



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
CURSO DE OCEANOGRAFIA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**DÉBORA MORAES DUARTE**

**EROSÃO E PROGRADAÇÃO DA PRAIA DE PONTAL DE MACEIÓ, FORTIM, CEARÁ**

**FORTALEZA  
2018**

DÉBORA MORAES DUARTE

EROSÃO E PROGRADAÇÃO DA PRAIA DE PONTAL DE MACEIÓ, FORTIM, CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Profa. Dra. Lidriana Pinheiro  
Co-orientador: Ms. Renan Gonçalves Pinheiro Guerra

FORTALEZA  
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)

---

- D871e Duarte, Débora Moraes.  
Erosão e Progradação da praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará. / Débora Moraes Duarte. – 2018.  
96 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro.  
Coorientação: Profa. Ma. Renan Gonçalves Pinheiro Guerra.
1. Erosão. 2. Promontório. 3. Desembocadura fluvial. I. Título.

CDD 551.46

---

DÉBORA MORAES DUARTE

EROSÃO E PROGRADAÇÃO DA PRAIA DE PONTAL DO MACEIÓ, FORTIM, CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Ms. Renan Gonçalves Pinheiro Guerra– Doutorando do PPGCMT (Co-Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Davis Pereira de Paula  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

À minha família,  
e todos aqueles que me  
ajudaram nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus. E a minha Família, por terem sido meus pilares todos esses anos, sempre apoiando as minhas escolhas, por todo o amor, carinho, caronas, palavras de consolo e terem tido paciência com a minha ausência e distância em alguns momentos. Tudo que eu sou hoje é graças a vocês.

A profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro, minha orientadora, obrigada pela confiança e por ter comprado minha idéia desde o início, sempre disposta a me ajudar e me ensinar e obrigada pelas palavras de incentivo que não me deixaram desanimar.

Ao meu co-orientador, Renan, pelo apoio e pela paciência, acho que a frase mais dita durante a construção desse trabalho foi: “O Renan vai direto pro céu!”, muito obrigada por estar sempre disposto a me ajudar mesmo quando já tinha tanto para resolver.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica – LOG do Instituto de Ciências do mar da Universidade Federal do Ceará, pelo suporte necessário para a realização das análises. E ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica – LGCO da Universidade Estadual do Ceará que também sempre estiveram dispostos a ajudar e a participar da construção desse trabalho. Aos técnicos do Instituto de Ciências do Mar, Jaiton Nogueira e Gleidson Gastão, por me ajudarem com meus dados, meus campos e tirarem minhas dúvidas.

Aos membros da banca examinadora, por aceitar o convite de colaborar com esse trabalho e avaliar o mesmo.

Ao Programa de Ensino Tutorial – PET Oceanografia, todos os membros que passaram enquanto eu estive vinculada a ele, e aos tutores profa. Dra. Maria Ozilea Bezerra e prof. Dr. Carlos Eduardo Teixeira, por terem me proporcionando tantas oportunidades de crescimento dentro da Oceanografia, por incentivarem o trabalho em equipe e a proatividade.

A Universidade Federal do Ceará e todos os professores do Instituto de Ciências do mar que sempre fizeram questão de se dedicar e se preocupar com os alunos, cada semestre é com vocês que encontramos o incentivo de continuar, o prazer de aprender e cada vez nos apaixonamos mais pela Oceanografia. Um obrigada especial ao Prof, Dr. Antônio Geraldo Ferreira que como professor e coordenador sempre mostrou carinho e dedicação em ajudar. E aos funcionários da Instituição, principalmente a secretária Ingrid Silveira e ao porteiros/vigias João Paulo, Marcos, Roberto e Reginaldo porque são os „Bom dia/Boa noite!” e as conversas jogadas fora que nos fazem dar risada e já começar o dia bem.

Aqueles que são meus melhores amigos desde sempre, amo como se fossem meus irmãos: Iury Figueiredo e Iany Figueiredo. E ao Talles Felix que sempre estava acordado de madrugada e me fez companhia nessa saga. Aquelas que me acompanham desde o colégio: Carol Gomes, Fabiana Lima, Larissa Menezes, Rebeca Sousa e LaryssaLorrany.

Ao programa Ciências sem Fronteiras (CSF) e a University of Brighton, vínculo que foi tão importante para o meu amadurecimento e para me mostrar o quanto a Oceanografia é ampla e se tem oportunidade para crescer. Inclusive, a todas as pessoas que conheci na experiência e se tornaram extremamente importantes para mim, principalmente, Ablenya, Karime, Raquel, Ivana, Vitor, Paulo, Marcos, Hícaro e Heber, entre outras pessoas. Sem todos vocês: Brighton, The Hub, Asda, Churchill Square, Píer, 24, PRYZM, The Font e Lambrini, seriam palavras vazias.

Aos amigos que fui conhecendo em torno do curso, cada um do seu jeitinho mas todos com um lugar especial no meu coração e principalmente, um agradecimento puro terem paciência com a minha ausência:GRUPO CERTO que me acompanham desde o início(Oscar Sousa, Lucas Arruda, Thomas Ravelly, Nalu Maia, Melissa Fontenelle e Davi Martins), as ROCHAS GERADORAS e aos que chegaram por ultimo mas que foram essenciais: Thaís Bastos (a pessoa mais fofa do mundo), Victor Nascimento, Derley Sousa e Isaias da Câmara.

As parceiras que encontrei nessa caminhada: Ana Beatriz Leite e Karina Gurgel, somos tão diferentes mas ainda assim tão parecidas, obrigada por me aguentarem, pelos trabalhos, saídas, conversas e ao eterno apoio. Ao Felipe, por ter me acompanhado todos esses anos, me escutado, me aconselhado, me apoiado e sempre ter estado ao meu lado quando precisei e mesmo quando eu não precisava. Saiba que sem ti, eu não teria conseguido. Obrigada. Obrigada. Obrigada.

Nos minutos finais do segundo tempo, a toda a galera que embarcou no NpHOc Vital de Oliveira na 3ª Pernada do Projeto PIRATA, vocês foram responsáveis por me darem o ultimo fôlego antes de engatar pra finalizar esse trabalho. Alvorada, Vital de Oliveira: Bom dia, Rancho geral corrido, cineminha da tarde, FIFA, crossfit no convôo (boicotado), pôr do sol, mímica, BABY, R1 R2 (sem luva), olha o turno. Obrigada por fazerem tudo incrível!!!

Nunca conseguirei agradecer a todos que cruzaram meu caminho, e que contribuíram para a formação de quem eu sou hoje mas o importante é saberem que eu não construí nada disso sozinha, que cada um teve um papel nessa caminhada, e é a isso que eu agradeço.

“Quando você tem medo e faz mesmo assim.

Isso é **CORAGEM**”.

Coraline

## RESUMO

O sistema praial é extremamente dinâmico devido aos fatores que modelam as feições costeiras e configuram a posição da linha de costa, tais como: as variações do nível do mar, ondas, correntes, marés, o input sedimentar fluvial e eólico. A praia de Pontal de Maceió, localizada em Fortim – Ceará, é uma praia arenosa, caracterizada pela presença de um promontório rochoso que limita a desembocadura do Rio Jaguaribe. A motivação do estudo é entender os ciclos de erosão e progradação, considerando que a praia passou por um ciclo erosivo de 1990 até 2013, e sem intervenções de engenharia se iniciou um período deposicional. Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento espaço-temporal da linha de costa do Pontal do Maceió relacionando aos processos costeiros particularizados que incidem em praias adjacentes a promontórios. A metodologia consistiu no levantamento bibliográfico, cartográfico e saídas de campo. Foi efetuada a aquisição de imagens dos satélites *Quickbird* e *Rapideye* dos anos de 2004 - 2014 para variação espaço-temporal da linha de costa através da extensão DSAS 3.2. Enquanto que o monitoramento a curto prazo foi feito através de as atividades de campo nos meses de abril, agosto e outubro de 2017 em que foram coletados o posicionamento da linha de costa através de caminhamento com RTK, amostras de sedimento e foram feitos 4 perfis praias através do RTK e estação total. Além disso, foram avaliados os parâmetros – ondas ( $H_s$ , direção), vazão da barragem de Peixe Gordo e dada de precipitação da estação de Aracati. Através da variação espaço-temporal da linha de costa de Pontal do Maceió é possível distinguir dois diferentes períodos que marcam a alternância de um ciclo erosivo para um progradante. No período de 2004 a 2013 foi observada erosão de  $-0.02$  m/ano. Já a partir de 2013 foi observado um acúmulo de sedimentos e a elevação da cota altimétrica da pós-praia. A progradação do segmento está possivelmente associada a dinâmica dos bancos arenosos adjacentes ao rio Jaguaribe que são erodidos e carreados pela deriva litorânea. No lado esquerdo da desembocadura do rio Jaguaribe, a tendência erosiva foi de  $-8.6$  m/ano. É necessário um monitoramento sistemático mediante a alta vulnerabilidade das praias adjacentes a desembocaduras fluviais, por serem informações muito importantes para a gestão do litoral. Estes dados são extremamente úteis para simulações através de modelos matemáticos a sazonalidade e previsões de fenômenos climáticos globais.

**Palavras-chave:** Erosão. Promontório. Desembocadura fluvial.

## ABSTRACT

The beach system is extremely dynamic due to the factors that controls the shape of coastal features and the position of the coastline, such as sea level variations, waves, currents, tides, sedimentary fluvial and wind input. The beach of Pontal de Maceió, located in Fortim - Ceará, is a sandy beach, characterized by the presence of a rocky promontory that limits the mouth of the Jaguaribe River. The motivation of the study is to understand the cycles of erosion and progression, considering that the beach underwent an erosive cycle from 1990 to 2013, and without engineering interventions a depositional period began. In this way, the present work aims to analyze the space-time behavior of the coastline of Pontal do Maceió relating to the particular coastal processes that occur on beaches adjacent to promontories. The methodology consisted of bibliographical, cartographic and field surveys. The acquisition of images of the Quickbird and Rapideye satellites from the years 2004 - 2014 was performed for space-time variation of the coastline through the DSAS 3.2 extension. While the short term monitoring was done through the field activities in the months of April, August and October of 2017 in which the positioning of the coast line was recorded by RTK walking, sediment samples was collected and 4 beach profiles were made through RTK and total station. In addition, the parameters - waves ( $H_s$ , direction), discharge of the Peixe Gordo Dam and precipitation data of the Aracati station were evaluated. Through the spatio-temporal variation of the coastline of Pontal do Maceió it is possible to distinguish two different periods that mark the alternation of an erosive cycle to a progradant. Erosion of  $-0.02$  m / year was observed in the period from 2004 to 2013. Already from 2013 an accumulation of sediments and the elevation of the altimetric quota of the post-beach were observed. The segment's development is possibly associated with the dynamics of the sandy banks adjacent to the Jaguaribe river that are eroded and carried by the coastal drift. On the left side of the mouth of the Jaguaribe river, the erosive tendency was  $-8.6$  m/year. Systematic monitoring is necessary due to the high vulnerability of the beaches adjacent to river mouths, since they are very important information for the management of the coast. These data are extremely useful for simulations through mathematical models of seasonality and predictions of global climatic phenomena.

**Keywords:** Erosion. Promontory. River mouth.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da Praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará.....	21
Figura 2: Esboço da refração do trem de ondas em frente ao vilarejo de Pontal do Maceió – Fortim – CE, que resulta no redirecionamento dos vetores de energia (setas vermelhas) gerando o processo destrutivo da faixa de praia. Modificado de: Moraes <i>et al.</i> (2002) .....	24
Figura 3: Síntese da movimentação da ZCIT e os ventos associados. Modificado de: Martin <i>et al.</i> (1998). .....	25
Figura 4: Direção principal do vento e os números à velocidade média (m / s) para o período 1993-96 em alguns setores da costa do Ceará .....	26
Figura 5: Compartimentação do prisma praial emerso e submerso considerando a atuação dos agentes hidrodinâmicos (ondas e marés). .....	32
Figura 6: Modelo conceitual do transporte no sistema praial com presença de promontório. .	34
Figura 7: Desenho esquemático do processo de transpasse sedimentar ao longo de obstáculos como pontas litorâneas. ....	35
Figura 8: Indicadores da posição da linha de costa destacados por Boak e e Turner (2005) e Toldo Jr. e Almeida (2003). Adaptada de Boak e Turner (2005). .....	37
Figura 9: Série de espigões construídos na área do porto do Mucuripe em Fortaleza, CE. ....	43
Figura 10: A) Trecho costeiro do Icarai sob Erosão em Fevereiro de 2015; B) Setas indicam os degraus do Bagwall que foram destruídos pela ação de agitação marítima local em Fevereiro/2015. ....	44
Figura 11: Destruição de barracas e de vias de acesso da Praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará em 2000. ....	44
Figura 12: Aquisição dos dados de Perfil com estação total .....	46
Figura 13: Localização dos perfis de praia realizados no setor oeste da Praia de Pontal do Maceió, Fortim e dos segmentos para posterior discussão. ....	47
Figura 14: Linha de sedimentos secos e sedimentos molhados na Praia de Pontal do Maceió, Fortim. ....	48
Figura 15: Aquisição dos dados do RTK e posterior processamento no software Trimble ....	49
Figura 16: Algumas etapas do procedimento de Análise granulométrica no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG). ....	50
Figura 17: Procedimento de análise de Carbono orgânico e Matéria Orgânica .....	51
Figura 18: Procedimento de análise de Carbonato de Cálcio. ....	53

Figura 19: Linhas de costa da Praia de Pontal de Maceió, Fortim no setor oeste nos anos de 2004, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2017. ....	57
Figura 20: (a) e (b) Resquícios de obras de contenção que os moradores instalaram em suas casas para tentar conter o avanço do mar nos anos de acentuado processos erosivos. (c) Área erodida em 2011. ....	59
Figura 21: (a) Corpo hídrico em 2017, sem contato com o Oceano. (b) Galgamento oceânico na área de formação da laguna.....	62
Figura 22: Mapeamento do assoreamento das rochas em frente a Praia de Pontal do Maceió pelo material proveniente dos bancos na desembocadura do Rio Jaguaribe .....	63
Figura 23: Mapeamento do Uso e Ocupação da Praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará em 2004. ....	68
Figura 24: Mapeamento do Uso e Ocupação da Praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará em 2014. ....	69
Figura 25: Linha de costa da Praia de Pontal de Maceió, Fortim no setor leste nos anos de 2004, 2008, 2011, 2012, 2013 e 2014. ....	71
Figura 26: Linha de costa da Praia de Pontal de Maceió, Fortim no setor em frente ao vilarejo em Abril, Agosto e Outubro de 2017. ....	73
Figura 27: Perfil de Praia Transversal da Praia de Pontal do Maceió em Agosto/2017.....	78

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Precipitação anual no município de Aracati/CE, desde 1975 até 2017* .....	28
Gráfico 2: Vazão da Barragem de Peixe Gordo no Rio Jaguaribe entre os anos de 1987 e 2017* .....	29
Gráfico 3: Correlação entre os dados de precipitação em Aracati e da vazão na barragem de Peixe Gordo. ....	30
Gráfico 4: Taxas de variação da linha de costa entre os anos 2004 a 2017.....	58
Gráfico 5: Taxas de variação da linha de costa entre os anos de 2004 a 2013 .....	58
Gráfico 6: Taxas de variação da linha de costa entre os anos 2013 a 2017.....	60
Gráfico 7: Altura e direção das ondas em Fortim um mês antes das datas de aquisição das imagens (2004, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014) .....	64
Gráfico 8: Taxas de variação da linha de costa no setor leste entre os anos 2004, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014. ....	70

Gráfico 9: Taxas de variação da linha de costa no setor leste em 2017. ....	72
Gráfico 10: Altura e direção de Onda do período de um mês antes de cada saída de campo do ano de 2017.....	74
Gráfico 11: Frequência acumulada das frações granulométricas em cada período de 2017. ....	76
Gráfico 12: Perfil 1 nos meses de Abril, Agosto e Outubro de 2017. ....	77
Gráfico 13: Perfil 2 nos meses de Abril, Agosto e Outubro de 2017. ....	78
Gráfico 14: Perfil 3 nos meses de Abril, Agosto e Outubro de 2017. ....	79
Gráfico 15: Perfil 4 nos meses de Abril, Agosto e Outubro de 2017. ....	80
Gráfico 16: Variação do volume sedimentar em cada perfil (em m <sup>3</sup> ) .....	80
Gráfico 17: Porcentagem de seleção do grão de acordo com o mês de coleta: Abril, Agosto e Outubro.....	81
Gráfico 18: Porcentagem de simetria do grão de acordo com o mês de coleta: Abril, Agosto e Outubro.....	82
Gráfico 19: Correlação entre o teor de Carbonato de Cálcio e o tamanho do grão nas amostras de Abril/2017, Agosto/2017 e Outubro/2017 .....	83

### **LISTA DE TABELAS E QUADROS**

Quadro 1: Vantagens e desvantagens com os métodos e equipamentos aplicados no estudo de morfológico da linha de costa.....	39
Quadro 2: Balanço sedimentar de uma praia. Adaptado de Souza (1997) .....	41
Tabela 3: Especificações das Imagens de satélite e fotografias aéreas adquiridas.....	53
Tabela 4: Análises realizadas através do método DSAS: período, imagens, data, transectos, espaçamento, comprimento e período. ....	54
Tabela 5: Teores de Carbonato de Cálcio e Matérias Orgânica (em porcentagem) das amostras coletadas em Abril, Agosto e Outubro de 2017.....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DHN	Diretória de Hidrografia e Navegação
DSAS	<i>Digital Shoreline Analysis System</i>
EPR	<i>End Point Rate</i>
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPS	<i>Global Positioning System</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LGCO	Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica
LOG	Laboratório de Oceanografia Geológica
LPM	Linha Preamar Máxima
LRR	<i>Linear Regression Rate</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
SAG	Sistema de Análise Granulométrica
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TSM	Temperatura Superficial do Mar
UECE	Universidade Estadual do Ceará
UTM	Universal Transverse Mercator
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	18
2	OBJETIVOS .....	20
2.1	Objetivo Geral .....	20
2.2	Objetivos específicos .....	20
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	21
3.1	Aspectos geoambientais .....	22
3.2	Aspectos dinâmicos do litoral .....	23
3.2.1	Regime de ondas e maré .....	23
3.2.2	Ventos .....	24
3.2.3	Precipitação .....	26
3.2.4	Descarga fluvial .....	28
4	REFERENCIAL TEÓRICO .....	30
4.1	Sistema Praial .....	30
4.2	Dinâmica costeira de praias adjacentes a promontórios rochosos .....	33
4.3	Linha de costa: conceitos e indicadores de posição .....	36
4.4	Processos erosivos: marcas do avanço do mar no litoral cearense .....	40
5	MATERIAIS E MÉTODO .....	45
5.1	Levantamento bibliográfico, ambientais e cartográficos .....	45
5.2	Aquisição de dados .....	46
5.2.1	Perfis morfodinâmicos .....	46
5.2.1	Delimitação da linha de costa .....	48
5.3	Etapa de laboratório .....	49
5.3.1	Análise granulométrica .....	49
5.3.1.1	Parâmetros estatísticos Granulométricos .....	50
5.3.2	Carbono Orgânico e Matéria Orgânica .....	50
5.3.3	Carbonato de Cálcio .....	52
5.4	Etapa de gabinete .....	53
5.4.1	Análise da variação da linha de costa .....	53
5.4.2	Processamento dos dados topográficos .....	55
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
6.1	Ciclos erosivos e progradacionais do litoral de Fortim .....	55

6.1.1 Setor Oeste .....	56
6.1.2 Setor Leste .....	69
6.2 Ciclo progradante: alterações morfológicas de curto prazo.....	72
6.2.1 Variações espaço-temporal da linha de costa .....	72
6.2.2 Mudanças morfosedimentares na praia de Pontal de Maceió .....	74
7 CONCLUSÕES .....	84
8 REFERÊNCIAS .....	86

## 1 INTRODUÇÃO

As regiões costeiras constituem as faixas entre os continentes e os oceanos, representando uma das áreas mais dinâmicas do sistema terrestre. Essa região se mantém, de modo geral, sob condições dinâmicas e não estáticas. Deste modo, são muito suscetíveis a intervenções como construção de espigões, enrocamentos e engordas de praia que provocam transformações em diferentes escalas espaço-temporais (SUGUIO, 2003; MARTINS *et al.*, 2004).

A linha de costa é a feição geomorfológica mais visível quando acontecem mudanças morfológicas no litoral. Apresenta alta dinâmica espacial decorrente das respostas a processos costeiros de diferentes magnitudes e frequências (MAZZER *et al.*, 2009). A forma mais fácil de visualizar essa feição é através da diferença de umidade. Esta forma de observação constitui uma estratégia realizada através de imagens de satélites frequentemente adotada nos estudos costeiros em praias arenosas. Entretanto, a linha de costa apresenta mudanças de posicionamento sazonais e de médio e longo período, sendo assim, a definição da sua localização um pouco mais complexa (MARINO, 2014).

O mapeamento da linha de costa e a percepção da sua dinâmica evolutiva tem relevante importância no monitoramento e gerenciamento da zona costeira. Este entendimento fornece o conhecimento básico para análise de faixas de recuo, apontam áreas de risco de erosão, contribuem para a implantação de obras, calibram modelos numéricos, avaliam o aumento do nível do mar, alicerçam políticas desordenamento territorial costeiro e auxiliam na definição legal de limites de propriedade (BOAK & TURNER, 2008).

Os processos erosivos podem produzir sucessivas alterações na linha de costa governadas pelas variações no balanço sedimentar e pela ocupação desordenada de faixas de *bypass* sedimentar do litoral (OLIVEIRA & MEIRELES, 2010; MORAIS *et al.*, 2006). A erosão costeira se torna um problema social quando algum tipo de construção permanente está situada na trajetória de recuo da linha de costa (AQUINO *et al.*, 2003; VARGAS, 2016, PAULA, 2015).

Diversos fatores estão relacionados as modificações no posicionamento da linha de costa, sendo os mais atuantes (MUEHE, 2006; FARIAS, 2008): i) as flutuações do nível do mar; ii) as intervenções humanas nos processos costeiros; iii) a urbanização; iv) a falta de suprimento sedimentar por esgotamento da fonte natural (i.e., retenção dos rios, perda sedimentar para campos dunares e construções). No Ceará, a erosão costeira está diretamente

relacionada aos processos oceanográficos (i.e. ação das ondas, marés e ventos), a disponibilidade de sedimentos e a configuração geomorfológica do litoral (Morais et al., 2006). A ocupação das áreas de aporte de sedimentos também contribui para a erosão, com destaque para os trechos costeiros como promontórios e desembocaduras fluviais (MEIRELES, 2012).

Nas praias limitadas por promontórios rochosos, o balanço sedimentar é fortemente influenciado pelo *bypass* litorâneo de sedimentos. O transporte sedimentar ocorre na área contígua a feição através da deriva litorânea e atuação de processos de reflexão, refração e difração de ondas (CLAUDINO-SALES & CARVALHO, 2014; CLAUDINO-SALES, 2002). Assim, a interação entre erosão – transporte – deposição sedimentar nos sistemas costeiros são dependentes das forçantes oceanográficas que envolvem a incidência das ondas e a capacidade das praias em suportarem essa energia (BULHÕES *et al.*, 2014). Nos 573 km que constitui o litoral do estado do Ceará podem ser observados 19 promontórios rochosos, sendo 5 localizados no litoral oeste do estado e 14 no litoral leste (CLAUDINO-SALES & CARVALHO, 2014). Em sistemas costeiros adjacentes a desembocaduras fluviais, os ciclos de erosão e progradação são processos naturais inerentes (MORAIS *et al.*, 2008). Neste caso, é destacado a Praia de Pontal de Maceió que apresentou ao longo das últimas décadas alternância entre os ciclos erosivos e progradaçãois que influenciaram na configuração da costa.

Durante ciclos erosivos, danos a infraestrutura turística (i.e. barracas de praia) estão entre os impactos negativos percebidos. Enquanto o incremento de espaços costeiro e valorização imobiliária estão entre os impactos positivos estabelecidos no ciclo progradaçãois.

A praia de Pontal do Maceió está localizada no município de Fortim, é limitada por um promontório rochoso posicionado a margem esquerda da foz do rio Jaguaribe, um dos rios mais importantes do estado do Ceará. Por isso, a compreensão dos processos erosivos atuais na região, seu padrão de ocorrência e taxas de variação da linha de costa são fundamentais para o estabelecimento de estratégias que busquem mitigar os riscos e entender a dinâmica morfológica associada aos promontórios rochosos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar o comportamento espaço-temporal da linha de costa do Pontal do Maceió entre os anos de 1990 e 2017, relacionando aos processos costeiros particularizados que incidem em praias adjacentes a promontórios.

### **2.2 Objetivos específicos**

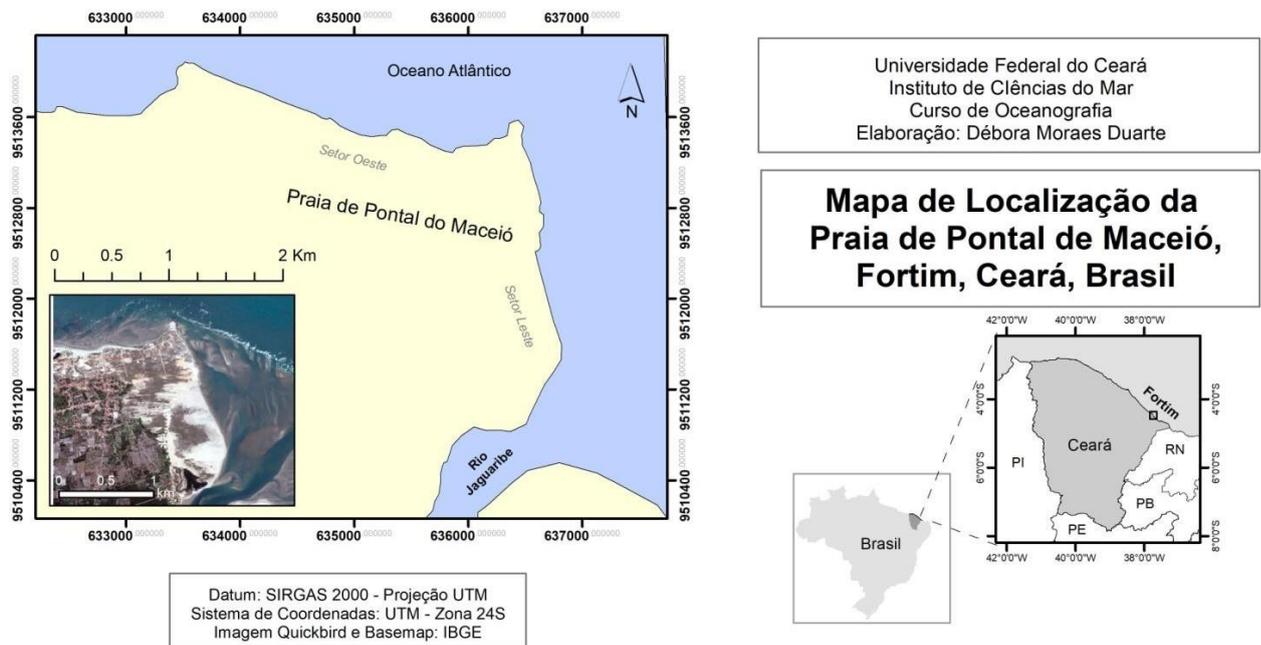
- Caracterizar a morfodinâmica da praia relacionando ao atual enquadramento dos componentes ambientais do litoral;
- Determinar as taxas de erosão e/ou progradação da linha de costa entre os anos de 2004 e 2017 para entender o padrão de curto prazo de evolução da linha de costa;
- Relacionar os ciclos erosivos e progradantes e suas repercussões no litoral como subsídio para a gestão costeira.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A praia de Pontal de Maceió está localizada a 150 km de Fortaleza, seu acesso acontece através da rodovia CE 040. A praia possui cerca de 5 km de extensão (Figura 1), sendo classificada quase totalmente como praia arenosa, entretanto possui pontais rochosos da Formação Tibau e plataformas de abrasão no setor leste (MORAIS *et al.*, 2008).

