary Petrology, 24:151-158.

SHORT, A. D. & HESP, P. A. (1982). *Wave, beach and dune interaction in southeastern Australia*. Mar Geol., 48(3-4):259-284.

SHORT, A.D. (1999). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Wiley, New York. 392 pp

SHORT, A.D., (1993). *Beaches of the New South Wales Coast. Australian Beach Safety and Management Project*. Sydney University Press, Sydney, Australia

SHORT, A.D.; Trembanis, A.C. (2004). *Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen beach, Australia - times series, PCA and wavelet analysis*. Journal of Coastal Research (ISSN: 1551-5036), 20(2):523-532. <http://www.jstor.org/stable/4299308>

SMALL, C.; NICHOLLS, R. J. (2003) *A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones*. Journal of Coastal Research, 19 (3), p. 584-599.

SMITH K. (2011) We are seven billion. *Nature Climate Change* ; 1: 331–335

SOUSA, P. H. G. de O. (2007) *Atuação dos Processos Costeiros e Vulnerabilidade à Erosão na Praia de Paracuru - Ceará*, Dissertação de Mestrado, Mestrado Acadêmico em Geografia/MAG, Fortaleza.

SOUZA, C. R. de G. (2007) *Determination of net shore-drift cells based on textural and morphological gradations along foreshore of sandy beaches*. Journal of Coastal Research, S.I. 50, p. 620-625

SOUZA, C. R. de G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, S.L. VITAL, H. DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M. & ADDAD, J. (2005) *Praias Arenosas e Erosão Costeira*. IN: C. R. de G. Souza, el. (eds). *Quaternário do Brasil*. Holos, Editora, Ribeirão Preto (SP). P. 130 – 152.

SOUZA, C.R DE G. (2009) – *A Erosão nas Praias do Estado de São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco*. In: V.L.R. Bononi & N.A. Santos Júnior (orgs.). “Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Científico Acumulado”. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN 978-85-7523-025-1).

SOUZA, C.R. de G (2009). *A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil*. *Gestão Costeira Integrada/ Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v.9, n.1, p.17-37.

SOUZA, C.R. de G. & SUGUIO, K. (2003) *The coastal erosion risk zoning and the São Paulo Plan for coastal management*. Journal of Coastal Research, Special Issue 35, p. 530-547,

SOUZA, C.R. G. (1997). *As células da deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo*. São Paulo. 174p Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

SOUZA, D. C. (2002) *Litoestratigrafia e deformação cenozóica na região de Icapuí, Ceará, implicações para a estruturação de Petróleo na Borda Ocidental da Bacia Potiguar (NE do Brasil)*. Natal, 2002, 186p. tese (Doutorado) – PPGG/UFRN.

SOUZA, M.N. de; (1999) *O litoral leste do Estado do Ceará: Potencialidades e limitações de uso dos recursos naturais das unidades geoambientais*. In. O Ceará: Enfoques Geográficos. Fortaleza: FUNECE.

STRAHLER, A. N. (1966). *Tidal cycle of changes in a equilibrium beach, Sandy Hook, New Jersey*. J. Geol., 74(3):247-268.

SUGUIO, K. (1973) *Introdução à sedimentologia*. Ed. Edgard Blucher Ltda. 317p., São Paulo.

SUGUIO, K. (1998) *Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins / Kenitiro Suguio*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, , p.222

SUGUIO, K. (2001) *Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais: (passado + presente = Futuro?)* São Paulo: Paulo's Comunicação e artes gráficas.

SUGUIO, K. (2003). *Geologia sedimentar*. São Paulo: Edgard Blucher, 400p(01).

SUGUIO, K.; BARRETO, A. M. F.; DE OLIVEIRA, P. E; BEZERRA, F. H. R., SANTIAGO-HUSSEIN, M. C. (2013). *Indicators of Holocene sea level changes along the coast of the Pernambuco and Paraíba, Brazil*. Geologia USP, Série Científica, 13(4), 141-152.

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.

TABORDA, R.; DIAS, J. (1992). – *Análise da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981*. Geonovas 1, A Geologia e o Ambiente, pp. 89- 97

THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J. L.; ERGUL, A. (2009) – *The Digital Shoreline Analysis System(DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. U.S. Geological Survey, Science for a Changing World

TOLMAN, H. L., 2009: User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276, 194 pp.+ Appendices (0.83Mb pdf file).

TOLMAN, H. L., 2014: User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276, 194 pp.+ Appendices (0.83Mb pdf file).

VARGAS, I. C.; OLIVEIRA, F. S. B. F.; OLIVEIRA, A.; CHARNECA, N. Análise da vulnerabilidade de uma praia estuarina à inundação: aplicação à restinga do Alfeite. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 8(1):25-43, 2008.

WOODROFFE, C.D. (2002) *Coasts: form, process and evolution*. Cambridge University Press. ISBN 0521812542

WRIGHT, L. D. & SHORT, A. D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56:93-118

XIMENES, D.R.B; SOUTO, M.V.S; DUARTE, C.R. (2013) *Análise multitemporal da linha de costa para avaliação da evolução costeira na região de Icapuí/CE, Nordeste brasileiro, no período de 1984 a 2011*. 2013. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, p.1618-1625, Foz do Iguaçu