O município de Fortim, que compõe o litoral leste do Ceará, possui 11,54 km de linha de costa que é alvo da ocupação por múltiplos usos, onde se observa problemas socioambientais locais (LEITE *et al.*, 2016). Fortim tem limite à oeste com o município de Beberibe e a leste com o município de Aracati tendo dois rios como divisa, a oeste é a foz do rio Pirangi e a leste é a foz do rio Jaguaribe. A praia de Pontal de Maceió representa a única opção de lazer em praias oceânicas no Município de Fortim.

Figura 1: Mapa de localização da Praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará.



### 3.1 Aspectos geoambientais

A coluna sedimentar aflorante na área compreende desde os sedimentos datados do Cretáceo Superior, onde ocorreu o estágio *drift* da Bacia Potiguar e surgiu a Formação Tibau, até os sedimentos inconsolidados recentes (BRANCO *et al*, 2001). Ainda segundo o autor, os depósitos areno-argilosos da Formação Tibau afloram, principalmente, em formas de falésias vivas, muitas vezes silicificadas, mapeados nos promontórios mais resistentes do litoral, como acontece no Pontal de Maceió, Fortim.

A planície litorânea representa um importante sistema controlado por processos de deposição com forte influência dos fluxos marinhos, fluviais e eólicos, que originam as diversas fácies que constituem a paisagem litorânea do Ceará (CPRM, 2014; GUERRA & GUERRA, 2008). No período do Quaternário, onde ocorreu a etapa final da formação da planície litorânea, foi estabelecida a dinâmica costeira e, conseqüentemente, também se formaram as planícies fluviais, flúvio-marinhas e flúvio-lacustres na região (LEITE *et al*, 2016). Ainda segundo a autora, a planície de deposição flúvio marinha e eólica do município de Fortim destaca-se na paisagem, por constituir extensa superfície rebaixada, estando circundada por dunas móveis, por um pequeno manguezal às margens do Jaguaribe, pela foz do rio e o mar litorâneo.

A região do vale do Jaguaribe, onde está inserida a praia de Pontal de Maceió, é uma das principais bacias hidrográficas do estado do Ceará, tanto no contexto hidrológico como no histórico. O rio Jaguaribe possui em torno de 610 km desde suas nascentes na Serra da Joanhina, localizada em Tauá – Ceará, até a sua foz litorânea na divisa dos municípios de Fortim e Aracati. O canal principal do rio percorre terrenos de bacias sedimentares Cretáceas, embasamento do Pré-Cambriano, formações Plio-Quaternárias do Grupo Barreiras e depósitos Quaternários, até desaguar no oceano Atlântico (MORAIS *et al.*, 2000). A zona de estuário apresenta cerca de 40 km de extensão, sendo limitada a montante pela barragem de Itaiçaba. (PAULA, 2006). A barragem de Itaiçaba, então, é o controle da descarga de água doce para o sistema.

## 3.2 Aspectos dinâmicos do litoral

### 3.2.1 Regime de ondas e maré

Dentre os variados tipos de ondas que são observadas no oceano, as mais frequentes são as ondas de superfície geradas pelo vento, denominadas ondas tipo *sea* e as ondas formadas longe do seu local de aparecimento, definidas como *swell* (GARRISON, 2010). Estas ondas são bastante importantes para a determinação das feições costeiras e são as principais ameaças às obras costeiras e à segurança da navegação.

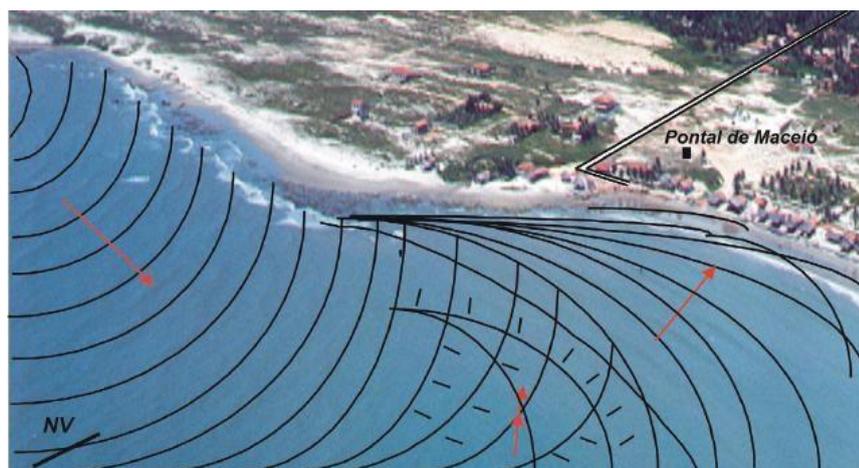
De acordo com Moraes *et al* (2006), as ondas que incidem no estado do Ceará apresentam uma forte componente de leste com direções variando entre os quadrantes leste, leste-nordeste e leste-sudeste mantendo uma estreita relação com as direções predominantes dos ventos. No primeiro semestre a frequência de ondas *swell* é bem maior, devido a diminuição da influência dos alísios de sudeste e o aumento de tempestades no Atlântico Norte. No Ceará, as ondas são 80% de ondas do tipo *sea* ( $1 \leq T \leq 9$  s) e 20% do tipo *swell*, com períodos  $> 10$  s (CARVALHO *et al.*, 2007). As ondas de *swell* que atingem o litoral possuem um período máximo de 10 s são frequentes entre dezembro e abril (SILVA *et al.* 2011). As ondas que modelam a linha de costa de Pontal do Maceió são do tipo *sea* com média de Hs de 0,55 m e Tp de 5s. Enquanto, as ondas *swell* são frequentes em Janeiro, Fevereiro e Março, com período e altura média de 10s e 0,40m (MORAIS *et al.*, 2002; LEITE *et al.*, 2012).

As ondas provenientes dos quadrantes E-SE que atingem o promontório rochoso da vila de Maceió geram um efeito turbilhonar, fazendo com que o material em suspensão seja depositado nas imediações do pontal e configurando a morfologia submersa e subaérea da praia de Maceió (Figura 2). No centro das águas formam-se uma espécie de redemoinho, onde a água experimenta um movimento retilíneo na direção das praias. Produz-se, então, uma sedimentação formada por elevações de fundo que são as barras arenosas submersas que se estende desde a foz do rio Jaguaribe até a vila de Maceió e são responsáveis pelas alternâncias na direção do transporte de sedimentos (MORAIS *et al.*, 2002).

Esse processo ocorre devido a refração das ondas, Silva *et al.* (2004) define que “a refração ocorre quando a onda aproxima-se com um ângulo inclinado em relação à linha de costa, e a propagação com diferente direção. A difração de uma onda ocorre quando esta atinge um obstáculo, estabelecendo uma onda circular que se propaga a partir da extremidade

do obstáculo”. De acordo com Morais *et al.* (2006), nas marés de sizígia, observou que as ondas de refração quando alcançam a praia de Maceió sofrem reflexão provocando danos significativos. Isto resulta na remobilização de grandes volumes de areias na direção da antepraia.

Figura 2: Esboço da refração do trem de ondas em frente ao vilarejo de Pontal do Maceió – Fortim – CE, que resulta no redirecionamento dos vetores de energia (setas vermelhas) gerando o processo destrutivo da faixa de praia. Modificado de: Morais *et al.* (2002)



Fonte: Pinheiro *et al* (2006)

As marés no Ceará são caracterizadas como mesomarés com uma amplitude máxima de 3,2 m e semidiurnas (MORAIS 1981; MAIA, 1998). Onde, o regime de ondas de Pontal do Maceió é de meso-maré com amplitudes de 2,6 m (MORAIS *et al.*, 2008).

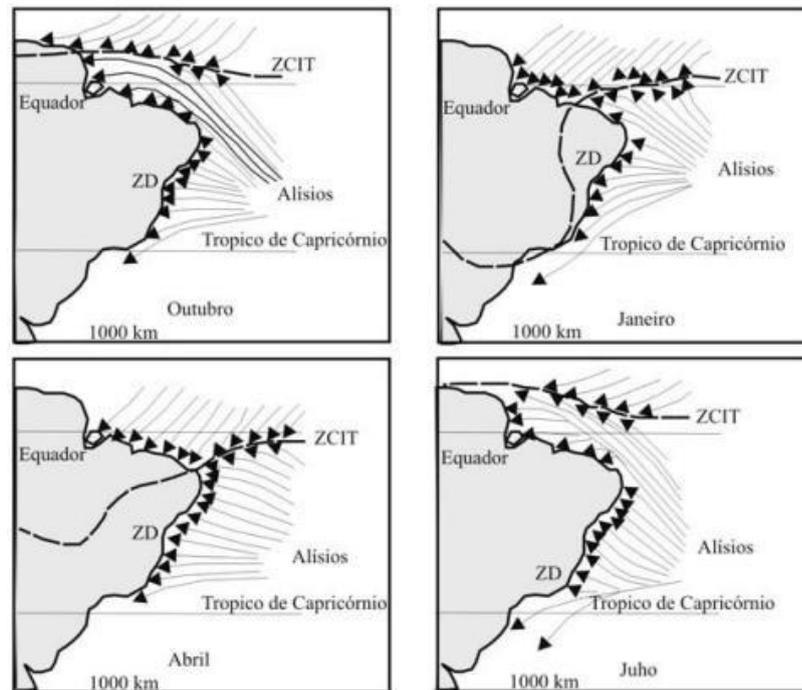
### 3.2.2 Ventos

O sentido dos ventos na costa do Norte e Nordeste do Brasil sofrem variações de acordo com o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT é uma região de confluência dos ventos alísios de nordeste, oriundos do sistema de alta pressão do Hemisfério norte, e dos ventos Alísios de sudeste, oriundos da alta subtropical do Hemisfério Sul (MOLION & BERNARDO, 2002) (Figura 3). A zona é caracterizada por uma banda de nebulosidade e chuvas no sentido leste-oeste aproximadamente.

A ZCIT se encontra mais ao norte no período de setembro-novembro, então nesse período se predomina os ventos alísios de sudeste na região nordeste do Brasil (Figura 4). Enquanto que nos meses de dezembro-março em que a ZCIT se encontra mais ao sul, os ventos predominantes são os alísios de nordeste (SILVA, 2006). A distribuição dos valores

médios anuais da velocidade ao longo da costa do Ceará mostra uma tendência de crescimento de SE-NW, associada a um tipo anticiclônico de mudança de direção vetorial (MAIA *et al.*, 2000).

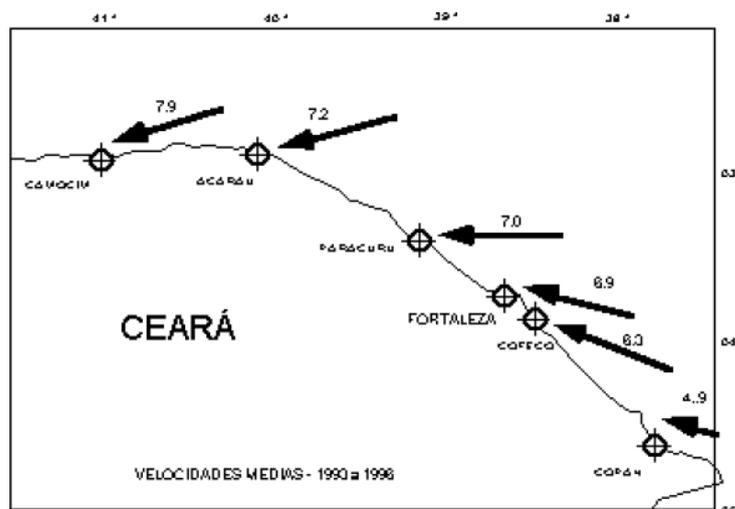
Figura 3: Síntese da movimentação da ZCIT e os ventos associados. Modificado de: Martin *et al.* (1998).



Fonte: Carvalho *et al.*, 2007.

Segundo Farias (2008), no Ceará a velocidade média anual do vento é em torno de 6,4 m/s, apresentando uma variação mensal entre 4,6 e 8,1 m/s; Onde os menores valores são observados no período de fevereiro a maio e os maiores de agosto a novembro. Os ventos ao incidirem na linha de costa geram um vetor resultante paralelo à linha de costa, responsável pelo transporte de sedimentos junto à praia (BITTENCOURT *et al.*, 2003).

Figura 4: Direção principal do vento e os números à velocidade média (m / s) para o período 1993-96 em alguns setores da costa do Ceará.



Fonte: Maia *et al.* (2000)

### 3.2.3 Precipitação

Para definir as características de precipitação na região de Pontal do Maceió (Baixo Jaguaribe), foram realizadas análises de dados de climatologia (1987-2017) adquiridos pela estação pluviométrica localizada no município de Aracati da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado do Ceará (FUNCEME) e do Instituto Nacional de Pesquisas espaciais (INPE).

Os mecanismos dinâmicos que produzem as precipitações no Nordeste do Brasil podem ser classificados em mecanismos de grande escala, responsáveis por cerca de 30% - 80% das chuvas observadas dependendo do local, e mecanismos de meso e micro escalas, que completam os totais observados. Dentre os mecanismos de grande escala, se temos sistemas frontais e a zona de convergência intertropical (ZCIT) (FERREIRA *et al.*, 2005). De julho a novembro, a ZCIT se move gradualmente para o norte do equador, trazendo condições secas para o Ceará, enquanto que durante os meses de Dezembro a Março ela chega ao seu máximo ao sul, sendo assim aproximadamente 91% da precipitação no nordeste Brasileiro concentrada no primeiro semestre do ano (PINHEIRO, MORAIS & MAIA, 2016). Os fenômenos de meso-escala se configuram como perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, complexos convectivos e brisa marítima e terrestre, enquanto que circulações orográficas e pequenas células convectivas são os fenômenos de micro escala (FERREIRA *et al.*, 2005).

Ainda de acordo com Ferreira *et al.* (2005), outro fenômeno que influencia as precipitações no Nordeste brasileiro são os anos de El Niño, quando se tem o aquecimento

anômalo das águas superficiais do lado leste da Bacia do Pacífico, toda a convecção equatorial também se desloca para o leste, alterando assim o posicionamento da Célula de Walker. Devido à continuidade da circulação atmosférica, é formada uma célula descendente sobre o Oceano Atlântico, pois o ar quente sobre aquela região ser empurrado, além de originar outra zona de subsidência de ar quente, próximo à região Nordeste do Brasil (NEB) ocorrendo assim, inibição da formação de nuvens que ocasionam deficiência das chuvas na região. Outra Oscilação de longo período que pode ocasionar redução das chuvas no Nordeste do Brasil é a ocorrência do El Niño ao mesmo tempo em que o dipolo positivo do Atlântico ocorre (diferença entre a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar - TSM no Oceano Atlântico Norte e Sul), que é desfavorável às chuvas.

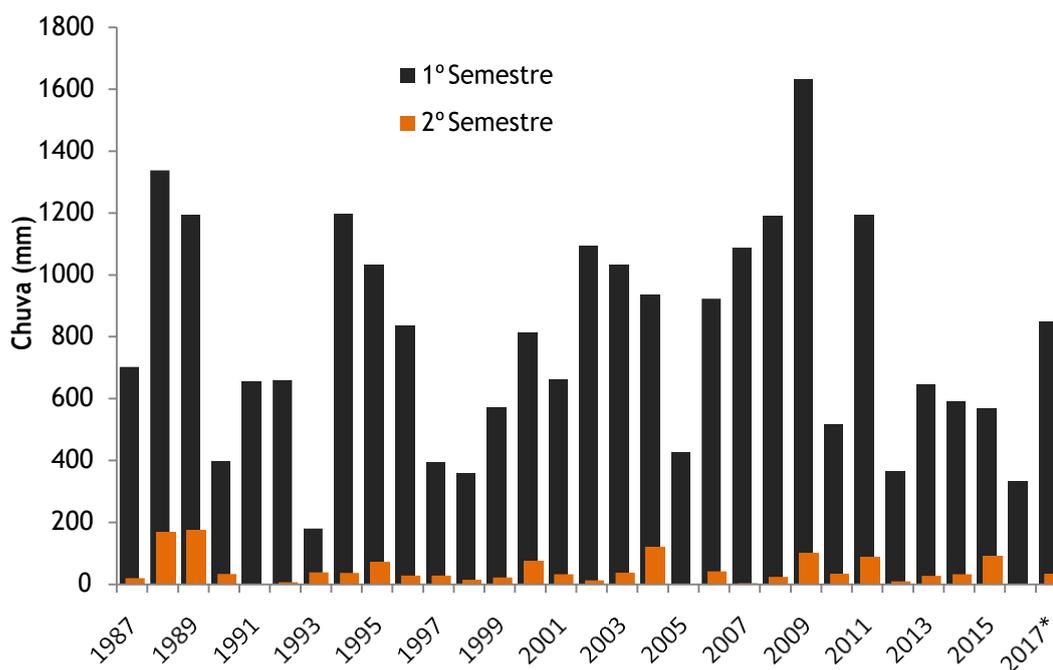
Em oposto ao El Niño, no fenômeno La Niña acontece o resfriamento anômalo das águas do leste do oceano Pacífico, quando associado ao dipolo negativo do Atlântico (favorável às chuvas), é normalmente responsável por anos considerados normais, chuvosos ou muito chuvosos no Nordeste (FERREIRA *et al.*, 2005).

O clima regional no nordeste faz parte do clima semi-árido referente a toda a região, marcado por dois períodos bem definidos – um seco, longo e outro úmido, curto e bastante irregular (março e maio) (MORAIS *et al.*, 2006).

A precipitação no município de Aracati apresenta as características esperadas para a região: a concentração do volume das chuvas no primeiro semestre, e baixa pluviometria para o segundo semestre. Tendência essa, que pode ser observada na série histórica de 30 anos no Gráfico 1. A média para esse período foi de 905 mm, porém apresenta uma oscilação das precipitações, em que alguns anos ficaram bem abaixo da média, e outros com precipitações bem elevadas. O mínimo aconteceu no ano de 1993 com 220 mm e a máxima no ano de 2009 com 1.733 mm.

Gráfico 1: Precipitação anual no município de Aracati/CE, desde 1975 até 2017\*

\*Novembro



Fonte: Dados observacionais INPE/FUNCEME

### 3.2.4 Descarga fluvial

Grande parte dos rios da região semi-árida do Nordeste é intermitente, fluindo somente durante a estação chuvosa (MUEHE, 2006). A penetração da água salgada nos vales dos rios, durante as marés cheias, faz com que esses rios não percam a ligação com o oceano durante a estiagem (PINHEIRO *et al.*, 2010). Na área em estudo, a influência do Rio Jaguaribe é um importante fator para a construção da faixa de praia e pós-praia. Este recurso hídrico fornece sedimentos de origem continental e também material do bypass de dunas localizadas na margem direita do curso fluvial (MORAIS *et al.*, 2006).

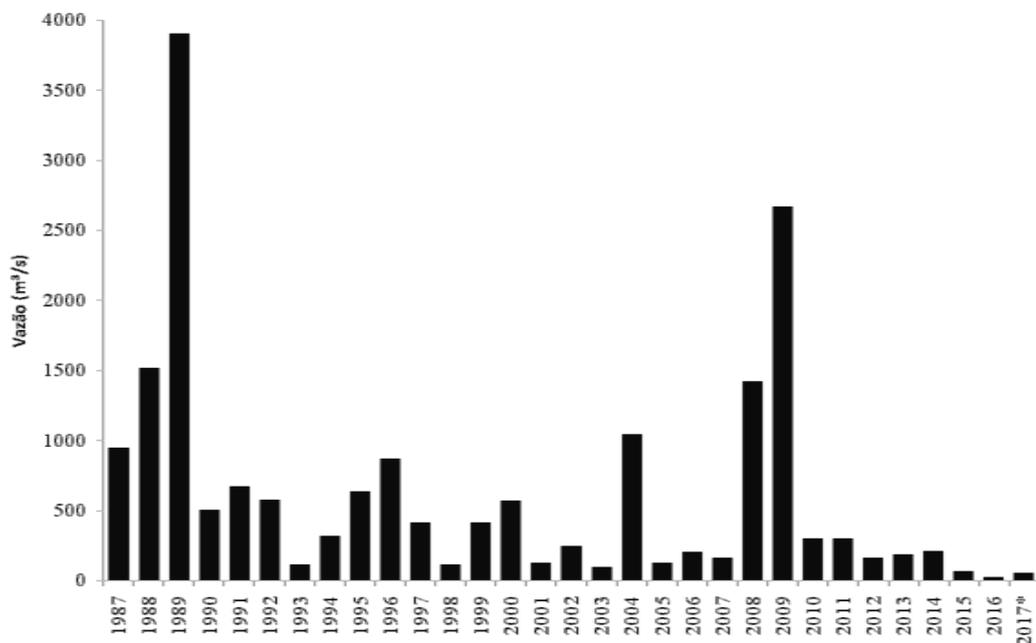
Foi observado por Moraes *et al.*, (2008) que o Rio Jaguaribe se comporta como espigão hidráulico, fornecendo sedimentos terrígenos para a deriva litorânea, que alimenta a praia de Pontal do Maceió. O espigão hidráulico no período chuvoso é fundamental para reverter a obstrução de canais favorecendo a circulação estuarina e os processos de sedimentação (PINHEIRO *et al.*, 2010). Essa característica, entretanto, é intensificada ou enfraquecida dependendo da vazão do rio, que além de estar submetido a um regime climático com precipitação irregular, também possui um grande número de barragens, que retêm e

fazem reduzir a quantidade de sedimentos que chegam até a foz do rio(MARTIN & DOMINGUEZ, 1994; PINHEIRO *et al*, 2006).

No decorrer dos 299 km do Jaguaribe entre a Barragem do Castanhão e a desembocadura do rio no município de Aracati existem 15 barragens (CAVALCANTE & CUNHA, 2012).É importante ressaltar que no caso do Rio Jaguaribe, a redução da vazão não se deve apenas as grandes barragens, mas também aos inúmeros barramentos de menor porte, bem como das atividades consumidoras de água como a carcinicultura, o abastecimento humano, a irrigação e a piscicultura (MORAIS *et al*, 2008).

A vazão observada na barragem de Peixe Gordo desde 1987 (Gráfico 2) apresenta seu mínimo no ano de 2016 com 24.24 m<sup>3</sup>/s e a máxima no ano de 1989 com 3.900 m<sup>3</sup>/s.Possuindo desde 2010 valores abaixo de 300 m<sup>3</sup>/s o que evidencia o período de estiagem que o estado se encontra. Durante períodos de chuva se tem a liberação de água pelas barragens de acordo com o acumulo da mesma, o que regulariza a vazão do rio Jaguaribe em seu médio-baixo curso, como pode ser observado em 2009, um ano de precipitação acima da média.

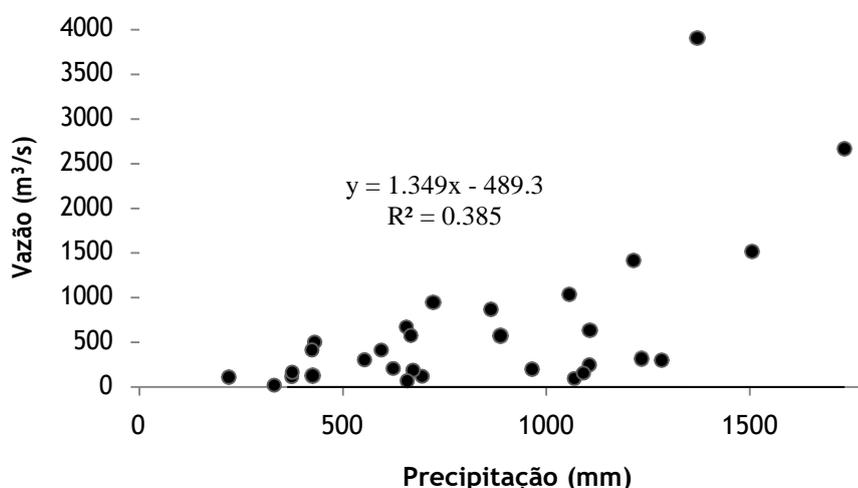
Gráfico 2: Vazão da Barragem de Peixe Gordo no Rio Jaguaribe entre os anos de 1987 e 2017\*



Fonte: Hidroweb/ANA

Deve ser observada a existência de um atraso na ocorrência da vazão em relação ao tempo de ocorrência da precipitação, ocasionado pelos diversos processos existentes no interior da bacia hidrográfica, como a interceptação e o escoamento superficial e subsuperficial, que por sua vez, estão diretamente relacionados às características do relevo, solos, vegetação e uso e ocupação pela sociedade (COLLISCHONN & TASSI, 2010; SOUSA *et al*, 2017). Por isso, a correlação entre os dados de vazão e pluviometria é baixa (Gráfico 3).

Gráfico 3: Correlação entre os dados de precipitação em Aracati e da vazão na barragem de Peixe Gordo.



## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Sistema Praial

Os sistemas costeiros são influenciados por processos de origem marinha e continental, estes interagem através de fatores físicos, químicos, biológicos, climáticos e antrópicos, os quais se conectam de forma complexa, estabelecendo um equilíbrio dinâmico (SOUZA, 2001). Dentre estes sistemas, as praias margeiam cerca de 40 por cento da costa do mundo, e geralmente consistem em depósitos de sedimentos que cobrem totalmente ou parcialmente o litoral (BIRD, 2007). Ainda de acordo com o autor, as praias podem ser longas ou curtas, quase retilíneas, ou incluírem baías ou enseadas entre os promontórios rochosos.

Os sedimentos que compõem as praias são formados por partículas de matéria orgânica e inorgânica, derivados da erosão e do intemperismo das rochas, além da atividade dos organismos, de vulcões e processos químicos (GARRISON, 2010). Ainda segundo o autor, algumas praias podem variar de areia fina até seixo e podem possuir sedimentos bem

ordenados, enquanto que outras são mais variadas na textura, às vezes com zonas contrastantes de material mais grosso e mais fino ao longo da praia.

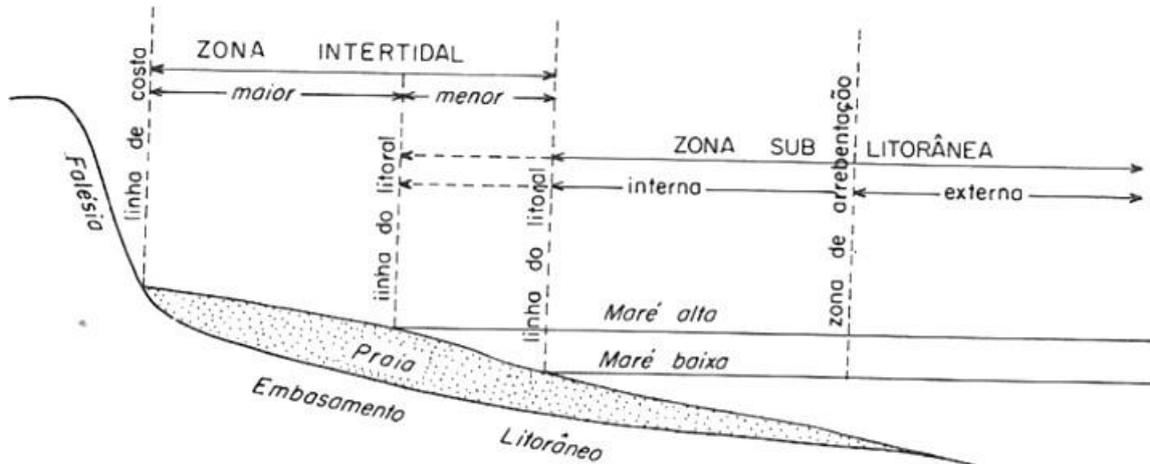
As praias arenosas são formadas quando a areia é transportada e encontra locais propícios para deposição, como pequenas áreas calmas entre promontórios (GARRISON, 2010). Ao se estudar o sistema praial, Short (1999) define a praia como “uma acumulação de sedimentos, que se encontra entre [...] a profundidade máxima em que ocorre o transporte de material em direção à praia, e [...] a parte sub-aérea onde há ação das ondas e mobilização sedimentar”. Nas praias, o sedimento é transportado e depositado pela atuação dos agentes hidrodinâmicos (ondas, marés e correntes) e os ventos (BIRD, 2007; ALBUQUERQUE *et al.*, 2009).

Praias arenosas constituem um dos tipos mais resilientes do sistema costeiro devido à habilidade de absorver a energia das ondas. Nesse contexto, a praia é caracterizada pelo transporte de areia devido às ondas e pelo transporte eólico causado pelo vento na pós-praia e nas dunas (MCLACHLAN & BROWN, 2006). De acordo com a escola australiana de hidrodinâmica praial, as praias arenosas são o produto da interação das ondas com o fundo arenoso na linha de costa. Assim, é estabelecido o conceito de morfodinâmica praial como o ajuste entre a topografia e a dinâmica dos fluidos relacionados ao transporte sedimentar (WRIGHT & THOM, 1977). Atualmente, entre as diversas concepções existentes, a morfodinâmica praial pode ser definida como a forma de integrar análises morfológicas e dinâmicas como uma observação completa e coerente da praia e da zona de arrebenção (CALLIARI *et al.*, 2003).

Várias classificações do sistema praial foram propostas, estando este compartimentado de acordo com atuação dos agentes hidrodinâmicos (ondas e marés). Na classificação de Christofolletti (1980), a zona intertidal (*shore*) é a que se estende entre o nível da água em maré baixa e o limite da ação das ondas durante a maré alta, também chamada de estirâncio (Figura 5). E a linha de costa é a linha limite de contato entre a água e a terra, variando com o movimento das marés entre os limites do estirâncio.

Os processos atuantes nas praias que são responsáveis pela sua mobilidade começam a atuar na base da antepraia onde as modificações na praia são, em parte, causadas pela troca de sedimentos bidirecional entre os limites superior e inferior da praia, através da zona de arrebenção. Assim, a variabilidade temporal e a espacial são dependentes do tipo e disponibilidade de material sedimentar que a praia é composta (CALLIARI *et al.*, 2003).

Figura 5: Compartimentação do prisma praial emerso e submerso considerando a atuação dos agentes hidrodinâmicos (ondas e marés).



Fonte: Christofolletti (1980)

Short & Wright (1983) classificaram as praias quanto à morfodinâmica em seis estágios variando entre níveis de dissipativas, refletivas e intermediárias. Nas praias dissipativas, a inclinação é suave com barras paralelas, assim as ondas quebram por deslizamento e continuam em ondulações através da larga zona de *surf*. Enquanto que na refletiva, as ondas quebram de forma mergulhante, em uma estreita zona de *surf*, e devido a isso, a quebra ocorre rapidamente, ocasionando uma intensa onda de deslizamentos. Os estádios intermediários apresentam características dos estádios dissipativa e refletiva.

Nas praias arenosas de grande parte do Brasil, a faixa de praia apresenta extensos estirâncios, cuja continuidade só é interrompida pelo aparecimento de falésias vivas derivadas da Formação Barreiras (MUEHE, 2006). As praias do Ceará são compostas predominantemente de sedimentos arenosos da idade terciária-quadernária superior com várias gerações de dunas transgressivas do Pleistoceno, juntamente com praias, planícies estuarinas e falésias (PINHEIRO *et al.*, 2016).

A costa do Ceará foi dividida em cinco setores por Morais *et al.* (2006), com base nos limites das bacias hidrográficas, no aporte sedimentar e nas características morfológicas das praias. Sendo estas predominantemente modificadas por maré, com aproximadamente 48,15% das praias classificadas como modificadas por maré, 13,85% como dominadas por ondas e 38% das praias associada a recifes e afloramentos rochosos (PINHEIRO *et al.*, 2016).

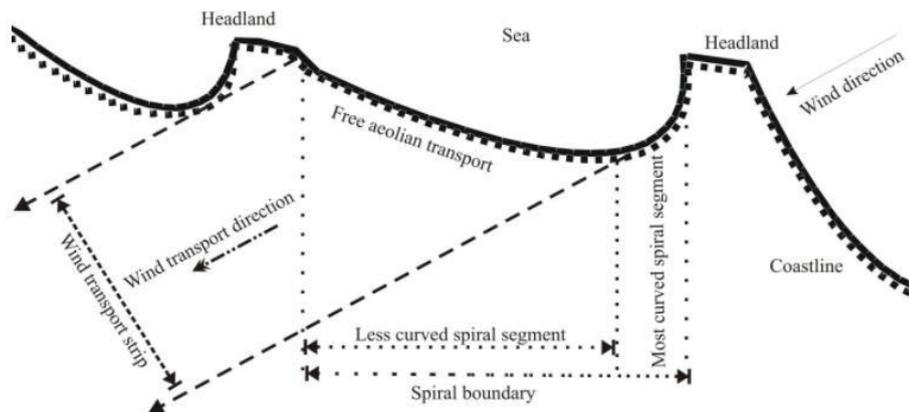
## 4.2 Dinâmica costeira de praias adjacentes a promontórios rochosos

Por definição, promontórios rochosos são feições proeminentes do litoral que adentram em direção ao oceano e que influenciam na dinâmica da região em que se localizam (CLAUDINO-SALES & CARVALHO, 2014). A evolução e formação dos promontórios dependem de parâmetros geológicos e oceanográficos que incluem: i) o equilíbrio da ação e incidência das ondas; ii) os tipos litológicos e sua resistência; e iii) a presença de plataforma que margeie (STUIVER, 2013 *apud* GEORGE *et al.*, 2015). Enquanto isso, o volume sedimentar que se deslocam ao longo da costa, depende da fisiologia do litoral, das características sedimentares da praia e das características e ângulo incidente das ondas que se espalham pela praia (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A disponibilidade sedimentar é o principal fator que controla o equilíbrio dinâmico dos sistemas praias associados a promontórios rochosos (KLEIN *et al.*, 2002). Este equilíbrio pode ser alterado por mudanças de longo prazo no transporte de deriva ou na carga sedimentar oriunda dos rios, seja por processos naturais ou intervenções antrópicas (OLIVEIRA *et al.*, 2017). No modelo conceitual de bypass estabelecido por Short (1999) a circulação da praia foi classificada como "normal", "transitória" ou "celular", sendo esta última referente à circulação dominada em praias limitadas por promontórios.

Os promontórios são determinantes na dinâmica costeira onde ocorrem, controlando a distribuição de sedimentos no litoral, determinando a morfologia das praias a barlar e sotamar e alterando o ângulo de incidência das ondas que atingem a linha de costa (reflexão, refração e difração). Além disso, são importantes indicadores da evolução da linha de costa ao longo do tempo geológico (MAGALHÃES, 2015; RIJN, 2010 *apud* GEORGE *et al.*, 2015). O promontório bloqueia parcialmente o sedimento carregado pela deriva litorânea provocando o acúmulo sedimentar a barlar da feição (SILVA *et al.*, 2016). Dessa maneira, controla o equilíbrio sedimentar configurando processos erosivos ou progradantes de acordo com a relação com o barramento das ondas e da deriva litorânea (Figura 6). Além disso, o *bypass* sedimentar é outro fator que contribui para o aporte de material nas praias situadas a sotamar dos promontórios (MAGALHÃES, 2015).

Figura 6: Modelo conceitual do transporte no sistema praias com presença de promontório.

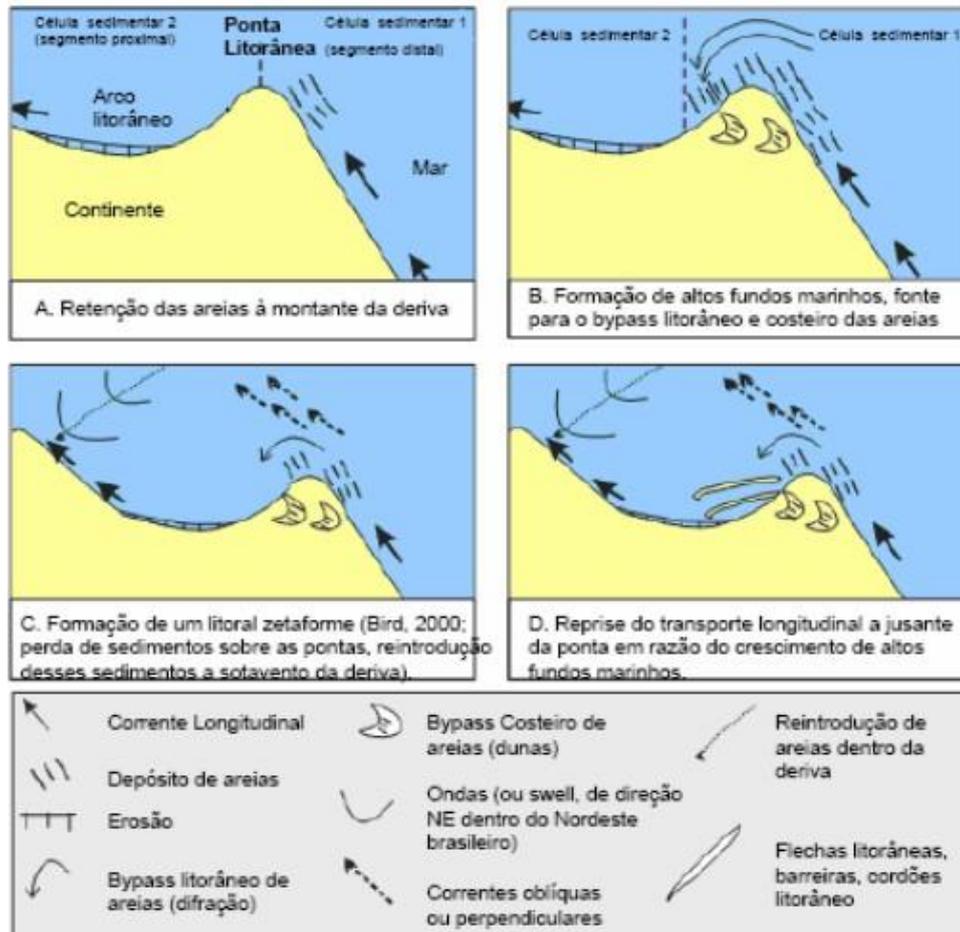


Fonte: Carvalho & Claudino-Sales (2017)

O *bypass* costeiro ocorre quando se tem a formação de dunas costeiras com as areias interceptadas a barlar dos promontórios rochosos (CLAUDINO-SALES, 2005). Com o decorrer do tempo, as areias depositadas conseguem transpor o obstáculo, se inicia então, o *bypass* litorâneo que ocorre devido a ação das correntes litorâneas. Os dois processos são responsáveis por minimizar a erosão em sistemas praias adjacentes a promontórios rochosos (PINHEIRO, 2009). Onde, ao mesmo tempo em que os promontórios interrompem o *bypass*, eles atuam de forma contrária no *bypass* continental por induzirem a migração de dunas transgressivas que atravessam a zona costeira cruzando essas feições (PINHEIRO, 2009) (Figura 7).

As linhas de costa associadas aos sistemas praias associados a promontórios costumam evoluir com o decorrer do tempo, com uma forma que pode ser interpretada como estável por se adaptarem às condições de incidência das ondas e dos ventos, interagindo dinamicamente com essas forçantes. No entanto, qualquer mudança mais intensa na dinâmica litorânea pode ocasionar um desequilíbrio no sistema adjacente, o que transforma esse tipo de litoral em um sistema costeiro frágil (CARVALHO & CLAUDINO-SALES, 2017).

Figura 7: Desenho esquemático do processo de transpasse sedimentar ao longo de obstáculos como pontas litorâneas.



Fonte: Pinheiro (2009)

No Ceará, Claudino-Sales (2014) identificou 19 praias associadas a promontórios rochosos ao longo do litoral que representam diferentes tipos de pontas litorâneas com suas respectivas magnitudes de aporte sedimentar e transporte. Dentre elas se tem o promontório de Jericoacoara, Paracuru, Flecheiras, Fortaleza e Pontal de Maceió.

Em Jericoacoara, a praia segue a dinâmica associada ao promontório em que se tem grande quantidade de areias acumuladas a barlamar. A magnitude do bypass é significativo devido às dimensões e volume das dunas e campos dunares que tem até 50 m de altura e 600 m de extensão atravessando em alguns setores todo o promontório (CLAUDINO-SALES, 2014). Assim, a sotamar do promontório predomina acresção de até 30 km da faixa praial que resultou na formação de um grande esporão arenoso. Em Paracuru também ocorre acumulação de sedimentos na praia a barlamar que é limitada por um extenso campo de

dunas. Essa dinâmica natural causa erosão na praia a sotamar em função do desequilíbrio sedimentar (MAGALHÃES, 2015).

### **4.3 Linha de costa: conceitos e indicadores de posição**

A linha de costa pode ser definida como a feição que forma o limite entre a terra e o mar (DOLAN *et al.*, 1978; MUEHE & KLUMB-OLIVEIRA, 2014). Essa feição geomorfológica se caracteriza pela variabilidade de posição em ajustamento às variações do prisma praial e das oscilações do nível do mar, em escalas e intensidades que dependem da magnitude espaço-temporal dos processos (MUEHE, 2011). A linha de costa está sujeita a contínuas modificações, e este comportamento variável pode não seguir um padrão na escala temporal, apresentando variações em escalas de dias, décadas ou séculos (WHITE, 2007).

O ajustamento de uma linha de costa depende das características geomorfológicas e petrográficas que associadas a elevação do nível do mar ocorrem de forma diferenciada em costões rochosos, praias arenosas e falésias sedimentares; áreas baixas frequentemente ocupadas por manguezais ou marismas. Associado as condições oceanográficas como incidência das ondas, marés e correntes que alteram esse ajuste. A elevação do nível do mar e mudanças na disponibilidade sedimentar controlam diretamente a variação espacial da linha de costa em longo prazo (FENSTER *et al.*, 2001). Enquanto que a ocorrência de eventos extremos e de alta energia como as tempestades e marés equinociais são responsáveis por mudanças bruscas na linha de costa em curto prazo (HONEYCUTT *et al.*, 2001). Os variados fatores que influenciam na posição da linha de costa justificam a afirmação de que a definição da linha de costa é simples, porém a sua delimitação é complexa (BOAK & TURNER, 2005; DAN *et al.*, 2012).

Os geoindicadores caracterizam as feições utilizadas para representar a posição da linha de costa considerando as alterações de curto e longo prazo (Figura 8). Entre alguns indicadores já definidos, se tem a base da escarpa de dunas frontais e obras de contenção a exemplo de enrocamentos ou batentes que compõem as frentes marítimas urbanizadas. Outro indicador considerado é alinha de maré alta que se refere à marca deixada pela água no espriamento das ondas na areia, onde esse indicador exige maior cuidado na interpretação para a observação da feição. Por ultimo, se tem o nível médio da maré alta que usa como referência a interseção entre o perfil de praia e o datum altimétrico adotado (BOAK & TURNER, 2005; QUEIROZ *et al.*, 2016).

Figura 8: Indicadores da posição da linha de costa destacados por Boak e Turner (2005) e Toldo Jr. e Almeida (2003). Adaptada de Boak e Turner (2005).



Fonte: Scheweitzer (2013)

O monitoramento da linha de costa apresenta limitações devido à dificuldade em acompanhar sua dinâmica e instabilidade no curto e longo prazo (dia, meses, anos, décadas e séculos) (QUINTELA *et al.*, 2014). Entretanto, é permanente a necessidade de obtenção de dados atualizados da variabilidade da linha de costa. Apenas assim, são construídos subsídios para um bom planejamento costeiro, principalmente, em áreas de intensa ocupação e urbanização. De acordo com Moura (2012), os estudos relacionados à caracterização dos processos erosivos são efetuados por meios de dois métodos propostos por Souza *et al.* (2005) e Mallmann (2008) sendo esses:

1. Métodos diretos: o monitoramento das praias é feito através do levantamento de perfis topográficos. Com os seus resultados é possível caracterizar a morfologia da praia, sedimentos e integrar dados meteo-oceanográficos

diretos ou indiretos. Através desse método pode ser feita a análise comparativa das variações da linha de costa e do volume de sedimentos entre os perfis e calcular os déficits e os ganhos do balanço sedimentar de cada perfil.

2. Métodos indiretos: São geralmente utilizados para caracterização de eventos de erosão costeira de longo prazo. Onde, o cálculo de taxas de retração ou retrogradação da linha de costa (metros/ano) é feito baseado em análises de fotografias aéreas, imagens de satélite e mapas topográficos e batimétricos, com o objetivo de mapear as variações da linha de costa. Esse monitoramento da linha de costa também pode ser realizado utilizando um GPS (Sistema de Posicionamento Global).

No monitoramento das alterações de linha de costa é necessário conhecer a dinâmica da região e de forma efetiva a extensão da área a ser estudada. E em segundo lugar, elencar qual o melhor método e qual o melhor equipamento para obtenção de dados na extensão da área. E por último, é delimitar as linhas de referências para análise comparativa dos resultados, como por exemplo, calcular taxas de recuo ou de progradação com segurança (QUINTELA et al., 2014). Ainda de acordo com a autora, de um modo geral, as técnicas de geoprocessamento muito têm favorecido para traçar a evolução da linha de costa, e dessa forma, calcular taxas de recuo. Alguns métodos e equipamentos utilizados são levantamento por posicionamento absoluto com Sistema de Posicionamento Global (GPS), levantamento por método de caminhamento por poligonal fechada e levantamento por posicionamento relativo (Quadro 1).

Quadro 1: Vantagens e desvantagens com os métodos e equipamentos aplicados no estudo de morfológico da linha de costa.

Métodos	Equipamentos/Acessórios Topográficos	Vantagens	Desvantagens
<b>Caminhamento por Poligonal Fechada</b>	Estação Total Tripé de alumínio Prisma	Média a alta precisão Baixo Custo Dados são armazenados Determinação de erro Levantamento de dados moderado a rápido	Susceptível a cometer erros de medições. Considera a superfície da terra como plano topográfico. Visualização dos dados após processamento.
<b>Posicionamento Relativo</b>	Receptor RTK (base e rover) Tripé de alumínio; Bastão do rover com nível de cantoneira	Alta precisão; Alto custo; Dados são armazenados; Levantamento de moderado a rápido; Determinação do erro É possível aplicar triangulação a partir da RBMC.	Susceptível a cometer erros de medições. Considera a superfície da terra como elipsóide; Visualização dos dados após processamento.
<b>Posicionamento Absoluto</b>	Receptor GPS	Baixa precisão; Médio custo; Levantamento de moderado a rápido. Não foi possível determinar o erro.	Susceptível a cometer erros de medições; Considera a superfície da terra como elipsóide.
Fonte: Quintela <i>et al.</i> , 2014			

Diversos métodos (comparação cartográfica, medições diretas em fotografia aérea vertical, medições periódicas no terreno, técnicas fotogramétricas, utilização de imagens de satélite etc.) para se determinar as taxas de recuo da linha de costa vem sendo utilizados desde a segunda metade do século passado, visando como resultado final, à obtenção de previsões dinâmicas do comportamento da linha de costa (CALHAGHAN *et al.*, 2009).

O geoprocessamento se tornou uma ferramenta amplamente utilizada pela comunidade científica em virtude do alto grau de confiabilidade dos resultados obtidos e do baixo custo envolvidos na aquisição de dados. (FARIAS, 2010). Devido à importância da utilização de produtos de sensoriamento remoto no estudo das alterações temporais da linha de costa, pelo registro instantâneo de configurações da costa situadas em uma escala de tempo, é cada vez maior o desenvolvimento de pacotes de software de interpretação automática dos dados referentes à posição da linha de costa, com base em produtos de sensoriamento remoto conjugando o tratamento de imagens digitais com programas de vetorização, controle de

campo e estatística (FARIAS, 2008).

Ainda de acordo com Farias (2008), se tem a utilização do DSAS (THIELER & DANFORTH, 1994) como exemplo que além de quantificar as variações da posição da linha de costa desenvolve um método de analisar e quantificar as taxas de variação a partir de uma série de dados, constituindo-se numa ferramenta efetiva e econômica na coleta de dados necessários para monitorar os fenômenos costeiros, especialmente em países de grande tamanho, como o Brasil.

#### **4.4 Processos erosivos: marcas do avanço do mar no litoral cearense**

A erosão costeira é o conjunto de processos de remoção de material da praia maior do que o depositado, devido a alteração do equilíbrio dinâmico original, sendo um dos principais problemas no mundo todo em relação a preservação do solo (ALFREDINI, 2005; MOURA, 2012). Em uma praia, mais suscetível ao transporte, a perda de areia em um setor (erosão) tende a ser compensada pelo acúmulo (progradação) em outra, para se manter o equilíbrio do prisma praial (MOURA, 2012). A erosão costeira acontece decorrente de diversos processos e fenômenos que podem ser atribuídos a fatores naturais e antrópicos (Quadro 2). Em geral, ambos acontecem de forma intrínseca o tempo todo, sendo frequentemente difícil identificar quais são os mais importantes em cada caso, ou mesmo separar a ação individual de cada (DALBOSCO, 2013).

O entendimento de que o litoral é um ambiente altamente dinâmico ficam evidentes à medida que aumenta a ocupação da zona costeira, onde os efeitos da erosão que eram ignorados por não afetarem a sociedade passam a ser vistos como fator de risco, implicando em questões econômicas e sociais (MUEHE, 2011).

Quadro 2: Balanço sedimentar de uma praia. Adaptado de Souza (1997).

<b>Suprimento de sedimentos para a praia</b>	<b>Perda de sedimentos para a praia</b>	<b>Balanço</b>
<b>Provenientes dos rios e canais de marés</b>	Transportados rumo ao continente, para os rios e canais de maré	Processos deposicionais e erosivos no sistema praial, em equilíbrio
<b>Provenientes de costões rochosos, praias e depósitos marinhos frontais</b>	Transportados ao longo da praia (correntes de deriva litorânea)	
<b>Provenientes da plataforma continental (correntes geradas por ondas e marés)</b>	Transportados para a plataforma continental (correntes de retorno e de costa-afora)	
<b>Provenientes das dunas (transportadas pelo vento e ondas de tempestades)</b>	Removidos para as dunas (ventos e ondas de tempestades)	
<b>Alimentação artificial da praia (Contribuição antrópica)</b>	Extração/Mineração de areias da praia e de desembocaduras	
<b>Aumento do volume de sedimentos produzidos no continente na plataforma continental (causas naturais e antrópicas)</b>	Redução do volume de sedimentos produzidos no continente na plataforma continental (causas naturais e antrópicas)	
Fonte: Moura (2012)		

Atualmente, quando se analisa variação da linha de costa do Brasil, em algumas regiões, inclusive a região Nordeste, tem exibido uma tendência de longo prazo de erosão costeira, evidenciando o recuo da linha de costa (MUEHE, 2006). Além dessas tendências, existem fenômenos de menor escala temporal que também influenciam nesse processo como: dinâmica e desembocaduras fluviais, canais de maré, interceptação dos sedimentos por pontais arenosos e atividade eólica. Existem também eventos de alta energia que atuam em escala temporal mais curta, como dias ou horas, tais como a entrada de frentes frias que ocasionam *storm surges*, que por sua vez ocorrem em adição as tendências de menor escala temporal (FARIAS, 2008).

Os eventos de alta energia resultam na sobre-elevação da parcela d'água, aumento de energia nos processos de *overwash* e consequente remobilização de um volume sedimentar

considerável, sendo comumente chamadas de ressacas. As ressacas no estado do Ceará podem ser definidas pela chegada no litoral de ondas do tipo swell que viajam desde o Hemisfério Norte e possuem alturas elevadas (MAIA, 2006 *apud* FARIAS, 2008). Durante esses períodos, essas ondas atingem a costa com grande intensidade, originando galgamentos oceânicos que induzem mudanças morfológicas muito bruscas nas praias arenosas, tais como a destruição rápida de dunas e o recuo acentuado das falésias arenosas (processos erosivos) (RODRIGUES, 2009; LIMA, 2012).

No Ceará, a sedimentação costeira se deve principalmente à erosão natural das falésias do litoral leste e das praias, dado o caráter intermitente da maioria dos rios e a baixa energia de suas desembocaduras (CLAUDINO-SALES, 2005). Este aspecto determina as baixas taxas de transporte e de deposição no litoral de materiais de origem fluvial. Os sedimentos carregados pela deriva litorânea podem ser interceptados por promontórios rochosos ou rios de maior energia (que funcionam como molhes hidráulicos) que interrompem o bypass sedimentar. No Estado do Ceará, os processos erosivos na costa apresentam-se com velocidades e intensidades bem diferentes uma das outras, com taxas médias variando de 0,05 m/ano a 5 m/ano (MORAIS *et al.*, 2006).

A faixa de praia da região metropolitana de Fortaleza sofreu processos erosivos e progradantes durante as últimas décadas (MORAIS, 1980) com implicação direta na construção do Porto do Mucuripe, e todos os quebra-mares colocados ao longo do litoral norte de Fortaleza (Figura 9). Moraes (1993) destaca a construção de dois molhes costeiros para manter as condições portuárias e interceptarem a deriva litorânea a sotamar. Estudo de Maia (1998) expôs um montante sedimentar barrado de aproximadamente 860.000 m<sup>3</sup>/ano. No entanto, parte do material consegue transpor os molhes e se acumular dentro da área do porto, modelando novas praias e exigindo recorrentes dragagens (CLAUDINO-SALES, 2014). Além da interrupção do bypass litorâneo, a obstrução completa da planície de deflação eólica que interliga a Praia do Futuro e Beira Mar por construções realizadas durante as últimas décadas provocou o colapso do abastecimento sedimentar das praias localizadas no litoral oeste do município de Fortaleza (MAIA, 1998).

Figura 9: Série de espigões construídos na área do Hotel Marina Park em Fortaleza, CE.



Fonte: Morais *et al.*, (2006)

Atualmente, em toda a extensão do litoral da região metropolitana de Fortaleza há focos de erosão costeira, sendo os principais localizados nas praias da Caponga (Cascavel), do Iguape (Aquiraz), do Icaraí (Caucaia) e da Taíba (São Gonçalo do Amarante) (MEIRELES, 2008; MORAIS *et al.*, 2006; MEDEIROS *et al.*, 2014; PAULA *et al.*, 2014; MOURA, 2012). Nessas praias, o avanço do mar tem derrubado muros de empreendimentos (casas, hotéis e pousadas), estradas, barracas de praia e infraestruturas urbanas (postes de iluminação). No intuito de defender as construções do avanço do mar, diversas estruturas de proteção foram construídas, entretanto a eficiência de cada uma é bastante discutida e controversa. No Icaraí, em 2011, foi construída uma estrutura rígida do tipo Bagwall, que, em até 2015 já havia apresentado diversas falhas, até chegar ao seu colapso e, com isso, potencializando o problema de erosão na costa (Figura 10).

Figura 10: A) Trecho costeiro do Icaraí sob Erosão em Fevereiro de 2015; B) Setas indicam os degraus do Bagwall que foram destruídos pela ação de agitação marítima local em Fevereiro/2015.



Fonte: Moura (2012)

Segundo Moraes *et al.* (2008), na praia de Pontal do Maceió, Fortim, o processo erosivo foi responsável pelo recuo de aproximadamente 200 m da linha de costa entre os anos de 1988 e 2000 (Figura 11). Isso ocasionou a subida do mar em direção da vila de pescadores, destruindo nas marés de sizígia, as casas, barracas, estradas e locais para atracação de jangadas. Devido a ocupação ser de baixa densidade, foi feito o recuo de 150 m da primeira linha de urbanização no ano de 2001. Contudo, mesmo com esse recuo o processo erosivo não foi contido (MORAIS *et al.*, 2011).

Figura 11: Destruição de barracas e de vias de acesso da Praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará em 2000.



Fonte: Moraes *et al.* (2011)

Também no litoral Leste do Ceará, está inserida a praia da Caponga que está sofrendo com a erosão devido a ocupação inadequada de áreas de dunas, terraços e muitas áreas de pós-praia, que funcionavam como fontes sedimentares para a praia. Ainda houve a retirada de areias provenientes de dunas e de afloramentos rochosos para uso na construção civil, ocasionando um desequilíbrio sedimentar na praia. Assim, a praia se encontra degradada e com uma série de danos físicos causando perda econômica para a comunidade local e declínio do turismo. A praia passou por uma sequência de obras de intervenção, sendo a primeira a construção de um *sea wall* em frente ao centro urbano da Caponga, que não aguentou a energia das ondas e desabou. (MORAIS *et al.*, 2006).

## **5 MATERIAIS E MÉTODO**

A região de estudo foi dividida em dois setores: Setor Oeste, referente a região a esquerda do Promontório rochoso, e o Setor Leste, que é a desembocadura esquerda do Rio Jaguaribe. As etapas de trabalho necessárias para o cumprimento dos objetivos propostos foram as seguintes:

### **5.1 Levantamento bibliográfico, ambientais e cartográficos**

A etapa inicial do levantamento de dados está representada pelos levantamentos bibliográficos, ambientais e cartográficos do litoral de Fortim. Foram consultados artigos nacionais e internacionais no portal de períodos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), Repositórios Institucionais, *Google Scholar*, *Science direct*, *Scielo*, entre outras revistas científicas e livros.

Além dos pontos de monitoramento e amostragem, também foi efetuado o reconhecimento prévio da área de estudo, análise da maré e das condições de tempo. Onde, os dados pluviométricos foram adquiridos através da Estação da Fundação cearense de Meteorologia – FUNCEME e do Instituto de Pesquisas espaciais – INPE para a estação pluviométrica de Aracati dos anos de 1976 – Outubro/2017. Os dados de vazão da barragem de Peixe Gordo, localizada no município de Limoeiro do Norte foram adquiridos através do Hidroweb do Portal da Agência Nacional das águas (ANA) desde 1973 até Julho de 2017. Os dados de onda contendo altura, direção e período entre os anos de 2004 - 2017 foram obtidos através do modelo de previsão *WaveWatchIII* disponibilizado pelo Centro de Previsão de

Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). E as imagens de satélite foram adquiridas através da SEMACE e do *Geocatalog* do Ministério do Meio Ambiente.

## 5.2 Aquisição de dados

Os experimentos de campo foram realizados durante o período chuvoso (27 de abril/2017), de estiagem (05 de agosto/2017) e após o equinócio de primavera (08 de Outubro/2017). A aquisição dos dados ocorreu durante as marés de sizígia totalizando a cada experimento 6 horas efetivas de observação em campo. Os dados de maré foram consultados através do portal on-line da tábua de maré da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). Foram coletados dados de:

- i) Posicionamento da linha de costa (limite da preamar máxima) na praia de Pontal do Maceió através de caminhamento com RTK,
- ii) Sedimento para posterior análise em laboratório: Matéria orgânica (M.O.), Carbono orgânico, Carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e Granulometria;
- iii) Perfis praias para monitoramento da morfodinâmica praial por meio de nivelamento topográfico com estação total e RTK.

### 5.2.1 Perfis morfodinâmicos

O registro dos perfis topográficos na praia tomados no mesmo local ao longo do tempo documenta as variações na posição da linha de costa, erosão ou deposição costeira, através das mudanças no volume da praia. Então, a variação sazonal da morfologia de praia foi obtida pela realização de perfis topográficos abrangendo desde o início da pós praia até a região entremarés, em baixa-mar de sizígia. O levantamento foi realizado de modo direto, consistindo em 4 perfis topográficos transversais a linha de costa (Figura 13).

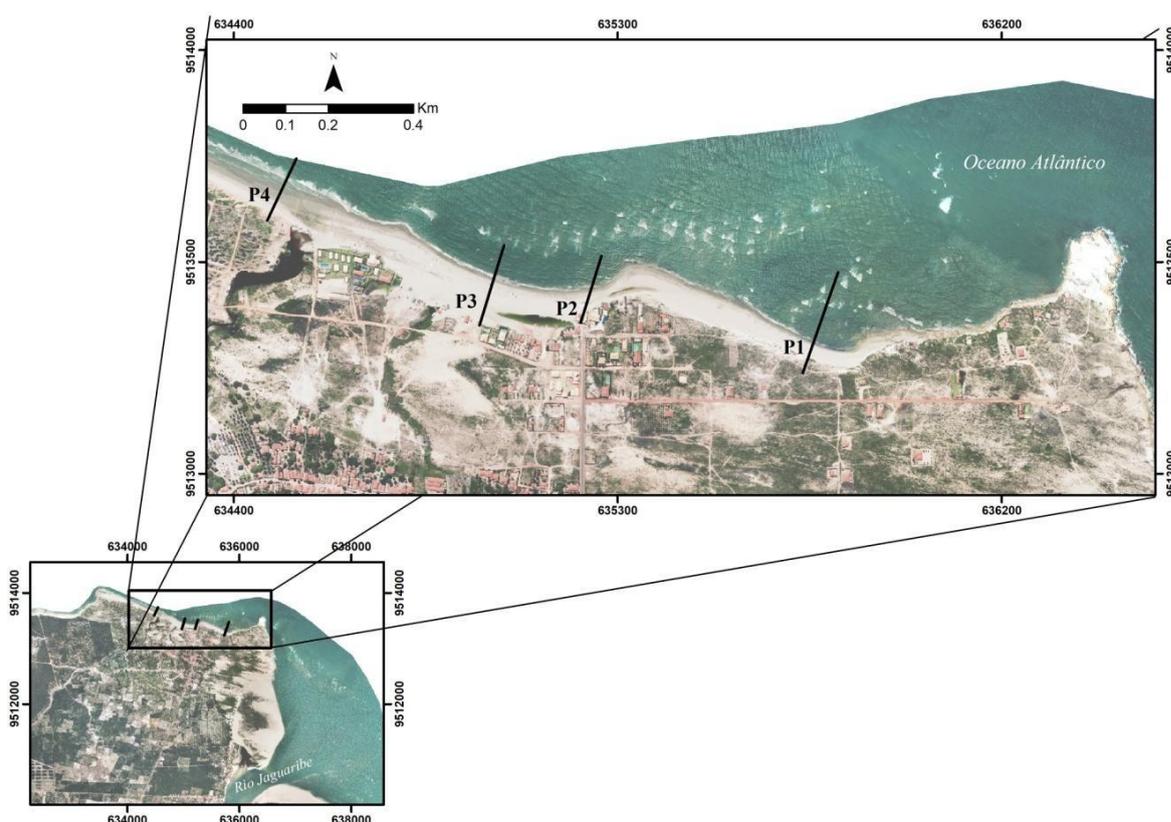
Figura 12: Aquisição dos dados de Perfil com estação total



O setor foi dividido em três segmentos para melhor entendimento: i) segmento distal, associada a um corpo hídrico com conexão sazonal com o mar; ii) segmento central, localizado na frente urbana de Pontal de Maceió; e iii) segmento proximal, situados em área mais próxima ao promontório.

Figura 13: Localização dos perfis de praia realizados no setor oeste da Praia de Pontal do Maceió, Fortim e dos segmentos para posterior discussão.

P1: Perfil 1, P2: Perfil 2. P3: Perfil 3 e P4: Perfil 4.



Fonte: Autora (2017)

Foi utilizado uma estação total do Laboratório de Oceanografia Geológica - LOG, com precisão angular de 6" e precisão linear de 2mm + 2ppm, tripé de alumínio e prisma acoplado nível de cantoneira e o RTK6 com precisão vertical de 15 mm também foi utilizado na coleta. O eixo vertical do equipamento foi estacionado e nivelado com o auxílio do nível de bolha circular. Em seguida, iniciou-se o levantamento posicionando o prisma sobre as marcações considerando as variações morfológicas do terreno. Amostras de sedimento foram coletadas durante as atividades de campo: sendo coletada na pós praia, estirâncio e antepraia sempre referentes aos perfis de praia. Totalizando 36 amostras.

### 5.2.1 Delimitação da linha de costa

As técnicas de posicionamento utilizando o *Global Navigation Satellite System* (GNSS) para obter soluções geodésicas, vêm sendo utilizadas desde 1983 (QUINTELA, 2014). Foi utilizado um RTK 6 da marca Trimble para o levantamento geodésico por posicionamento relativo que consiste na obtenção das coordenadas (x, y) com precisão milimétrica (Figura 15). Primeiramente, a base do equipamento foi estacionada e nivelada. Como o equipamento foi colocado em um posto de coordenadas desconhecidas foi necessário respeitar o tempo mínimo de rastreamento da base (30 minutos). Através da coletora foi possível configurar o equipamento, informar a altura da antena e obter uma coordenada provisória no módulo de navegação. Posteriormente, o *Rover* foi configurado no modo cinemático de pós-processamento (Precisão horizontal de 8 mm e precisão vertical de 15 mm) e iniciado o levantamento de dados para traçar a linha de costa, onde se caminhava em torno de 1,5m e se coletava um ponto ou dependendo das variações da linha de costa na área.

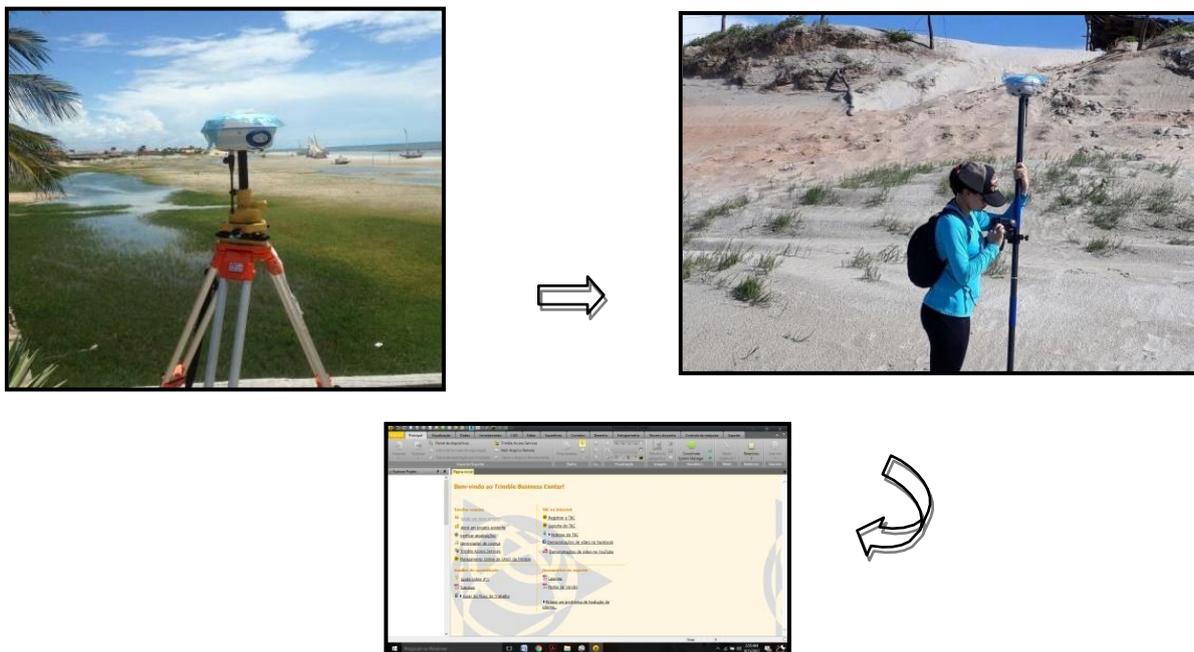
A delimitação da linha de costa em campo foi efetuada através do critério de linha de preamar média (LPM) com a determinação pela linha de sedimentos secos e sedimentos molhados (Figura 14). Além da base de dunas frontais e escarpas.

Figura 14: Linha de sedimentos secos e sedimentos molhados na Praia de Pontal do Maceió, Fortim.



Fonte: Autores (2017)

Figura 15: Aquisição dos dados do RTK e posterior processamento no software Trimble



### 5.3 Etapa de laboratório

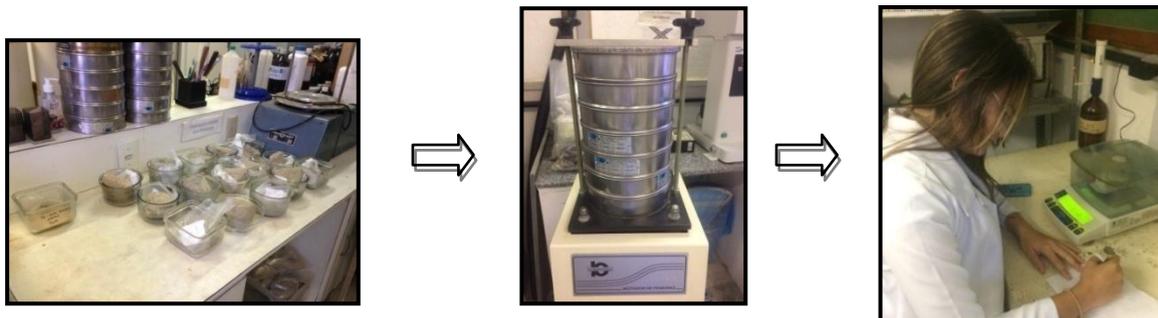
As etapas de laboratório consistiram na análise granulométrica e de Carbonato de cálcio no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG) do Instituto de Ciências do mar – Labomar/UFC, e a análise de Carbono Orgânico e Matéria Orgânica no Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica da Universidade estadual do Ceará (UECE).

#### 5.3.1 Análise granulométrica

De acordo com a metodologia proposta por Suguio (1973), a granulometria proporciona a caracterização dos sedimentos quanto ao ambiente de sedimentação, origem do material e o tipo de transporte. Foi utilizado 100g de sedimento para cada ponto de amostragem, seguido pelo processo de quarteamento, inicialmente, se realizou o peneiramento úmido, para se separar a fração mais fina e retirar o sal. Primeiro, lavou-se a amostra bruta (100g) em uma peneira com abertura igual a 0,062 mm sob água corrente, em seguida as amostras são levadas para a estufa. O peso do material lavado foi determinado pela diferença entre o peso inicial das amostras e o somatório de todas as outras classes obtidas durante o próximo passo: a granulometria seca.

A granulometria seca é realizada colocando a amostra em um jogo de 11 peneiras com variação de malhas com aberturas que contemplam desde frações mais grossas (peneira com 2,83 mm de abertura) até à classe mais fina do peneiramento (peneira com 0,062 mm). O processo de selecionamento ocorre com o auxílio de um agitador mecânico (*rot-up*). O material retido em cada peneira é então pesado e anotado (Figura 16).

Figura 16: Algumas etapas do procedimento de Análise granulométrica no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG).



Fonte: Autora (2017)

#### 5.3.1.1 Parâmetros estatísticos Granulométricos

Os valores obtidos na granulometria foram inseridos no software SAG - Sistema de Análise Granulométrica onde foram obtidos os parâmetros estatísticos como grau de assimetria, grau de curtose e grau de selecionamento e a classificações quanto a *percentis*, frequência, e de acordo com Folk e Larssonneur.

#### 5.3.2 Carbono Orgânico e Matéria Orgânica

A matéria orgânica é determinada por métodos indiretos, usando combustão por via úmida ou por via seca, medindo-se a extensão da redução de um agente oxidante forte. O método utilizado consta da modificação do método clássico de Walkley & Black (1934). Esse método se baseia no princípio da oxidação da matéria orgânica do solo com solução de dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico, utilizando como catalisador de oxirredução calor despreendido na diluição do ácido sulfúrico e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal.

Primeiro se preparou os reagentes e as soluções que seriam utilizados, em seguida se transferiu 1g da amostra para um erlenmeyer de 500ml, e foi adicionado com um bureta, 10 ml da solução de dicromato de potássio 1N e, imediatamente a seguir, 20ml de ácido sulfúrico concentrado. Foi deixado em suspensão em repouso por 30 minutos e em seguida adicionado 200ml de água destilada, 10ml de ácido ortofosfórico concentrado e oito gotas de difenilamina 1%. Por último, se fez a titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal, até a viragem de azul para verde. O procedimento é realizado com 10 mL de solução de dicromato para obter o título da solução de sulfato ferroso amoniacal. Então, encontra-se o fator:

$$f = \frac{10 \times 1}{V_1 \times 0,5}$$

Onde:

$V_1$  = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação;

E o teor de Matéria Orgânica é calculado através da equação:

$$\% C = 10 - V_2 \times f \times 0,5 \times \frac{0,4}{p}$$

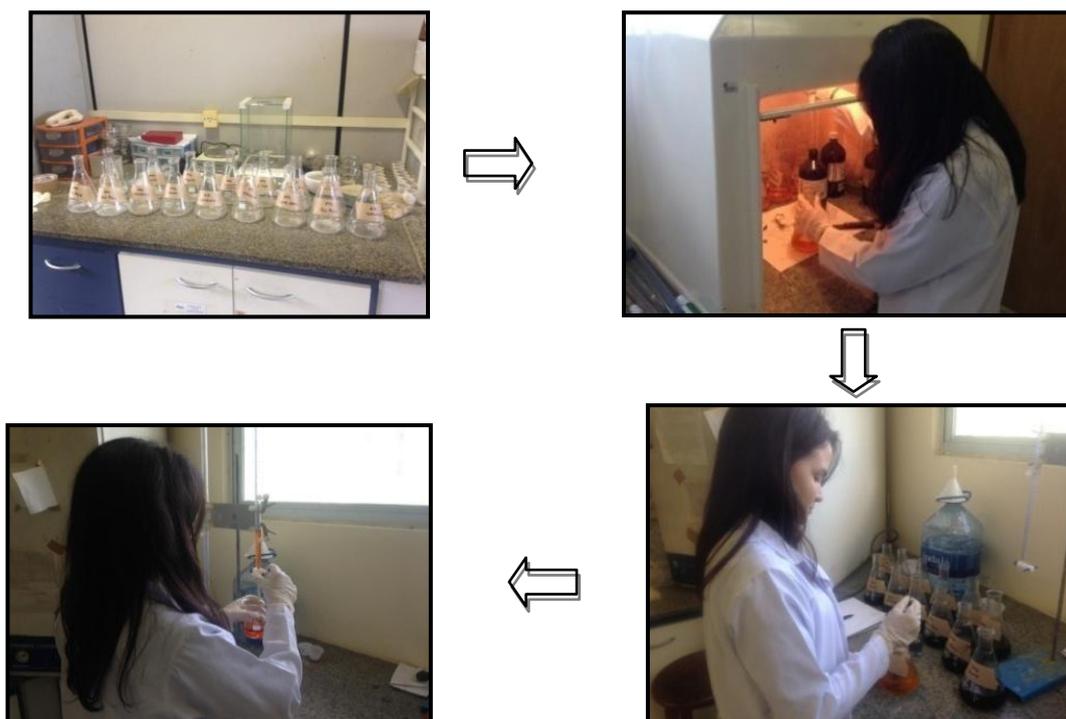
Onde:

$V_2$  = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra;

p = peso da amostra em gramas.

$$\% M. O. = \% C \times 1,725C$$

Figura 17: Procedimento de análise de Carbono orgânico e Matéria Orgânica.



### 5.3.3 Carbonato de Cálcio

Para a determinação do teor de Carbonato de Cálcio, utilizou-se uma modificação do método clássico do calcímetro de Bernard, no qual o teor de carbonato é medido indiretamente, através do volume de uma solução salina deslocado pelo gás carbônico produzido da reação do HCl com o carbonato contido na amostra. No calcímetro de Bernard adicionam-se 35 ml de água salinizada e em seguida acoplou-se cuidadosamente o *kitassato* a essa coluna de água, evitando-se ainda que o HCl atingisse amostra. Ajustou-se o nível de água até que na bureta adequada esse nível alcançasse a marca zero e, finalmente, vagarosamente, entornou-se o *kitassato* para que o HCl contido no tubo de ensaio entrasse em contato com a amostra, para ocorrer a reação que produz o gás carbônico que por sua vez desloca a solução salina a um volume maior que zero ( $V_{\text{padrão}}$ ). Primeiramente 0,5g de uma amostra de  $\text{CaCO}_3$  ( $C_{\text{padrão}}$ ) foram adicionados a um *kitassato*, nos tubos de ensaio acoplados ao kitassato adicionaram-se 2,0 ml de HCl 10%, com cuidado para não atingir a amostra, mediu-se o volume ( $V_{\text{padrão}}$ ) deslocado da solução salina para a amostra „padrão“ que possui uma concentração conhecida de carbonato de cálcio ( $C_{\text{padrão}}$ ).

As amostras em estudo foram, em seguida, submetidas aos mesmos passos analíticos acima descritos para se determinar o seu teor de carbonato de cálcio. O percentual de carbonato de cálcio na amostra é medido indiretamente através da equação abaixo:

$$\% \text{ CaCO}_3 = \frac{V_{\text{amostra}} \times C_{\text{padrão}}}{V_{\text{padrão}}}$$

Onde:

$V_{\text{amostra}}$  = é volume da solução salina deslocado pelo gás carbônico produzido; da reação do HCl com o carbonato contido na amostra;

$C_{\text{padrão}}$  = é a concentração padrão da amostra a 99 % de  $\text{CaCO}_3$ ;

$V_{\text{padrão}}$  = corresponde ao volume de solução salina deslocado pela amostra padrão.

Figura 18: Procedimento de análise de Carbonato de Cálcio.



Fonte: Autora (2017)

## 5.4 Etapa de gabinete

### 5.4.1 Análise da variação da linha de costa

O processamento das imagens se dividiu em quatro etapas: estabelecimento de pontos de referência, georreferenciamento, vetorização das linhas de costa, e integração dos dados em ambiente SIG. A seleção de imagens feitas para esse trabalho foi baseada na disponibilidade de imagens de satélite na área e em seguida, de acordo com as características ambientais como eventos de estiagem e grandes chuvas (Tabela 1).

Tabela 1: Especificações das Imagens de satélite e fotografias aéreas adquiridas

Ano	Mês	Tipo de material	Resolução espacial	Satélite/Fornecedor
2004	Fevereiro	Imagem de satélite	0,6 m	Quickbird
2008	Setembro	Imagem de satélite	5m	Rapideye/MMA
2011	Outubro	Imagem de satélite	5m	Rapideye/MMA
2012	Outubro	Imagem de satélite	5m	Rapideye/MMA
2013	Agosto	Fotografia aérea	0,6 m	Quickbird
2014	Junho	Fotografia aérea	0,6 m	Quickbird

Fonte:  
Autora  
(2017)

As fotografias aéreas e as imagens de satélite foram georreferenciadas em ambiente SIG através da utilização de pontos de controle, referenciados ao datum horizontal SIRGAS 2000. Em ambiente SIG, utilizou-se um banco de dados do tipo “Geodatabase” onde foram inseridos a linha de base (baseline), as linhas de costa (shoreline) e os transectos para a determinação das taxas de linha de costa. As linhas de costa foram vetorizadas em formato shapefile. A determinação da variação da linha de costa foi obtida com o auxílio da extensão Digital Shoreline Analysis System – DSAS 3.2 (THIELER *et al.*, 2009), que permite a automatização de grande parte da análise quantitativa da evolução das tendências de erosão e deposição através de uma série estatística de tempo e posições múltiplas da linha de costa.

O procedimento estatístico foi calculado de acordo com os métodos End Point Rate (EPR) e Linear Regression Rate (LRR). O método EPR faz os cálculos de variação dividindo a distância do movimento pelo tempo decorrido entre a linha mais antiga e a mais atual. O método LRR calcula as taxas de recuo de linha de costa através de regressão linear simples, considerando todos os transectos para o cálculo.

Foram efetuadas diferentes análises:

Tabela 2: Análises realizadas através do método DSAS: período, imagens, data, transectos, espaçamento, comprimento e período.

Período	Imagem/dados de campo	Data	Nº de transectos	Espaçamento (m)	Comp. dos transectos	Período analisado (anos)/método
2004 - 2014	QUICKBIRD RAPIDEYE	2004 2008 2010 2011 2012 2013 2014	180	30	165m	10/ EPR <sup>1</sup> e LRR <sup>2</sup>
2004 - 2017	QUICKBIRD RAPIDEYE Dado primário	2004 2008 2010 2011 2012 2013 2014 2017	53	30	165m	13/ EPR <sup>1</sup> e LRR <sup>2</sup>
2017	Dado primário	27/04/2017 08/08/2017 05/10/2017	53	30	165m	1/ NSM <sup>3</sup>

#### 5.4.2 Processamento dos dados topográficos

Os dados da estação de referência (base) do RTK foram pós-processados através do programa *Trimble Business Center* onde a conversão da altura elipsoidal para altura ortométrica foi realizada automaticamente pelo software. Foram utilizadas duas Redes Brasileiras de Monitoramento Contínuo (RBMC), de identificações de CEEU e CEFT localizadas no Eusébio e no Porto do Mucuripe, em Projeção SIRGAS 2000, por método de triangulação foi possível obter as coordenadas UTM e a altitude geométrica da base, utilizada para a correção dos dados de linha de costa. Os dados do RTK foram exportados em formato de tabelas separadas por vírgulas (.csv), o que viabilizou sua organização em planilhas eletrônicas e a inserção dos dados em SIG.

O estudo da variação sazonal do volume de sedimentos permite avaliar o equilíbrio morfológico da praia (GUERRA *et al*, 2015). Dessa forma, foi igualado o tamanho de cada perfil topográficos e efetuado o cálculo do volume sedimentar utilizando o *software Surfer 10* pelo método de geração de grid em m<sup>3</sup>, e assim analisar a ocorrência de erosão ou progradação na área monitorada.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Ciclos erosivos e progradacionais do litoral de Fortim

Na análise dos ciclos erosivos e progradacionais consideraram-se os seguintes condicionantes: i) a influência dos promontórios na dinâmica litorânea na região, seu reflexo a barlar e sotamar; ii) as modificações na praia como reflexo da atuação dos processos costeiros e fluviais; iii) distribuição de sedimentos considerando a alternância entre períodos secos e chuvosos; e iv) a dinâmica erosiva/progradante da linha de costa.

Para tanto, foi considerada a concepção teórica de Yasso (1965) que alude sobre o comportamento das praias a sotamar de promontórios. Nesses trechos costeiros, as ondas sofrem transformações que provocam a sua reflexão e geram localmente a diminuição de sua energia. As ondas ao interagirem com o promontório, também provocam mudanças na sua direção, que, difratadas e refratadas atacam em diferentes seções a linha de costa. A interceptação de sedimentos pelo promontório faz com que as ondas difratadas busquem as areias disponíveis na praia a sotamar para alimentar a deriva litorânea, determinando, portanto, a erosão do litoral localizado na zona de sombra da saliência litorânea

(MAGALHÃES, 2015). Em condições ideais o transpasse deve ser suficiente para suprir o déficit sedimentar repondo os sedimentos retirados pelas ondas e marés, de modo que se mantenha a condição de equilíbrio dinâmico característico da zona litorânea.

Nesse sentido, as condições ambientais da área de estudo foram consideradas com o intuito de subsidiar as discussões que envolvem as modificações de curto e médio prazo da posição da linha de costa e da dinâmica morfosedimentar da praia de Pontal de Maceió. Entre os parâmetros considerados são destacadas séries históricas de ondas, marés, ventos e descarga fluvial, que consubstanciaram as alterações impressas na paisagem litorânea do trecho analisado. Além disso, será considerada a contribuição dos fatores antropogênicos como aspecto relevante no desequilíbrio da dinâmica natural do sistema litorâneo.

### **6.1.1 Setor Oeste**

O Setor oeste se caracteriza pela região da praia banhada pelo Oceano Atlântico. É uma área com maior nível de ocupação, onde se localiza as barracas de praia, hotéis e maior parte das casas de veraneio. A faixa de praia é extensa e possui dunas frontais durante toda a sua extensão.

O setor oeste foi dividido em três segmentos para discussão: i) segmento distal, onde tem-se o aumento da faixa praial e a elevação das dunas frontais, além de apresentar um pequeno corpo hídrico com conexão sazonal com o mar; ii) segmento central, localizado na frente urbana de Pontal de Maceió, apresenta uma inflexão da fisiografia onde se localizam a maior parte das barracas de praia, em adição, foi observado uma área que tem uma pequena inundação sazonal; e iii) segmento proximal, situados em área mais próxima ao promontório.

Os resultados obtidos no setor oeste estão dispostos na figura 19 e no Gráfico 3 no intervalo temporal que varia de 2004 até 2017. Na análise desse intervalo, foi observada uma tendência deposicional, indicada pelos valores da regressão linear simples (LRR) de 1,45 m/ano, com valores máximos de deposição de 5,2 m (método LRR) e 5,7m (método EPR). Caracterizando um aumento médio da faixa de praia de 22 m.

Figura 19: Linhas de costa da Praia de Pontal de Maceió, Fortim no setor oeste nos anos de 2004, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2017.

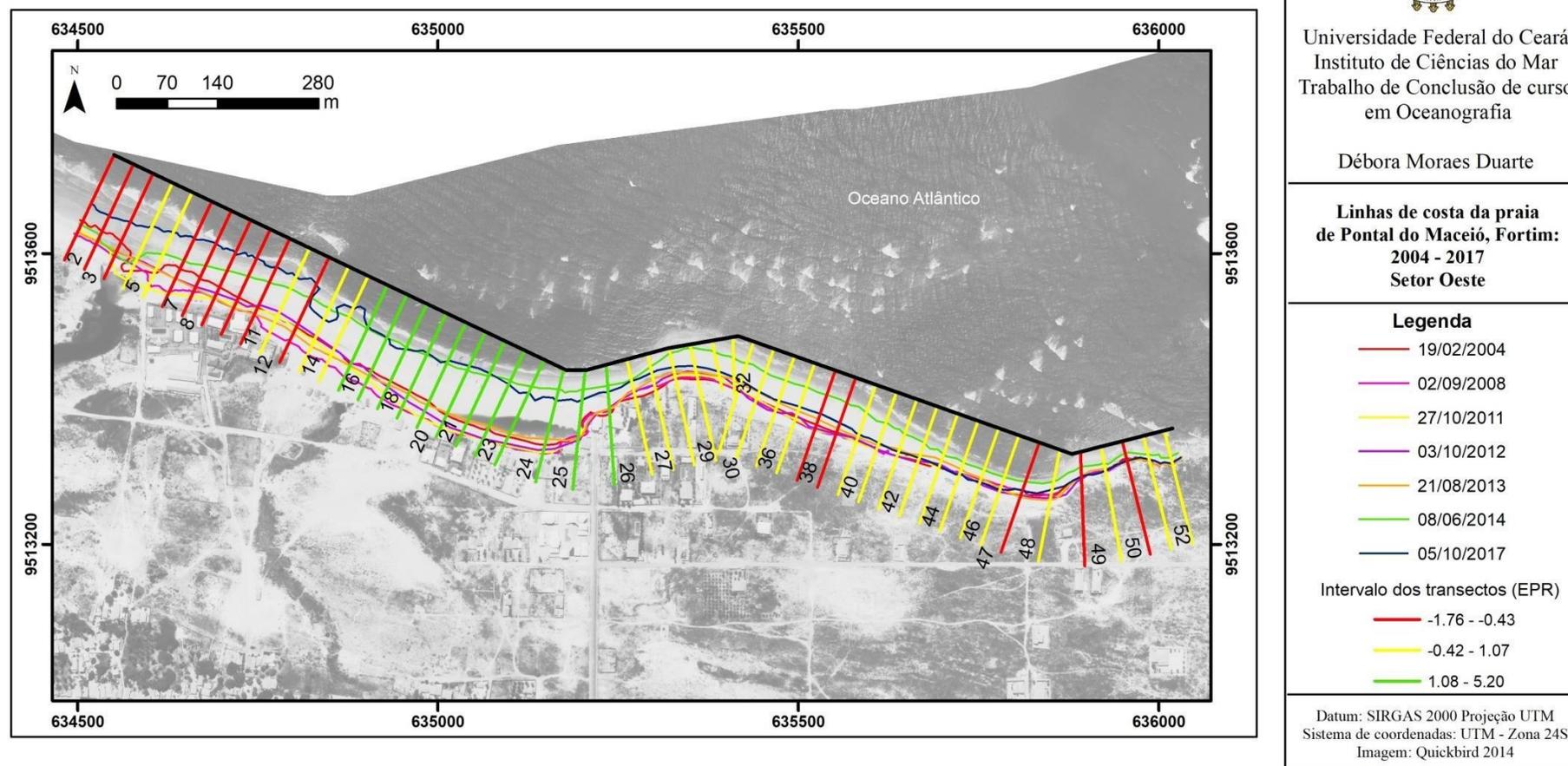
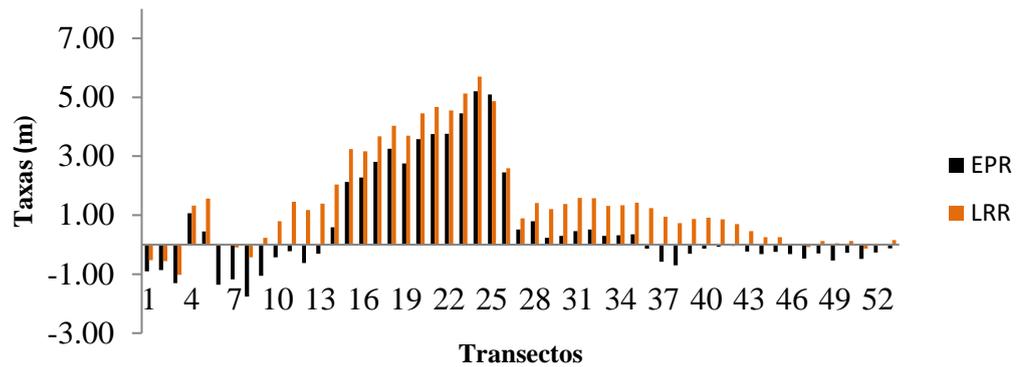


Gráfico 3: Taxas de variação da linha de costa entre os anos de 2004 a 2017.

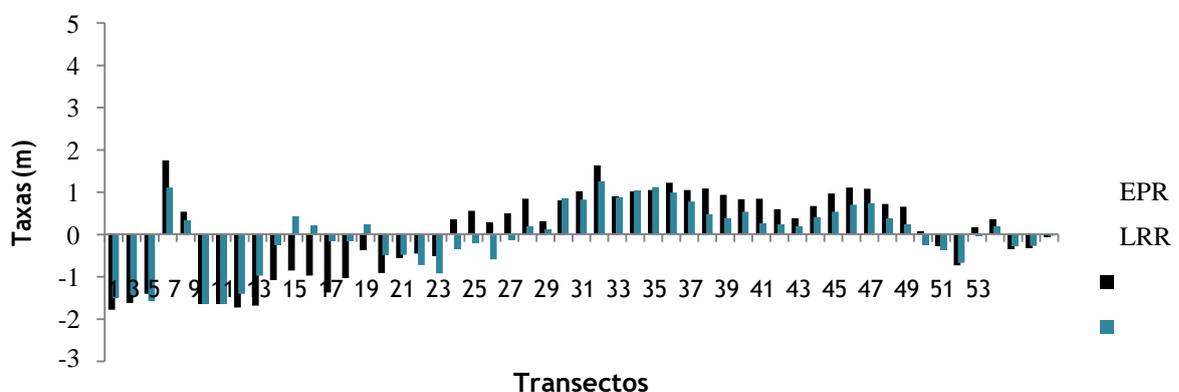


A progradação foi mais significativa entre os transectos 3 e 25, ou seja, após a inflexão localizada no segmento central. Isto ocorre devido a maior distância do promontório e da zona de incidência das ondas refratadas, em conjunto com a inflexão do litoral formam uma zona menos exposta a incidência de ondas. Assim, com a disponibilidade sedimentar acontece maior deposição do que erosão nessas áreas.

Desde 2010, o estado do Ceará se configura por índices de baixa pluviosidade característicos de seca, onde foi observado, com o decorrer dos anos nessas condições, o aumento dos bancos arenosos cada vez mais proeminentes na desembocadura do Rio Jaguaribe (Figura 20). A redução do espigão hidráulico junto a corrente longitudinal pode estar carreando esse material através do Pontal para a praia, onde a progradação pode ser vista a partir de 2013.

Assim, considerando o período de análise entre 2004 – 2013 (Gráfico 4) e 2013 – 2017 (Gráfico 5) é possível distinguir dois diferentes períodos que marcam a alternância de um ciclo erosivo para um progradante. A praia apresentou inicialmente tendência erosiva, sendo revertida a partir de 2013, onde alguns trechos evidenciaram aumento de 15 m/ano.

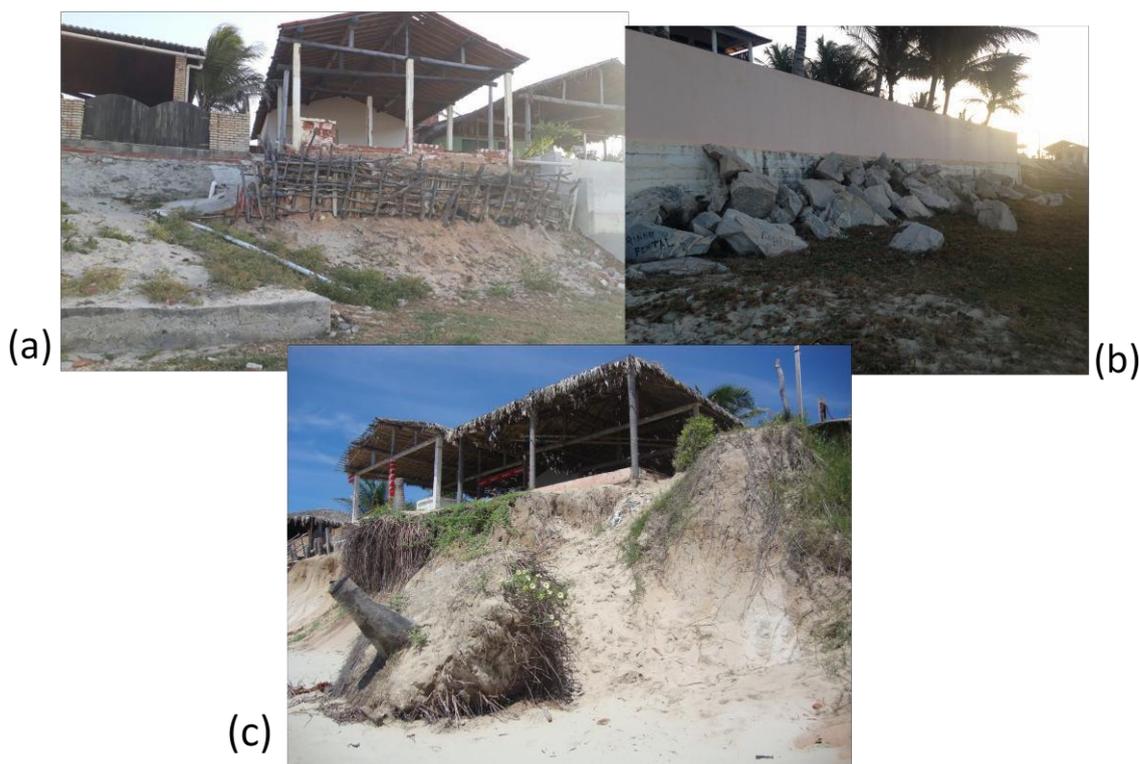
Gráfico 4: Taxas de variação da linha de costa entre os anos de 2004 a 2013.



No período de 2004 a 2013 foi observada uma tendência erosiva, com valor médio de variação da linha de costa na ordem de  $-0.02$  m/ano. Para as taxas de LRR, o valor máximo de erosão foi de  $-1,63$  e de  $-1.78$  m/ano pelo método EPR. Onde o segmento distal foi o que apresentou maior processo erosivo.

Em 2011, o quadro erosivo produziu inúmeros prejuízos as infraestruturas que margeiam o litoral provocando danos a vias de acesso, casas e equipamentos turísticos (e.i. pousadas e barracas de praia). Já a partir de 2013, com o acúmulo de sedimentos e elevação da cota altimétrica da pós-praia, os processos costeiros passaram a atuar cada vez mais distantes das antigas áreas de erosão ativa. A figura 20 C expõe áreas escarpadas que indicam os antigos limites da atuação dos processos costeiros.

Figura 20: (a) e (b) Resquícios de obras de contenção que os moradores instalaram em suas casas para tentar conter o avanço do mar nos anos de acentuado processos erosivos. (c) Área erodida em 2011.



A partir de 2013 iniciou-se de forma efetiva a deposição de sedimentos na praia com taxas que variaram de  $12$  a  $17$  m/ano. Esses valores refletiram na conseqüente progradação da frente marítima urbana da vila de Pontal de Maceió resultando no alargamento da faixa de praia. Nos demais setores prevaleceu a tendência erosiva de linha de costa com taxas na

ordem de  $-1.02$  m/ano, segundo as taxas do método LRR. A progradação defronte a vila de Pontal de Maceió reduziu o risco de inundações costeiras e a preservação das infraestruturas ali instaladas ( Figura 21)

Gráfico 5: Taxas de variação da linha de costa entre os anos 2013 a 2017.

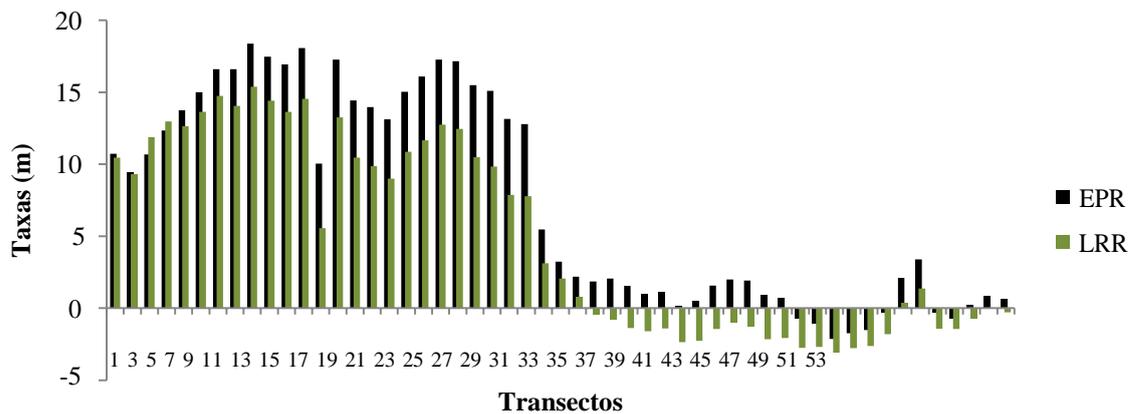
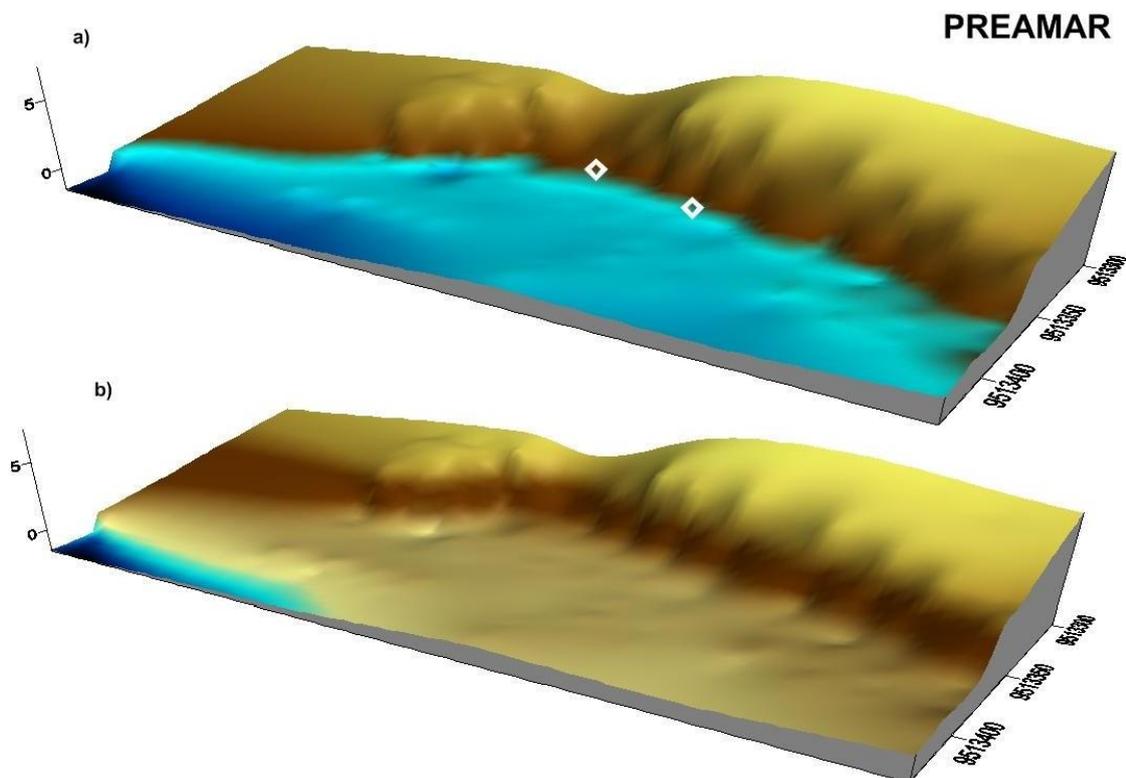


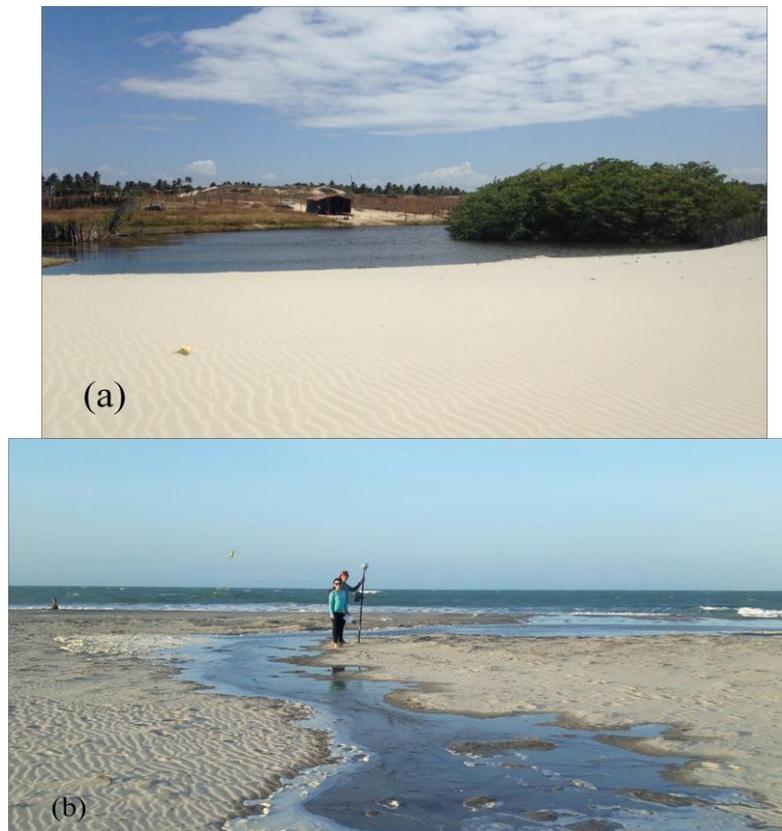
Figura 21: (a) Inundação da faixa de praia de Pontal de Maceió na fase de preamar das marés de sizígia de 2011. Foram instalados enrocamentos e estruturas rudimentares para a proteção da linha de costa. (b) Redução da influência da inundação costeira nas preamares de sizígia decorrentes da progradação da linha de costa em 2017.



Podendo-se observar:

- Segmento Distal (transectos 1-4) apresentou baixas taxas de variação, devido à maior dinâmica associada a um pequeno curso fluvial. Sazonalmente, como observado nas imagens de satélite, o exutório do curso fluvial é aberto configurando um banco arenoso que tem o seu trecho proximal contíguo à frente urbana de Pontal de Maceió (Figura 21 a). A retrobarreira é constituída por uma pequena área de inundação sazonal, de topografia rebaixada, que é abastecida por material marinho proveniente de galgamentos oceânicos e/ou recarga pluvial (Figura 21 b), na sua foz fechando a ligação do mesmo com o oceano.
- Segmento Central (transectos 5-25) caracteriza-se pelo local onde estão dispostos equipamentos urbanos e via de acesso principal para a Praia de Pontal de Maceió. A área apresenta proteção natural a incidência das ondas devido à inflexão na fisiografia do local. Enquanto que a entrada de swell no início do ano com origem de N-NE, a praia se caracteriza como exposta devido a sua orientação. A progradação do segmento está possivelmente associada a dinâmica dos bancos arenosos adjacentes ao rio Jaguaribe que são erodidos e carregados pela deriva litorânea (Figura 22). A formação desses bancos arenosos é visível através de imagens de satélite desde 2010, o que pode justificar porque a partir de 2013 se iniciou a engorda natural nessa região além de ter recoberto as rochas na área em frente a praia, como pode ser observado na Figura 22. Esta maior formação dos bancos arenosos pode estar relacionado aos índices pluviométricos acima da média em 2009 (1700 mm), que fez com que a vazão na barragem de Peixe gordo chegasse a  $2.500\text{m}^3/\text{s}$  (Gráfico 2), e em seguida, por anos de déficit nas precipitações que ocasionou na redução do espigão hidráulico permitindo o *bypass* sedimentar.

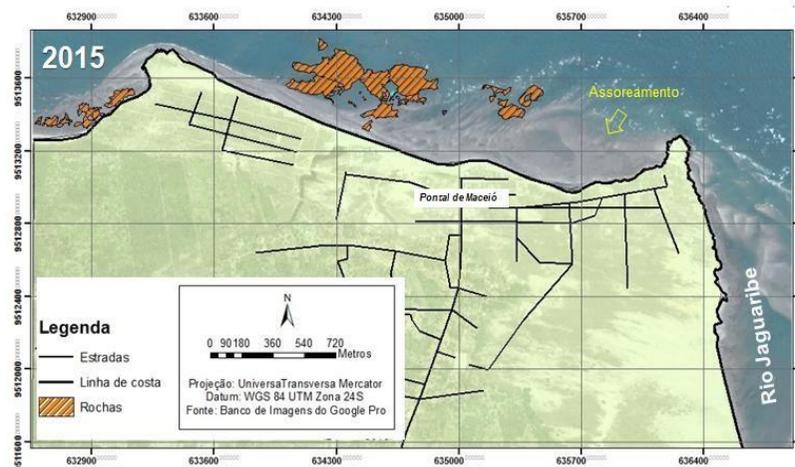
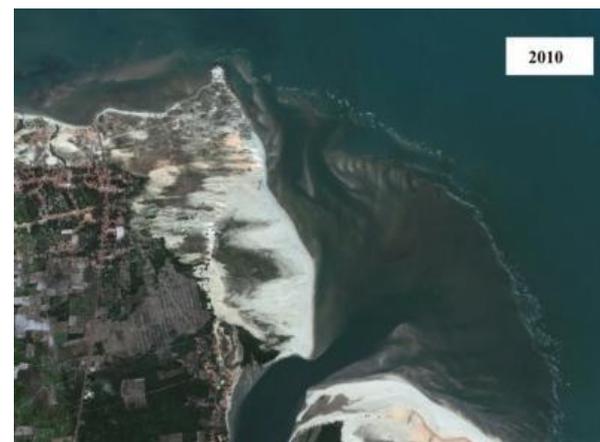
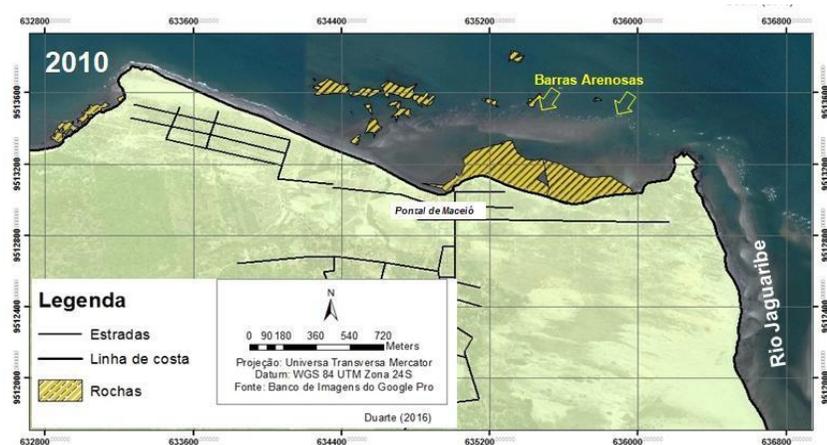
Figura 21: (a) Corpo hídrico em 2017, sem contato com o Oceano. (b) Galgamento oceânico na área de formação da laguna.



Fonte: Autora (2017)

- Segmento Proximal (transectos 26-54) apresentou menor variação devido a essa região se encontrar na zona de maior ataque das ondas provenientes na refração no promontório, assim mesmo com o maior repasse lateral de sedimentos que está incidindo na praia, em função da existência do efeito turbilhonar das ondas, o material que fica depositado nessa região é facilmente transportado para áreas a sotamar o que pode ocasionar em um efeito transitório desse sedimento. Além disso, há nesses segmentos trechos de praia que são limitados por material consolidado, proveniente da formação Tibau (BRANCO *et al*, 2001). Como resultado esses trechos apresentam taxas de variação da linha de costa inferiores em relação as obtidas nos demais segmentos do setor oeste.

Figura 22: Mapeamento do assoreamento das rochas em frente a Praia de Pontal do Maceió pelo material proveniente dos bancos na desembocadura do Rio Jaguaribe.

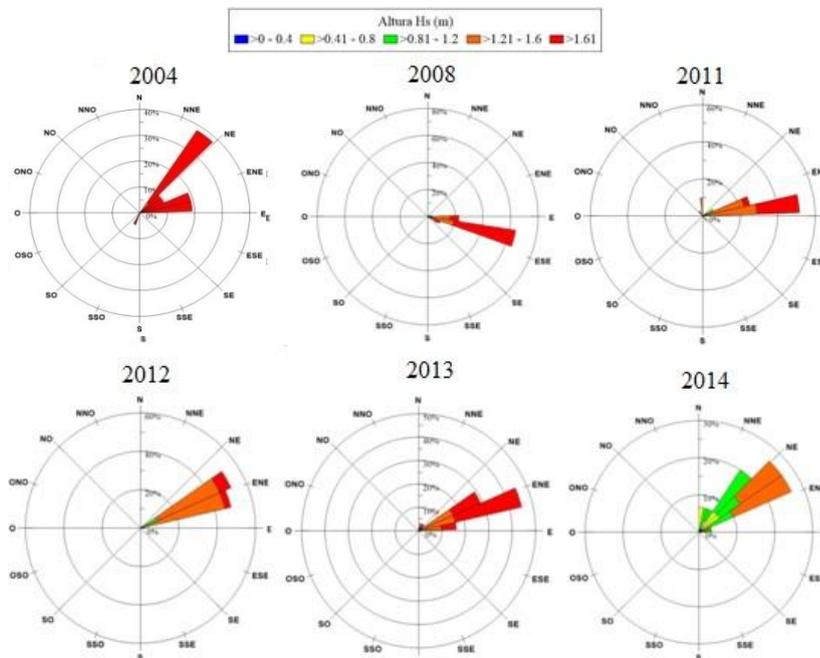


Fonte: Duarte *et al.*,(2016)

As características das ondas incidentes associada às transformações provenientes da sua interação com a fisiografia do litoral interferem diretamente no posicionamento da linha de costa. O trecho costeiro analisado apresenta ondas que variaram entre os quadrantes leste, leste-nordeste e leste-sudeste, como observado em toda a costa do Ceará (Gráfico 7). A incidência das ondas do quadrante E-SE que atingem o promontório atuam na deposição do material em suspensão nas imediações do pontal, produzindo barras arenosas submersas que se estende desde a foz do rio Jaguaribe até a vila de Maceió (MORAIS *et al.*, 2002).

As ondas do tipo sea, ocorrem com maior frequência do que a swell, porém, o impacto do swell, com direção de N-NE é mais significativo na morfologia costeira ocasionando fenômenos erosivos (MAIA, 2014). As ondas swell que dominam a costa Cearense ocorrem no primeiro semestre, entre os meses de dezembro a abril. Na praia de Pontal do Maceió que possui uma baixa declividade, isso favorece a entrada de ondas com maiores alcances de *runup*. A entrada dessas ondas apesar de provocar erosão da duna frontal, porém remobiliza sedimentos da antepraia para a face de praia, recompondo o volume de sedimentos do sistema duna-praia.

Gráfico 7: Altura e direção das ondas em Fortim um mês antes das datas de aquisição das imagens. (20/01-20/02/2004, 02/08-02/09/2008, 27/09-27/10/2011, 04/09-04/10/2012, 22/07-22/08/2013, 08/05-08/06/2014).



Fonte: CPTEC/INPE

A disponibilidade sedimentar é o principal fator que controla o equilíbrio dinâmico dos sistemas praias associados a promontórios rochosos (KLEIN *et al.*, 2002). No caso de Pontal do Maceió, apesar de desde 2013 ter sido observado essa tendência de acresção, nos anos anteriores Pinheiro & Morais (1999) e Morais *et al* (2008) observaram mudanças nos processos de produção, transporte e deposição de sedimentos devido a forte pressão antropogênica no Rio Jaguaribe. Entre estas, destacam-se a ocupação das margens fluviais, desmatamento, projetos agroindustriais e a construção de barragens de pequeno e grande porte que contribuíram para o recuo da linha de costa de Pontal do Maceió.

O Estuário do Rio Jaguaribe sofre severas mudanças no seu padrão ambiental desde o início do século XXI devido ao processo de antropização das margens do estuário. Além de tensores naturais como os eventos de ocorrência extrema: enxurradas durante o período chuvoso ou os grandes períodos de seca que ocasionam mais fragilidade na área já impactada. (PAULA, MORAIS & PINHEIRO, 2006). Segundo Paula, Morais & Pinheiro (2009), os tensores de ordem antrópica identificados na área são variados, tais como: descarga de efluentes domésticos, deposição de resíduos sólidos e escoamento superficial de áreas agrícolas, conseqüentemente, contaminando a fauna, comprometendo a produtividade do sistema e a paisagem, favorecendo, portanto ao desequilíbrio ambiental do ecossistema estuarino do Rio Jaguaribe.

A disponibilidade sedimentar é influenciada principalmente pelo barramento dos rios. As barragens, para obter água para consumo ou gerar energia elétrica, aumenta a retenção, nas represas, dos sedimentos transportados em suas águas, já que a velocidade do fluxo é reduzida. Com isso, reduz a disponibilidade de sedimentos para a região estuarina. Entretanto, os processos oceanográficos na foz são mantidos, ou seja, as marés e correntes marinhas continuam redistribuindo os materiais depositados. Quando o aporte de sedimentos vindos de terra diminui muito ou cessa, devido ao barramento do rio, os materiais já depositados passam a ser mobilizados pelos processos costeiros. Isso pode facilitar a variação da linha da costa em sentido ao continente, o que altera o balanço existente entre as descargas de sedimentos e os processos físicos costeiros, exigindo um novo equilíbrio (MARINS *et al*, 2003).

No período de 1998 a 1999, foram verificados recuos de 30m na linha de costa (PINHEIRO & MORAIS, 1999), onde a área em frente as barracas até o pontal caracterizavam-se como sendo a mais afetada. Nesse intervalo, a causa da erosão estava relacionada ao aprisionamento dos sedimentos na foz do rio Jaguaribe em função das

transformações na bacia de drenagem no período de 1950 a 1999. Os períodos de estio prolongado associados aos barramentos favoreceram a diminuição do espigão hidráulico, que resultou no assoreamento da foz pela deposição do material em deriva. Os bancos existentes na foz funcionaram como barreiras físicas ao trânsito litorâneo e ao fluxo fluvial. Ao invés do que pode ser observado a partir de 2013, que com a deposição desse material nos bancos localizados na foz e a redução do espigão hidráulico, esse material está transpondo o pontal e depositando na área da Praia de Pontal do Maceió.

No período entre 1999 e 2003, a faixa de praia de Pontal de Maceió recuou em média 88 m. A erosão causou a destruição de vias de acesso, casas de veraneio e de barracas de praia. A prefeitura optou, em função do baixo adensamento populacional, deslocar em 100 m a primeira linha de casas e barracas. No período entre 2003 e 2004, o recuo médio da linha de costa de Pontal de Maceió foi de 19 m (MORAIS *et al*, 2008).

Em outras praias do estado do Ceará podem ser observados diversos processos erosivos decorrente da interferência no equilíbrio dinâmica de áreas de pontais. Em Fortaleza, a construção do molhe do Titã, provocou alterações na dinâmica litorânea, através do barramento da corrente longitudinal, o que resultou no desvio das areias oriundas de leste da ponta do Mucuripe, que ao invés de contornarem a ponta do Mucuripe e alimentarem as praias de Iracema e as seguintes para sotamar, foram sedimentando na porção interna do molhe, cessando o fluxo natural de sedimentos (MORAIS *et al*, 1980). Além das intervenções antrópicas relacionadas principalmente com a especulação imobiliária e a urbanização que aumentou o déficit sedimentar com a alteração do transporte eólico pela ocupação da área do Titanzinho e Vicente Pizon (MEIRELES *et al*, 2006).

Na região de Jericoacoara, o mecanismo de *bypass* se caracterizar como um setor no qual a dinâmica litorânea não foi alterada por ocupação da faixa de praia a barlar ou ao longo da planície de deflação das dunas. A elevada intensidade do do transporte eólico propicia a formação de extenso campo de dunas. Além disso, a linha de costa tem orientação SE – NO nesse setor, o que resulta em elevado ângulo de incidência dos ventos de direção E/NE, aumentando o potencial de transporte eólico. Faz-se ainda importante ressaltar que, na área, os ventos são intensos e constantes, e que a topografia é plana, o que não cria obstáculos à migração das dunas (CLAUDINO-SALES & CARVALHO, 2017).

Essa troca de sedimentos no sistema promontório-praia-duna é observada na Praia de Pontal do Maceió (CASTELO BRANCO *et al*, 2001), sendo muito importante para o

equilíbrio natural da linha de costa, que sofre constantes processos de erosão marinha, sendo abastecida, desse modo, por uma carga sedimentar. A fonte sedimentar que forma essas dunas moveis na desembocadura do Rio Jaguaribe são as zonas de estirâncio das praias posicionadas a leste, como Canoa Quebrada e Majorlândia.

Na ponta litorânea da Lagoinha, Paraipaba, a deriva litorânea intercepta e proporciona o acúmulo de sedimentos à barlar constituindo as dunas móveis. As dunas são transportadas e perpassavam à ponta realizando o bypass costeiro e alimentando a enseada da Lagoinha localizada à sotamar da estrutura. Embora sejam processos fundamentais na dinâmica litorânea da região, o bypass marinho e o eólico, não são suficientes para recompor o déficit de sedimentos resultante da interceptação da deriva litorânea a barlar da ponta (PAIVA, 2010). Tal fato é evidenciado pela existência, em quase toda a extensão da enseada de falésias vivas. O aumento da urbanização e ocupação social na área do campo de dunas de bypass, principalmente durante a década de 1980 e início de 1990, passaram a impedir a realização do bypass costeiro, o que, causou um déficit sedimentar mais acentuado na enseada (*op. cit.*).

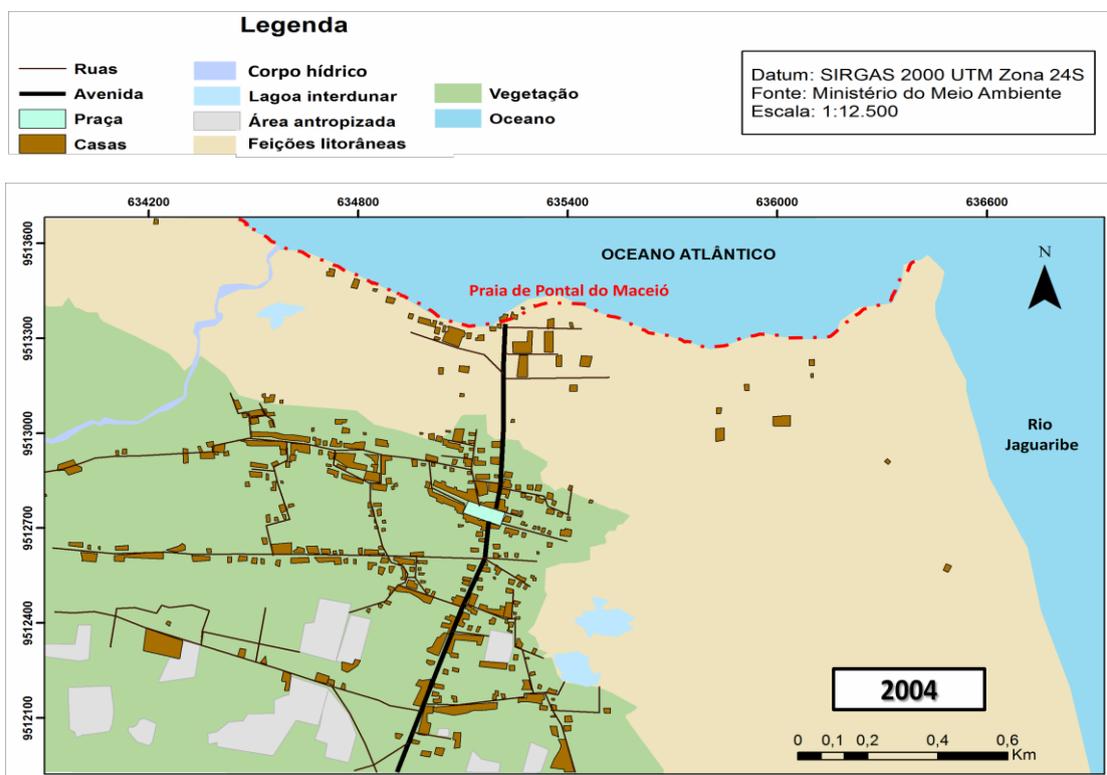
Enquanto que em Icapuí, analisando todo o contexto evolutivo de 1984-2011 observou-se que o balanço sedimentar foi muito positivo, onde o valor de acreção é quase o dobro do valor de erosão (XIMENES *et al*, 2013). No entanto, analisando a praia de Ponta Grossa de forma isolada, Ximenes *et al.* (2013) identificou o predomínio do efeito erosivo na porção oeste da praia. Na porção leste, houve acreção devido a condições especiais da hidrodinâmica e pelo grande volume de sedimentos transportados de praias adjacentes (e.i. praia de Redonda e Barreira da Sereia) e do forte efeito erosivo verificado no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (SOUTO, 2009). Souza *et al* (2016) observou entre os anos 2004 – 2016 que a praia continua com a tendência deposicional, devido ao processo contínuo de aporte de sedimentos do campo de dunas que acessa a faixa de praia e alimenta as barras arenosas.

A dinâmica da praia de pontal do Maceió se mostrou diferente quando comparadas a outras praias controladas por promontórios do estado do Ceará, isso ocorre devido a praia ter a influência do Rio Jaguaribe, além de se configurar como uma praia com baixo processo de urbanização, como por exemplo, quando comparada com Lagoinha. Então, apesar do intenso impacto antrópico no Rio Jaguaribe, a área de Pontal do Maceió, como os campos dunares ainda não estão impactados com a ocupação que bloqueia o bypass e ocasiona intensos

processos erosivo. Os processos erosivos e progradacionais podem ser acelerados pela ação transformadora da paisagem pela sociedade e passa a ter repercussão, mais sérias, nas costas ocupadas.

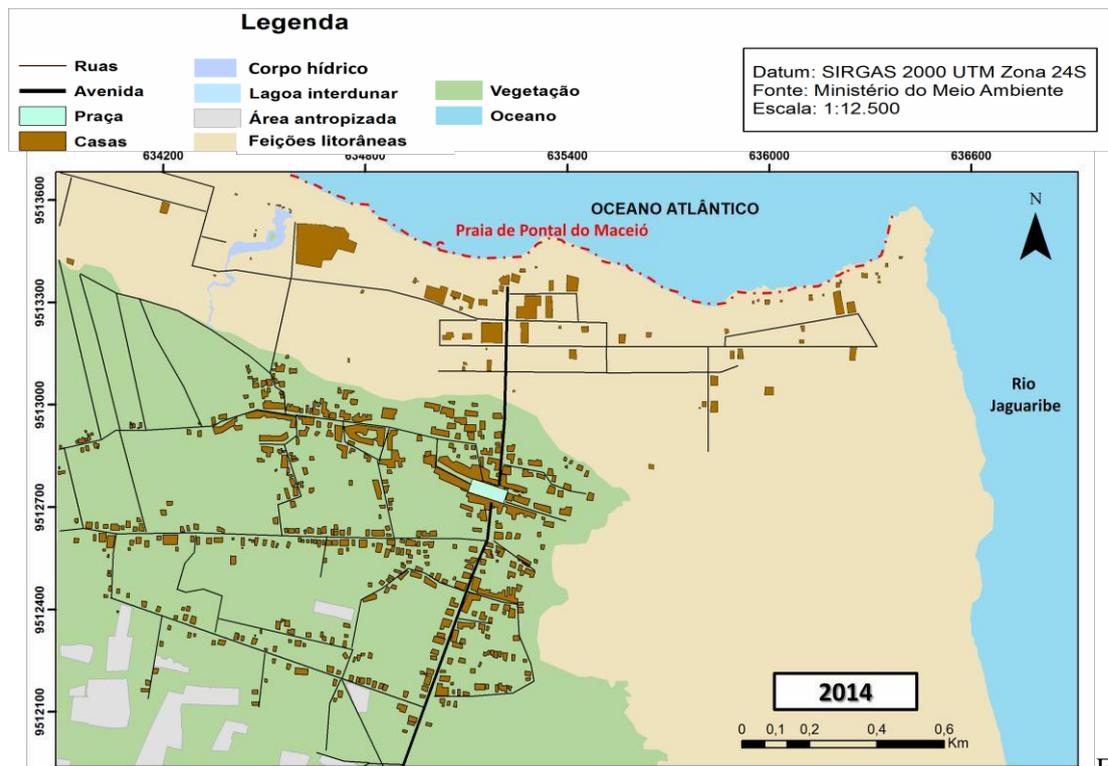
O processo de ocupação da linha de costa de Pontal de Maceió é recente com idade dos imóveis não superiores há 30 anos nos primeiros 400 m de distância da linha de costa. Através da análise de ocupação entre os anos de 2004 e 2014 pode-se observar que a quantidade de ruas duplicou nesse período (DUARTE *et al*, 2017). Além de que muitas residências aumentaram de seus limites e construíram estruturas de âmbito recreativo, como piscinas e quadras. Na região da pós praia, constatou-se o aumento do numero de hotéis em detrimento das casas de moradores da vila e um aumento de casas em direção ao Pontal (Figura 23 e 24). Mostrando assim um padrão de que com a crescente especulação imobiliária da área, a tendência é que esses números tenham crescido visto que inúmeros hotéis e casas que antes não existiam, agora podem ser observadas na região da praia, além de diversas placas anunciando loteamentos perto da região do Pontal e dos campos dunares.

Figura 23: Mapeamento do Uso e Ocupação da Praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará em 2004.



Fonte: Duarte *et al*  
(2017)

Figura 24: Mapeamento do Uso e Ocupação da Praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará em 2014.



Fonte:

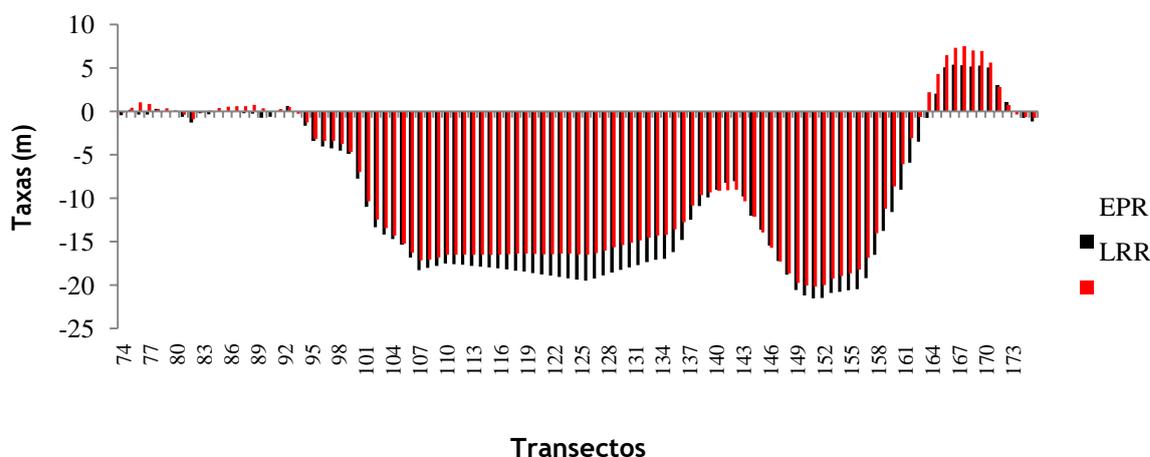
Duarte *et al* (2017)

### 6.1.2 Setor Leste

Os resultados obtidos no setor leste da praia de Pontal do Maceió são apresentados na Figura 25. A tendência erosiva foi observada conforme indicado pelas taxas de regressão linear simples (LRR) de -8.6 m/ano, com valores máximos de erosão de -20 m (método LRR) e -21 m (método EPR) (Gráfico 8). Nessa região, a dinâmica costeira e o transporte eólico em função da direção da deriva litorânea atuam preponderantemente empurrando a foz do rio Jaguaribe para leste provocando erosão na margem esquerda (FARIAS, 2008).

Analisando a série histórica das vazões calculadas para a Barragem de Peixe Gordo (Gráfico 2) é possível observar altos índices para os anos de 2004 (1.100 m<sup>3</sup>/s), 2008 (1.500 m<sup>3</sup>/s) e 2009 (2.500m<sup>3</sup>/s). Entretanto no restante dos anos houve uma redução das vazões da Bacia para o estuário (menos de 500 m<sup>3</sup>/s). É importante considerar que a vazão fluvial do baixo Jaguaribe repercute os efeitos da sazonalidade climática da região e dos barramentos presentes na extensão do curso hídrico. Com a diminuição do aporte fluvial para o estuário, as águas marinhas passam a ter uma atuação mais significativa no balanço de massas d'água. Considerando a diminuição gradativa dos índices de vazão do rio, o estuário não consegue transportar efetivamente os sedimentos e abastecer a deriva litorânea.

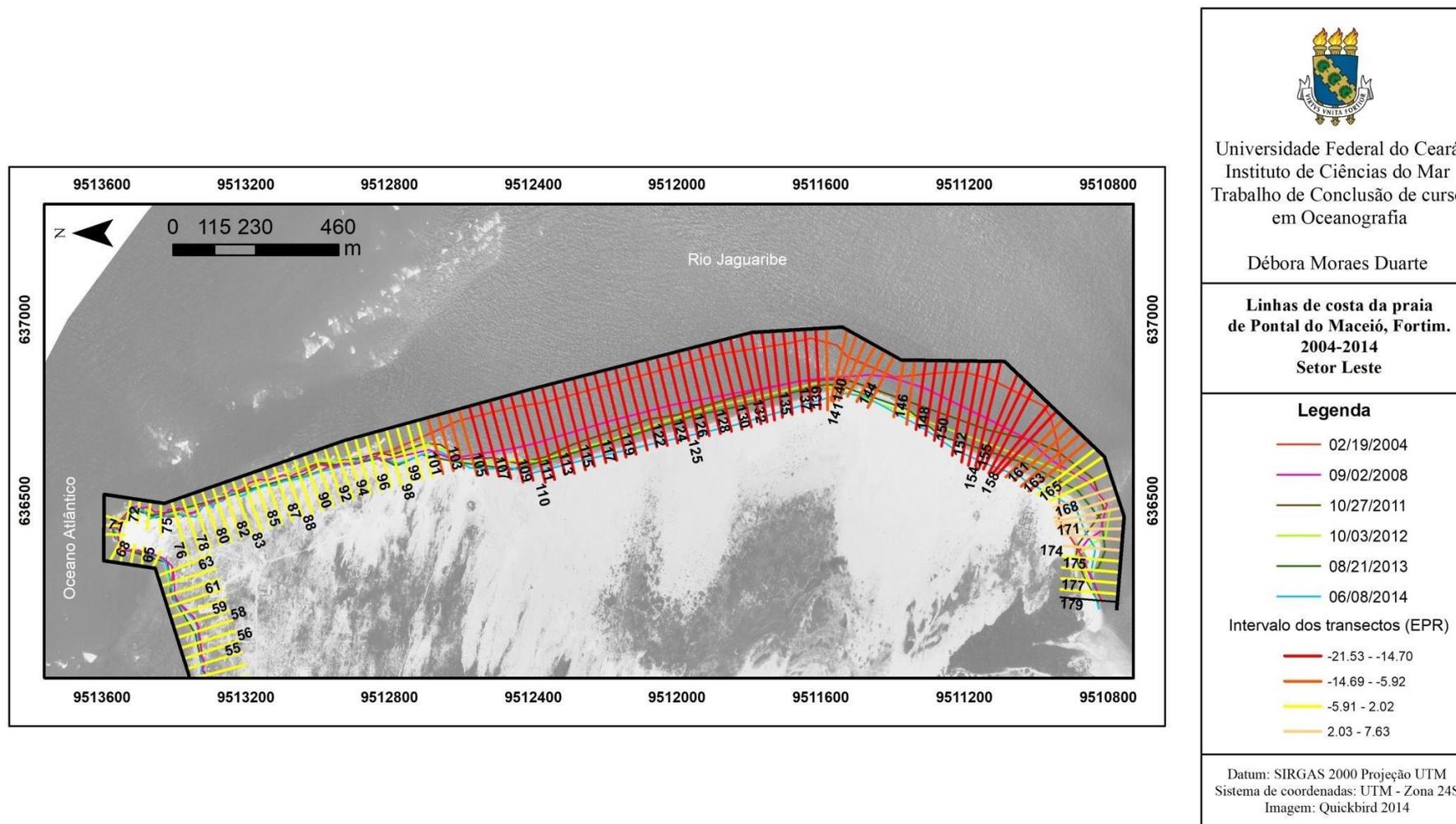
Gráfico 8: Taxas de variação da linha de costa no setor leste entre os anos 2004, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014.



De acordo com Muehe (2005), os rios Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ) também tem sua desembocadura fortemente controlada por processos de transporte sedimentar. Dominguez *et al.* (2003) define nesse sentido, dois mecanismos como os controladores da evolução dessas planícies: o espigão hidráulico como retentor dos sedimentos transportados pela corrente litorânea, levando a uma configuração assimétrica da desembocadura e sua migração para jusante da direção do transporte longitudinal durante períodos de reduzida descarga fluvial; e a inversão da direção residual do transporte longitudinal de acordo com mudanças na frequência relativa da direção de incidências das ondas (DOMINGUEZ *et al.* 2003).

Assim, esses mecanismos também podem ser observados no estuário do Rio Jaguaribe, visto que a redução das descargas sólidas no estuário devido à construção de barragens a montante, subordina a dinâmica sedimentar do estuário ao mar e à ação do vento (PAULA *et al.* 2009). Então além da ação da corrente, devido à orientação E – SE do litoral, a margem esquerda do Rio Jaguaribe se torna suscetível a ação das ondas que possuem orientação E - SE e incidem diretamente na margem esquerda. Enquanto que o vento que vem do quadrante SE-NW também atua como agente erosivo através do transporte sedimentar em direção ao continente, observado através da direção das dunas móveis na margem esquerda se movendo em direção ao continente. Caracterizando assim o processo erosivo da margem uma junção do efeito dos agentes hidrodinâmicos, eólicos e fluviais, além da intervenção antrópica. Esse processo erosivo da margem esquerda pode estar contribuindo também para a progradação da Praia de pontal do Maceió visto que através do transporte eólico, esse sedimento consegue chegar na praia através do continente.

Figura 25: Linha de costa da Praia de Pontal de Maceió, Fortim no setor leste nos anos de 2004, 2008, 2011, 2012, 2013 e 2014.



Processo erosivo similar ao encontrado do Rio Jaguaribe, foi observado na desembocadura do Rio São Francisco que o severo processo de erosão já destruiu o vilarejo de Cabeço em 1998, localizado em uma de suas margens. Esse processo erosivo foi atribuído a redução da descarga de sólido no baixo curso do rio, devido à construção de barragens (BITTENCOURT *et al*, 2007). Oliveira (2003) concluiu que a erosão do banco direito na foz do rio São Francisco pode ser derivada de uma divergência na deriva litorânea, o que gera um déficit local de sedimentos que não é compensado pela deposição do rio.

## 6.2 Ciclo progradante: alterações morfológicas de curto prazo

### 6.2.1 Variações espaço-temporal da linha de costa

Os resultados obtidos no setor leste da praia de Pontal do Maceió, durante os meses de Abril, Agosto e Outubro de 2017 são apresentados na figura 22. A figura mostra os valores de Net shoreline Movement – NSM, isto é, a distância entre a linha de costa mais antiga (abril) e a mais recente (outubro) para cada transecto (Gráfico 8).

Por representar distância, os valores negativos significam que a linha de costa de abril (mais antiga) se situou mais na retaguarda do que a linha de costa de outubro (mais recente). Devido a isto, o padrão de maiores índices negativos é coerente visto que no mês de abril se tem a entrada de swell no estado do Ceará (Gráfico 10), que possuem um forte efeito erosivo ocasionando ressacas.

Gráfico 9: Taxas de variação da linha de costa no setor leste em 2017 de acordo com o método NSM.

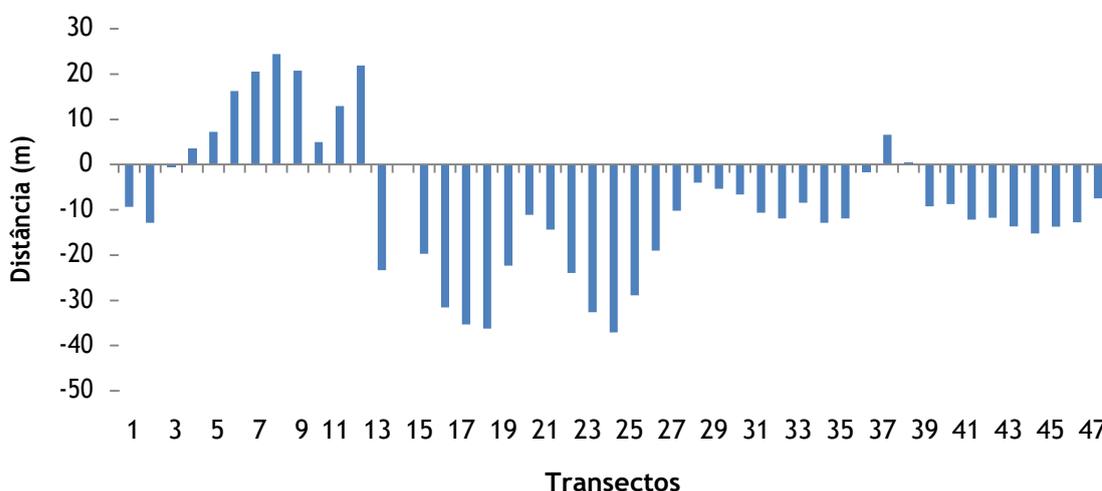


Figura 26: Linha de costa da Praia de Pontal de Maceió, Fortim no setor em frente ao vilarejo em Abril, Agosto e Outubro de 2017.

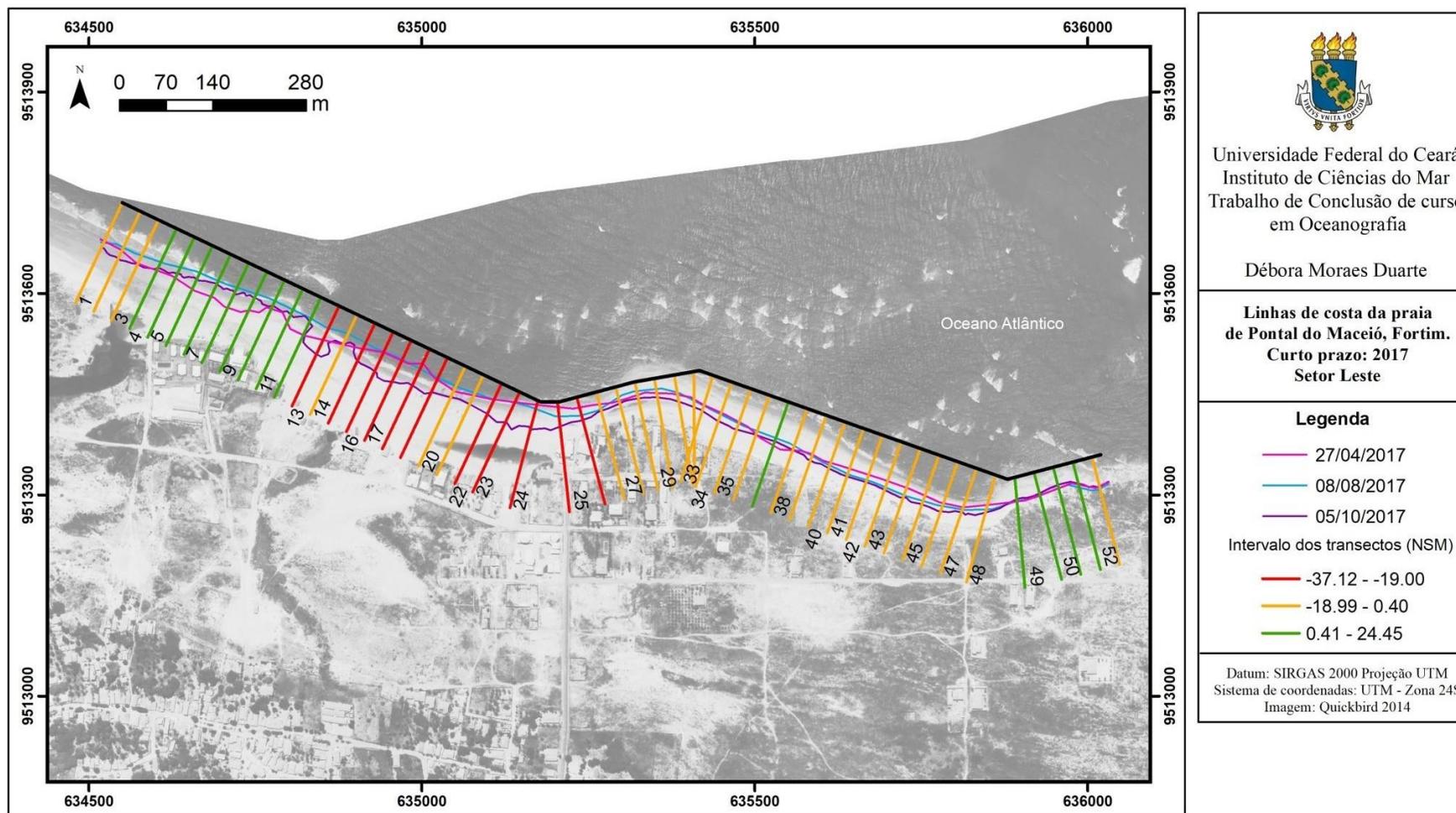
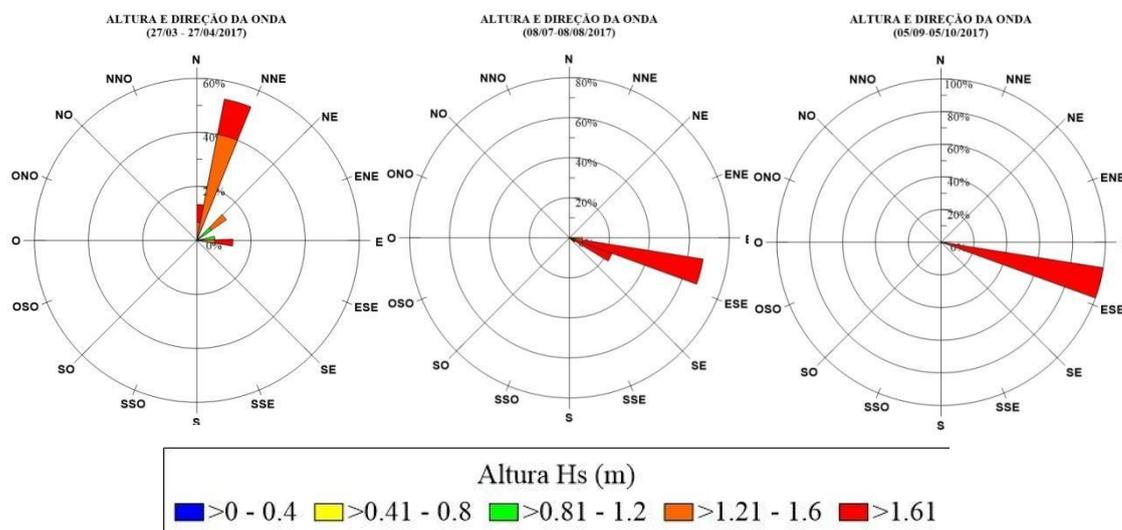


Gráfico 10: Altura e direção de Onda do período de um mês antes de cada saída de campo do ano de 2017.



Fonte: CPTEC/INPE

### 6.2.2 Mudanças morfosedimentares na praia de Pontal de Maceió

Os resultados da análise granulométricas são apresentados nas formas de gráficos individuais e de correlação entre os parâmetros calculados que foram: média, mediana, assimetria, selecionamento e curtose. Além do teor de carbonatos e matéria orgânica.

Em relação a granulometria, verificou-se que a média do sedimento na área de estudo correspondeu quase sempre a areia fina, com valores médios do grão entre  $2.0\Phi$  e  $2.7\Phi$ , sendo a única exceção a Ante-Praia do P4 em Outubro que se classificou como areia média ( $1.93\Phi$ ).

As curvas granulométricas em frequência acumulada de acordo com cada período podem ser visualizadas no gráfico 17. Podendo-se observar que a praia possui característica geral de predomínio de areia fina a areia média, apesar de apresentar areia muito fina e em determinados pontos, areia grossa.

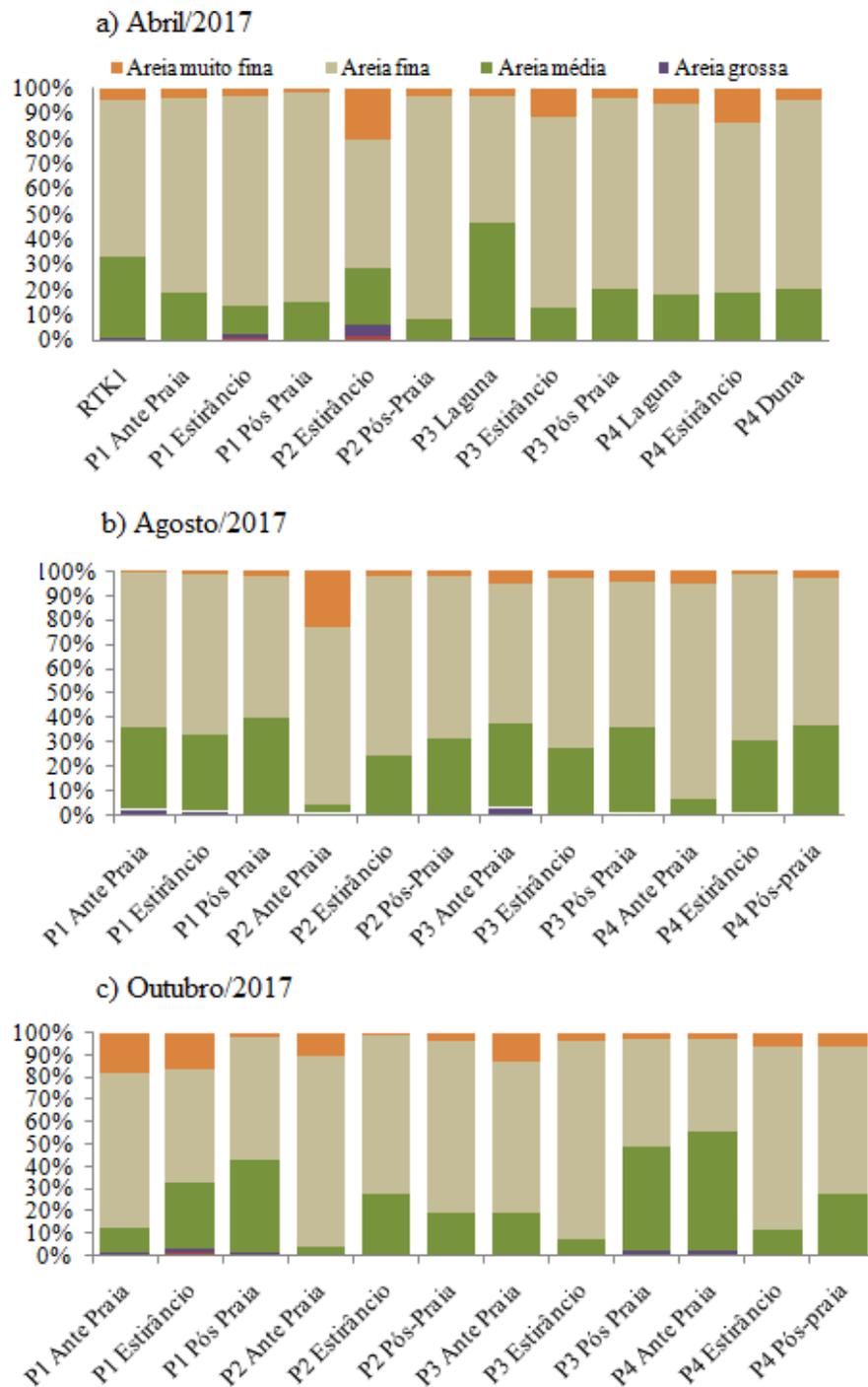
Segundo Martins (2003), a granulometria dos sedimentos de praia, em geral, varia de areia muito fina a média. Onde, os sedimentos finos (silte e argila) tendem a se acumular em ambientes de baixa energia de ondas, enquanto que os sedimentos tamanho areia tendem a se acumular em ambientes de alta energia de ondas (DAVIS JR & FITZGERALD, 2004). A desembocadura do rio Jaguaribe é formado predominantemente por areia de granulometria média, devido a ação das ondas que propicia um alto nível de energia, evitando a deposição

das frações finais (PAULA *et al*, 2009). Onde a fração muito fina é proveniente do intenso transporte eólico que trás sedimento das dunas frontais.

A praia de Pontal do Maceió teve 70% das amostras sendo classificadas como bem selecionadas, onde quanto à curtose, 55% apresentaram sedimentos leptocúrticos e 45% mesocúrticos, sendo a simetria do grão classificada em sua maioria como aproximadamente simétricos (77%). Essas características corroboram o intenso transporte que ocorre na região, onde o sedimento é bastante trabalhado pela ação do agente eólico e dos agentes hidrodinâmicos e se caracterizam pelo selecionamento e aproximadamente simétricos.

A curtose consiste no grau de achatamento de uma curva em relação à curva representativa de uma distribuição normal. Os valores de curtose muito altos ou muito baixos podem sugerir que um tipo de material foi transportado de uma determinada área-fonte e depositado sem perder suas características originais (JESUS & ANDRADE, 2013). As amostras leptocúrticas, indicam ambientes com predomínio de transporte, enquanto que mesocúrticas indicam ambientes de transição entre transporte e deposição (MACHADO, 2010). Caracterizando então, a Praia de Pontal do Maceió como uma maior tendência a Leptocúrtica visto que em todos os meses representou a maior representatividade nos resultados, o que corrobora as características encontradas por ser uma região de intenso transporte sedimentar devido a se localizar na desembocadura do Rio Jaguaribe, ocorrer a difração das ondas no promontório que causam a remobilização do sedimento depositado nas barras arenosas e pelo intenso transporte eólico.

Gráfico 11: Frequência acumulada das frações granulométricas em cada período de 2017.



O perfil praiial modifica-se rapidamente conforme ganho ou perda de sedimentos, de acordo com a energia das ondas, as quais estão relacionados com as mudanças atmosféricas de cada região. No Estado do Ceará, o clima de onda é regido por variações sazonais e, por consequência, a praia desenvolve processos de acumulação e erosão. Como já havia sido

citado, entre agosto e dezembro tem-se maior velocidade dos ventos, dando origem a ondas mais altas e de maior poder erosivo, resultando nas praias um perfil erosivo. Enquanto que nos meses de janeiro a julho, em geral, essa condição climática se inverte, com a ocorrência de ventos mais amenos dos perfis praias mais suaves e de menor poder erosivo, apresentando um perfil de deposição (MAGALHÃES & MAIA, 2003), essa variação pode ser observada na Praia de Pontal do Maceió.

A área do P1 – Perfil 1 se caracteriza como o perfil mais próximo ao Pontal, onde se tem as zonas praias bem definidas. O perfil se iniciou em cima da duna frontal a uma altitude de 5 m acima do nível do mar. Pode-se verificar a presença de uma berma nos meses de Agosto e Abril, seguindo com um estirâncio bem comprido e retilíneo. As feições observadas podem ser encontradas na Figura 24. O sedimento apresentou-se bem selecionado em 66% das amostras, com grau de seleção variando entre 0,29 a 0,58. Os valores de assimetria variaram de -0,18 a 0,06, com 66% das amostras aproximadamente simétricas. Segundo os valores de curtose, 55% das amostras apresentaram sedimentos mesocúrticos.

Gráfico 12: Perfil 1 nos meses de Abril, Agosto e Outubro de 2017.

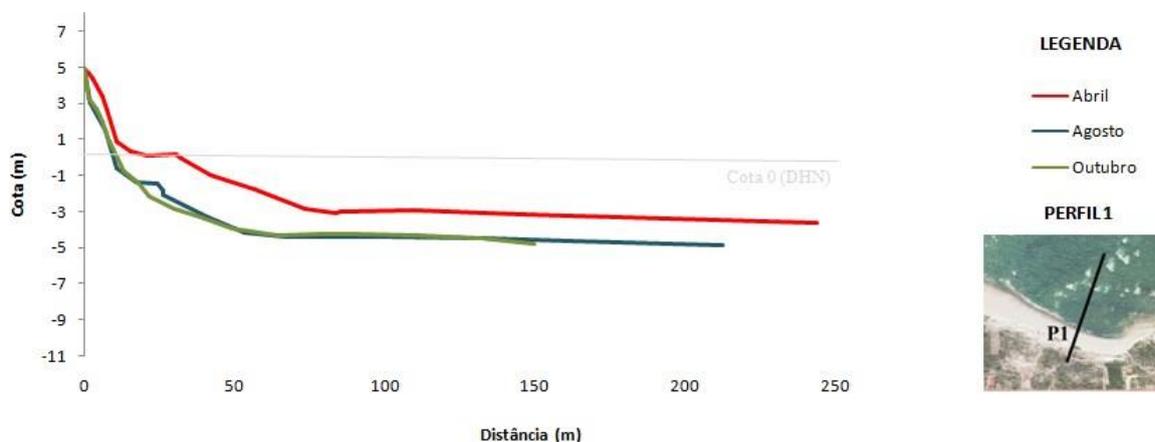


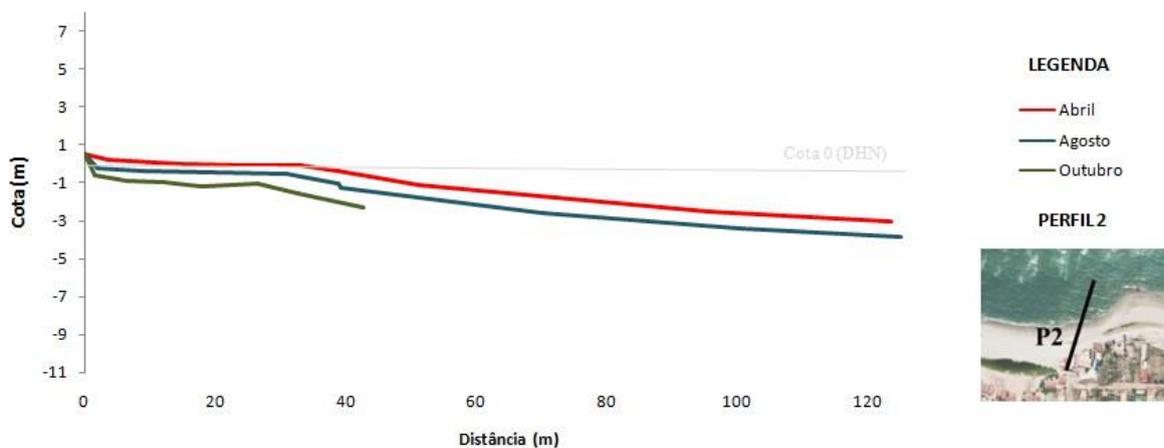
Figura 27: Perfil de Praia Transversal da Praia de Pontal do Maceió em Agosto/2017.



Fonte: Autora (2017)

O P2 – Perfil 2 se caracteriza como o perfil mais próximo da região das barracas, onde se tem a praia com as menores altitudes. O perfil se iniciou a uma altitude de 1 m acima do nível do mar, na linha da calçada. Pode se verificar que quase não houve alteração entre os perfis de acordo com os meses. Isto ocorre devido a esse Perfil ser feito logo em seguida a inflexão da fisiografia, ocasionando em uma região de menor exposição da praia quanto ao ataque das ondas que são refratadas pelo promontório. O sedimento apresentou-se bem selecionado em 50% das amostras, com grau de seleção variando entre 0,30 a 0,68. A maioria das amostras desse perfil corresponderam a sedimentos leptocúrticos (75%) e o restante a sedimentos mesocúrticos (25%). Os valores de assimetria variaram de -0,07 a 0,15, com 50% das amostras aproximadamente simétricas.

Gráfico 13: Perfil 2 nos meses de Abril, Agosto e Outubro de 2017.

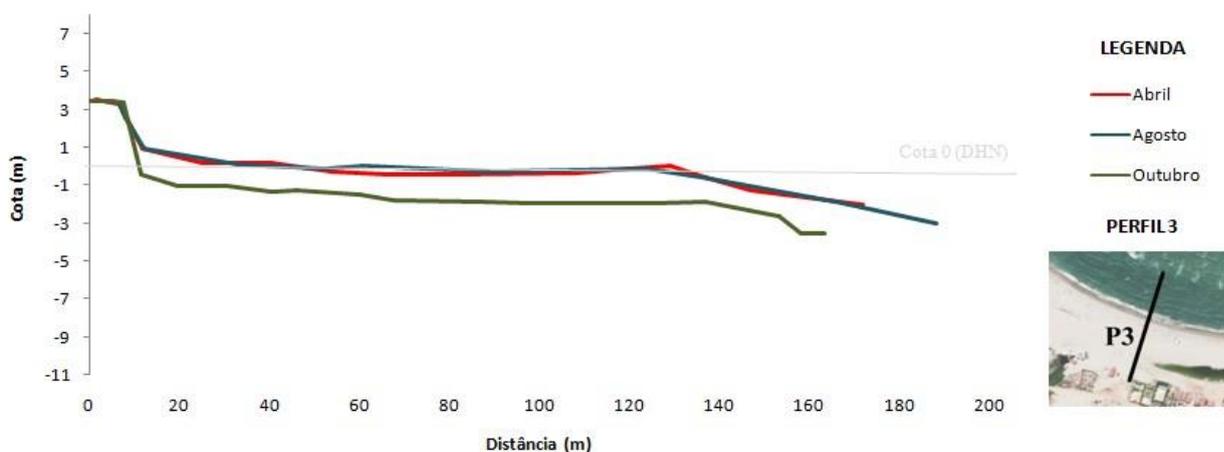


Entre os meses de Abril e Agosto, o volume sedimentar perdido foi de  $-10\text{m}^3$ , enquanto que de Agosto para outubro a mudança foi ainda menor,  $-7.5\text{m}^3$ . Assim, durante o ano o perfil teve uma perda de  $-17\text{m}^3$  (Gráfico 13).

O P3 – Perfil 3 se localiza no início da zona mais exposta da praia, onde se iniciam as dunas frontais mais altas. O perfil se iniciou a uma altitude de 3,5m acima do nível do mar. Em que não se teve alteração na duna frontal de acordo com os meses. Enquanto que o volume sedimentar foi o único que apresentou deposição entre abril e agosto ( $54\text{m}^3$ ), que pode ter sido proveniente da área logo após o promontório visto que os perfis P1 E P2 sofreram erosão nesse período. Entre agosto e outubro o volume sedimentar perdido foi de  $-384\text{m}^3$ , o maior valor encontrado.

O sedimento apresentou-se bem selecionado em 66% das amostras, variando entre 0,30 a 0,50. Os valores de assimetria variaram de -0,06 a 0,18, com 88% sendo aproximadamente simétricas. De acordo com os valores de curtose, 45% das amostras apresentaram sedimentos leptocúrticos, 45% apresentaram sedimentos mesocúrticos, sendo este o único perfil que apresentou uma amostra com sedimentos classificados muito leptocúrticos.

Gráfico 14: Perfil 3 nos meses de Abril, Agosto e Outubro de 2017.



O P4 – Perfil 4 se localiza na região mais afastada no promontório. O perfil se iniciou na altitude mais alta, cerca de 6 m acima do nível do mar. Enquanto que o volume sedimentar entre abril e agosto foi de  $-20\text{m}^3$  e entre agosto e outubro o volume sedimentar perdido foi de  $-42\text{m}^3$ .

Enquanto que os valores de assimetria variaram de -0,05 a 0,23,77% das amostras correspondendo a aproximadamente simétricas. O grau de selecionamento variou de 0,32 a 0,47, apresentando 88% do sedimento como bem selecionado. Sendo, 55% das amostras classificadas como sedimentos leptocúrticos.

Gráfico 15: Perfil 4 nos meses de Abril, Agosto e Outubro de 2017

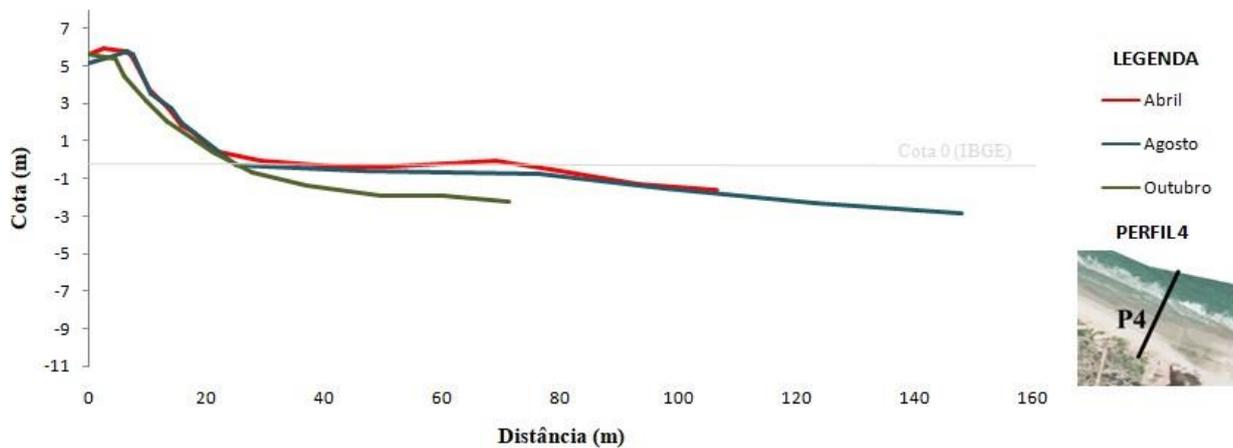
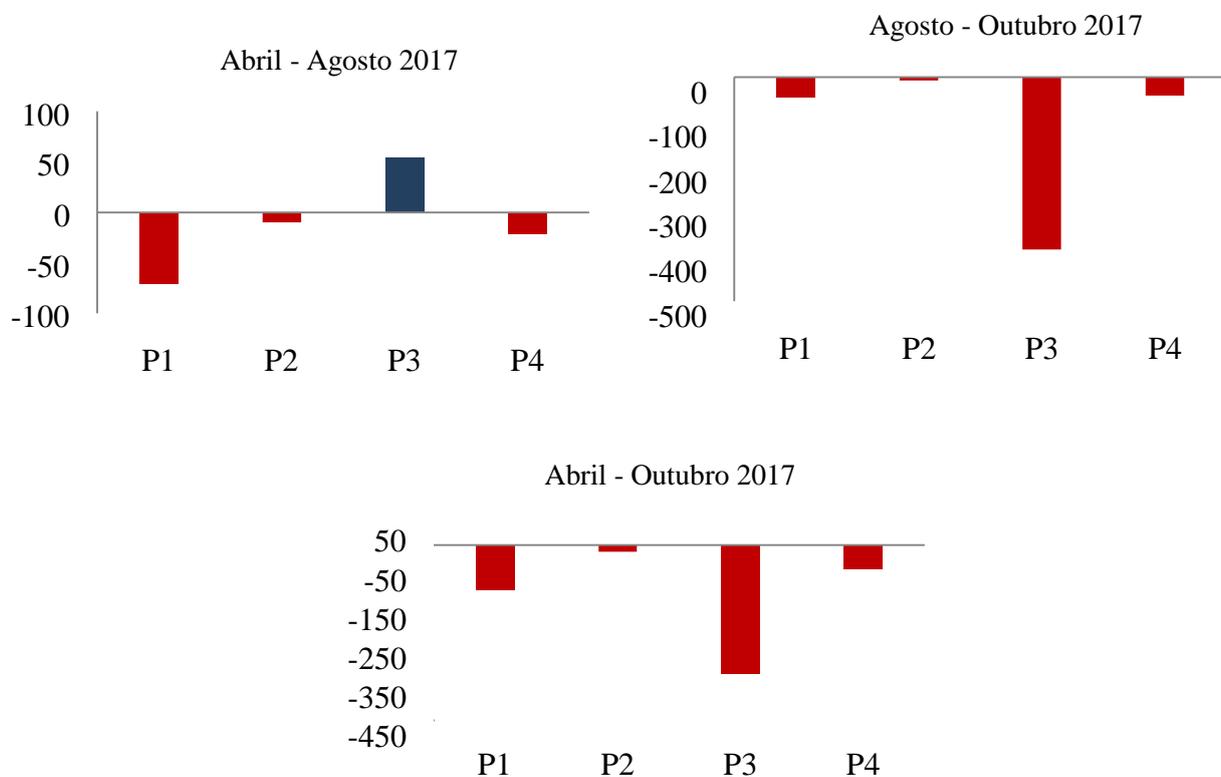


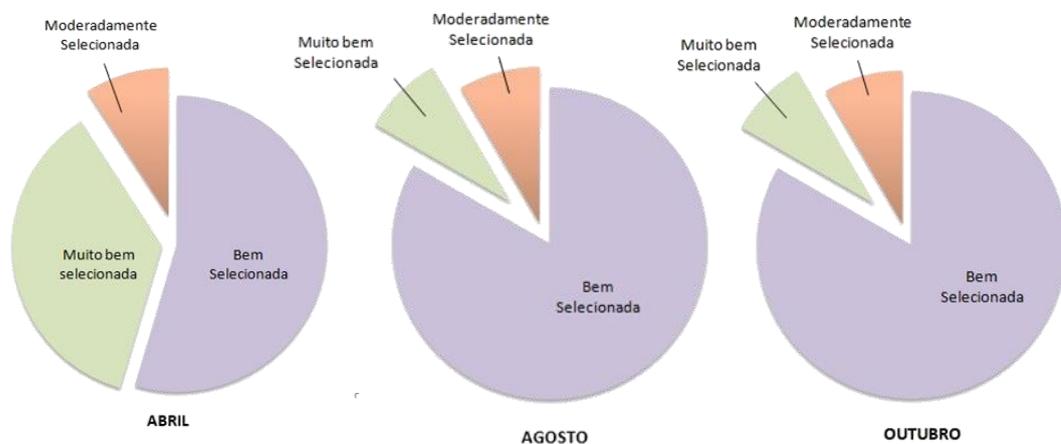
Gráfico 16: Variação do volume sedimentar em cada perfil (em m<sup>3</sup>).



A variação temporal da seleção e assimetria das amostras podem ser observadas nos gráficos 18 e 19. Pode-se observar que o mês de abril foi o único que apresentou uma proporção diferente quando a assimetria, sendo a categoria bem selecionada predominante em todos os meses (55% em Abril, 85% em Agosto e 85% em Outubro).

Em uma praia, o grau de seleção reflete as características dos sedimentos que são transportados para a zona costeira e seu posterior retrabalhamento pela ação dos agentes costeiros (ondas, marés, espriamento e ventos). Quando o sedimento é bem selecionado significa que os grãos possuem pequena dispersão dos seus valores granulométricos, pois, com a agitação do meio as partículas de diferentes tamanhos tendem a ser separadas de acordo esse tamanho, indicando relativa mistura entre sedimentos grossos e finos (FOLK, 1957; GUERRA, 2015). Bem selecionado ocorre quando o diâmetro médio coincide com a mediana representando valores intermediários da energia no ambiente e indicando relativa mistura entre sedimentos grossos e finos.

Gráfico 17: Porcentagem de seleção do grão de acordo com o mês de coleta: Abril, Agosto e Outubro.

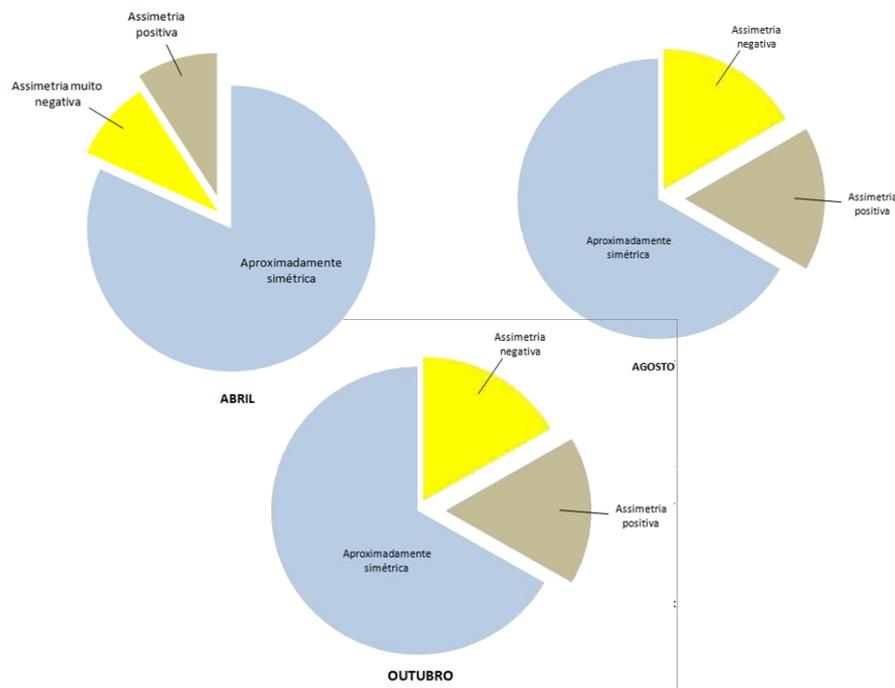


Quanto à assimetria, a partir de agosto houve um aumento nas amostras de assimetria negativa e assimetria positiva, representando uma redução nas amostras aproximadamente simétricas, entretanto essa última categoria ainda se caracteriza como a mais representativa (81% em Abril, 66% em Agosto e 66% em Outubro).

A assimetria representa o grau de deformação da curva de frequência simples para a direita ou para a esquerda, analisando-se a relação entre a moda, a média e a mediana. A

simetria ocorre quando os valores da moda, média e mediana são o mesmo, o que determina uma fração bem dividida entre grãos finos e grossos (JESUS & ANDRADE, 2013). Ainda de acordo com os autores, a assimetria é um parâmetro intrínseco ao ambiente de deposição onde, as areias de praia possuem assimetria negativa, enquanto que areias provenientes de rios e dunas possuem assimetria positiva. Corroborando que a Praia de pontal do Maceió recebe sedimentação proveniente de ambiente fluvial, eólico e do próprio ambiente praiar por possuir assimetria predominantemente, aproximadamente simétrica.

Gráfico 18: Porcentagem de simetria do grão de acordo com o mês de coleta: Abril, Agosto e Outubro.



Em relação aos valores de carbonato de cálcio foram menores do que 14% em todas as amostras. Os gráfico apresentado (Gráfico 18) mostram a tendência de que as amostras de areias finas apresentam as menores concentrações de frações carbonáticas. Essa correlação é bastante variável porque o carbonato pode ocorrer de diferentes formas no meio, a exemplo em conchas, fragmentado ou diluído na água.

Gráfico 19: Correlação entre o teor de Carbonato de Cálcio e o tamanho do grão nas amostras de Abril/2017, Agosto/2017 e Outubro/2017

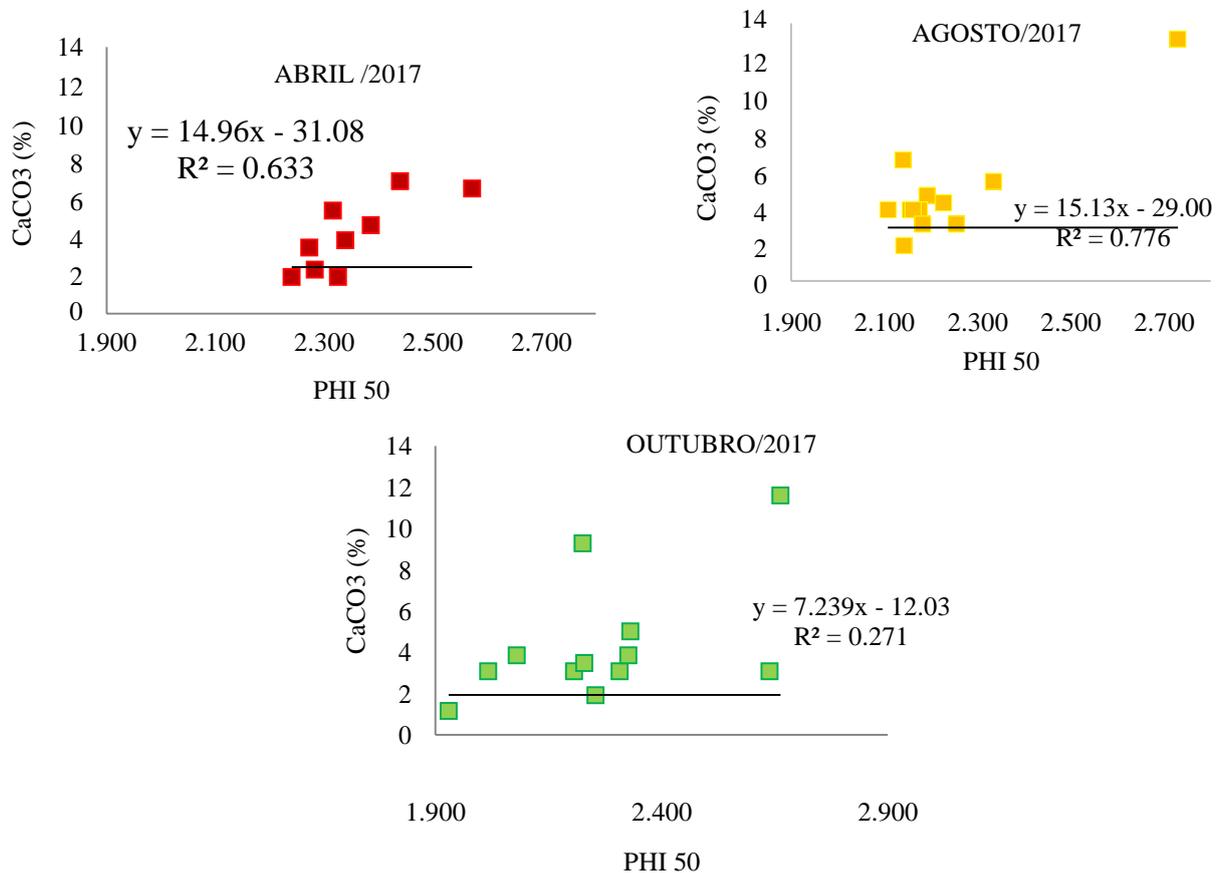


Tabela 3: Teores de Carbonato de Cálcio e Matérias Orgânicas (em porcentagem) das amostras coletadas em Abril, Agosto e Outubro de 2017.

ABRIL/2017			AGOSTO/2017		OUTUBRO/2017	
Amostras	% CaCO3	% Matéria orgânica	Amostras	% CaCO3	Amostras	% CaCO3
P1 Ante Praia	5,41	0,166	P1 Ante Praia	1,93	P1 Ante Praia	3,09
P1 Estirâncio	3,86	0,374	P1 Estirâncio	4,64	P1 Estirâncio	3,09
P1 Pós Praia	3,48	0,249	P1 Pós Praia	3,86	P1 Pós Praia	3,86
			P2 Ante Praia	13,14	P2 Ante Praia	11,60
P2 Estirâncio	6,57	0,333	P2 Estirâncio	3,09	P2 Estirâncio	3,09
P2 Pós-Praia	1,93	0,208	P2 Pós Praia	3,86	P2 Pós Praia	1,93
P3 Laguna	5,80	0,166	P3 Ante Praia	3,86	P3 Ante Praia	3,48
P3 Estirâncio	6,96	0,249	P3 Estirâncio	4,25	P3 Estirâncio	5,02
P3 Pós-Praia	1,93	0	P3 Pós Praia	3,86	P3 Pós Praia	3,09
P4 Laguna	4,25	0,083	P4 Ante Praia	5,41	P4 Ante Praia	1,16
P4 Estirâncio	4,64	0,249	P4 Estirâncio	3,09	P4 Estirâncio	3,86
P4 Pós-Praia	2,32	0,249	P4 Pós Praia	6,57	P4 Pós Praia	9,28

## 7 CONCLUSÕES

- Através da variação espaço-temporal da linha de costa de Pontal do Maceió é possível distinguir dois diferentes períodos que marcam a alternância de um ciclo erosivo para um progradante. No período de 2004 a 2013 foi observada uma tendência erosiva, com valor médio de variação da linha de costa na ordem de  $-0.02$  m/ano. Já a partir de 2013, com o acúmulo de sedimentos e elevação da cota altimétrica da pós-praia, os processos costeiros passaram a atuar cada vez mais distantes das antigas áreas de erosão ativa. A progradação do segmento está possivelmente associada a dinâmica dos bancos arenosos adjacentes ao rio Jaguaribe que são erodidos e carregados pela deriva litorânea. Assim, a partir de 2013 iniciou-se de forma efetiva a deposição de sedimentos na praia com taxas que variaram de 12 a 17 m/ano. Esses valores refletiram na consequente progradação da frente marítima urbana da vila de Pontal de Maceió resultando no alargamento da faixa de praia. Nos demais, setores prevaleceu a tendência erosiva de linha de costa com taxas na ordem de  $-1.02$  m/ano, segundo as taxas do método LRR.
- No lado esquerdo da desembocadura do rio Jaguaribe, a tendência erosiva foi observada conforme indicado pelas taxas de regressão linear simples (LRR) de  $-8.6$  m/ano. Nessa região, a dinâmica costeira e o transporte eólico em função da direção da deriva litorânea atuam preponderantemente empurrando a foz do rio Jaguaribe para leste provocando erosão na margem esquerda. Com a redução dos índices pluviométricos devido a seca, a redução das descargas sólidas no estuário devido à construção de barragens a montante, subordina a dinâmica sedimentar do estuário ao mar e à ação do vento. Então além da ação da corrente, devido à orientação E – SE do litoral, a margem esquerda do Rio Jaguaribe se torna suscetível a ação das ondas que possuem orientação E - SE e incidem diretamente na margem esquerda. Enquanto que o vento que vem do quadrante SE-NW também atua como agente erosivo. Caracterizando assim o processo erosivo da margem uma junção do efeito dos agentes hidrodinâmicos, eólicos e fluviais, além da intervenção antrópica. Esse processo erosivo da margem esquerda pode estar contribuindo também para a progradação da Praia de pontal do Maceió visto que através do transporte eólico, esse sedimento consegue chegar na praia através do continente.

- A praia de Pontal de Maceió se caracteriza com uma larga zona de surfe, baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia na porção subaquosa da praia. Granulometria entre fina e média, sem ter ocorrido alterações significativas nas características granulométricas, grãos bem selecionados, maior parte de sedimentos leptocúrticos. Baixa concentração de matéria orgânica e de carbonato de cálcio. A assimetria foi aproximadamente simétrica, corroborando que a Praia de Pontal do Maceió recebe sedimentação proveniente de ambiente fluvial, eólico e do próprio ambiente praial por possuir assimetria predominantemente, aproximadamente simétrica. A granulometria fina é proveniente do sedimento carregado pelo transporte eólico das dunas frontais.
- As linhas de costa no período de 2017, em associação aos perfis de praia, apresentaram de forma geral, comportamento padrão devido a maior erosão durante o mês de abril, visto que no início do ano tem a entrada de swell no estado do Ceará, que possuem um forte efeito erosivo ocasionando ressacas.
- Entre os anos de 1998 – 2013 que representou o ciclo erosivo na praia de Pontal do Maceió e 2013 - 2017 que a praia está em um ciclo progradante, o litoral e os moradores presenciaram muitas alterações no ambiente, visto que em um primeiro momento de erosão as barracas tiveram que ser deslocadas, obras de contenção colocadas e agora, a praia está progradando. Entretanto, por se caracterizar como uma região de dinâmica complexa devido a interação promontório – duna – praia e ainda se localizar na desembocadura de um rio é preciso se ter o monitoramento desses ciclos para entender o comportamento da praia, visto que o aumento da ocupação nos últimos anos ainda não demonstra impactos no bypass sedimentar para a praia, porém é necessário se ter ferramentas de gestão para controlar a ocupação na região, principalmente do promontório e dos campos dunares.
- É necessário um monitoramento sistemático mediante a alta vulnerabilidade das praias adjacentes a desembocaduras fluviais, por serem informações muito importantes para a gestão do litoral. Devido a estes dados serem extremamente úteis para simulações através de modelos matemáticos a sazonalidade e o que se prever aos fenômenos climáticos globais.

## 8 REFERÊNCIAS

- AQUINO, M. D., MOTA, S. PITOMBEIRA, E. S. **Impactos ambientais da ocupação desordenada da praia da Caponga - CE.**In: *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. 2003.
- ALBUQUERQUE, M. G., CALLIARI, L.J., CORRÊA, I.C.S., PINHEIRO, L.S. 2009. Morfodinâmica da Praia do Futuro, Fortaleza-CE: uma síntese de dois anos de estudo. **Quaternary and Environmental Geosciences**. v.2, n.1. p.49-57. 2009.
- ALFREDINI, P. **Obras e gestão de portos e costas**. 1.ed., São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2005.
- BIRD, E. **Coastal geomorphology**.2. ed. Chichester: Wiley, 2007.
- BITTENCOURT, A.C.S., DOMINGUEZ, J.M.L., MARTIN, L. SILVA, I.R. Uma aproximação de primeira ordem entre o clima de ondas e a localização, de longa duração, de regiões de acumulação flúvio-marinha e de erosão na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. v.33, n.2, p.159-166. 2003.
- BITTENCOURT, A.C.S., DOMINGUEZ, J.M.L., FONTES, L.C.S., SOUSA, D.L., SILVA, I. R., SILVA, F. R. D. Wave Refraction, River Damming, and Episodes of Severe Shoreline Erosion: The São Francisco River Mouth, Northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, n. 234. p. 930-938. 2007.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. **Shoreline Definition and Detection: A Review**. Journal of Coastal Research. v. 21, n.4, p. 688-703, 2005.
- BROWN, A.; MCLACHLAN, A. **The Ecology of Sandy Shores**.2 ed.Elsevier Inc. 2006.
- BULHÕES, E.M.R.; FERNANDEZ, G.B., OLIVEIRA FILHO, S.R., PEREIRA, T.G., ROCHA, T.B. Coastal impacts induced by storm waves between Cape Frio and Cape Buzios, Rio de Janeiro, Brazil. **Quaternary and Environmental Geosciences**. vol. 05(2). Pags. 155-165. 2014.
- CALLIARI, L.J., MUEHE D., HOEFEL F.G., TOLDO JR.. E.E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**. v. 51.p. 63-78. 2003.

CALLAGHAN, D.; RANASINGHE, R.; SHORT, A. Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. **Coastal Engineering**, v. 56. p. 90 – 93. 2009.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do estado do Ceará**. Fortaleza. 2014. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade\\_CE.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_CE.pdf)>. Acesso em: 28 dez.17.

CASTELO BRANCO, M. P. N., LEHUGEUR, L. G. O., FREIRE, G. S. S. Transporte eólico nas praias de Pontal do Maceió, município de Fortim, e Canoa Quebrada, município de Aracati, estado do Ceará, Brasil. **Arq. Ciên. Mar**, vol. 34, pp. 99 – 105. 2001.

CARVALHO, A. M., MAIA, L. P., DOMINGUEZ, J. M. L. A deriva e o transporte litorâneo de sedimentos no trecho entre Cumbuco e Matões– Costa Noroeste do estado do Ceará. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, v. 40, n. 1, p. 43 – 51. 2007.

CARVALHO, A. M., CLAUDINO-SALES, V. C. Instabilidade costeira em um litoral em espiral: O exemplo da praia da Lagoinha, estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 18, n. 1. 2017.

CLAUDINO-SALES, V. C. **Les Littoraux du Ceará. Evolution géomorphologique de la zone côtière de l'Etat Du Ceará, Brésil – Du long term eauc ourtterm**. Thèse de Doctorat, Université Paris Sorbonne, Paris. 511p. 2002.

CLAUDINO-SALES, V. C. Os litorais cearenses. In: BORZACHIELLO, J.; CAVALCANTE, T.; DANTAS, E. (Organizadores). **Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2005.

CAVALCANTE, A.A., CUNHA, S.B. Morfodinâmica fluvial em áreas semiáridas: discutindo o vale do rio Jaguaribe – CE - Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 13, n. 1. 2012.

CLAUDINO-SALES, V. C., CARVALHO, A.M. Dinâmica costeira controlada por promontórios no estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Geociências**. São Paulo, UNESP, v. 33, n. 4, p.579-595. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed.São Paulo: Edgard Blucher. 1980.

DALBOSCO, A.L.P. **Análise histórica da linha de costa e dos padrões hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos da praia da Armação, ilha de Santa Catarina – SC.** Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2013.

DAN, H; YONGJIU, F; LIJUN, S. Mapping Shoreline of Hangzhou Bay with Remote Sensing Images from 1979 to 2005. **Remote Sensing.** 2012.

DOLAN R., HAYDEN, B., HEYWOOD, J. A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. **Coastal Engineering.** v.2. p. 21-39. 1978.

DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L. e BITTENCOURT, A.C. da S.P. **Episodes of severe erosion in the Jequitinhonha river strandplain caused by changes in river discharge and coastal wave climate.** In: *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.* Recife. 2003.

DUARTE, D. M., MENEZES, M. O. PINHEIRO, L. S. Assoreamento dos afloramentos rochosos da zona intertidal da Praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará. In: *Encontros Universitários da UFC.* Ceará, 2017.

DUARTE, D. M., CAVALCANTE, A. B. L., CAMARA, I. F. Análise da ocupação da praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará nos últimos 13 anos. In: *Semana Nacional de Oceanografia.* Maranhão, 2017.

FARIAS, E.G.G. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do estado do Ceará.** Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de ciências do mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

FARIAS, E.G.G. MAIA, L.P. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada.** v. 10. n. 4. p. 521-544. 2010.

FENSTER, M. S.; DOLAN, R.; MORTON, R. A. Coastal storms and shoreline change: signal or noise?. **Journal of Coastal Research,** v. 17. n. 3. p. 714-720. 2001.

FERREIRA, A. G., MELLO, N. G. S. Principais Sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1. 2005.

GARRISON, T. **Fundamentos de oceanografia**. Cengage Learning. Boston, EUA. 2010.

GEORGE, D.A., LARGIER, J.L. STORLAZZI, C.D. BARNARDB, P.L. Classification of rocky headlands in California with relevance to littoral cell boundary delineation. **Marine Geology**. v. 369. p. 137–152. 2015.

GUERRA, A. T., GUERRA, A.J. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro:Bertrand Brasil, 2008.

GUERRA, R. G. P. **Vulnerabilidade costeira a eventos de alta energia no litoral de Fortaleza, Ceará**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2014.

HOEFEL, F. G. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica. Santa Catarina: Editora da Universidade do Vale do Itajaí, 1998.

HONEYCUTT, M. G.; CROWELL, M.; DOUGLAS, B. C. Shoreline-position forecasting: impact of storms, rate-calculation methodologies, and temporal scales. **Journal of Coastal Research**, v. 17, n. 3. p. 721- 730. 2001.

KING, C. A. M. **Beachesandcoasts**. London, 1972.

KLEIN, A.H.F., BENEDET FILHO, L., SCHUMACHER, D.H., 2002. Short-term beach rotation processes in distinct headland bay beach systems. **Journal of Coastal Research**,v. 18, p. 442-458. West Palm Beach (Florida). 2002.

LEITE, N.S. RIZZATTI, I.V., SILVA, E.V. **Análise Paisagística do Litoral do Município de Fortim – Ceará: Subsídios ao Planejamento Ambiental Local**. Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, v. 6, n.2, p. 103-125, 2016.

LIMA, R. S. **Vulnerabilidade da linha de costa a eventos de alta energia na praia da Caponga – Cascavel, Ceará**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2012.

MAIA, L. P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE- Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral.** PhD Thesis, Universidad de Barcelona, Barcelona, Espanha. 1998.

MAIA, L.P., JIMENEZ, J.A., FREIRE, G.S.S. AND MORAIS, J.O., Dune migration and aeolian transport along Ceara (NE Brasil): Downscaling and upscaling Aeolian induced processes. **Coastal Sediments**. ASCE: 1220-1232. 2000.

MALLMAN, D. L. B. **Vulnerabilidade do litoral Sul de Pernambuco a erosão.** Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2008.

MAGALHÃES, D.C. **Evolução costeira controlada por promontório no litoral de Paracuru - Ceará.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza. P. 96. 2015.

MARINO, M. T. R. D. **Análise integrada dos aspectos geoambientais e da dinâmica costeira de médio e curto período da planície litorânea entre as praias do Futuro e Porto das dunas, Ceará, Brasil.** Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. 273 f. Fortaleza, 2014.

MARINS, R. V., LACERDA, L. D., ABREU, I. M., DIAS, F. J. S. Efeitos da açudagem no Rio Jaguaribe. **Ciência hoje**. V. 33. N. 197. p. 66-70. 2003.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. **Geological history of coastal lagoons.** In: KJERVE, B. Coastal Lagoon Processes. London: Elsevier Oceanography Series, p. 41-66. 1994.

MARTINS, L.R. Recent Sediments and Grain size analysis: **Revista Gravel**, v.1. p. 90-105. Porto Alegre. 2003.

MARTINS, L. R.; TABAJARA, L. L.; FERREIRA, E. R. Linha de costa: problemas e estudos. **Revista Gravel**, v. 2. p. 40-56, Porto Alegre, 2004.

MAZZER, A.M.; DILLENBUR, S.R.; SOUZA, C.R.G. **Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil)**. Pesquisas em Geociências, v. 36, p. 117-135. 2009.

MCLACHLAN, A. BROWN, A.C. **The ecology os Sandy Shores**. 2 ed. Academicpress. 392p. 2006.

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

MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, A. M. F. **Atlas de Icapuí**. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012.

MOLION, L. C. B., BERNARDO, S. O. Dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10.2002.

MORAIS, J.O. Evolução sedimentológica da enseada de Mucuripe (Fortaleza-Ceará-Brasil). **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 21, n.1, p. 16-46, 1981.

MORAIS, J.O., PINHEIRO, L.S. Evolução a curto e médio prazo da zona costeira adjacente à foz do Rio Jaguaribe-Ceará. **Ciências e Tecnologia (UECE)**, Fortaleza, v. 2, n.2, p. 69-77, 2000.

MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S.; PESSOA, P.R.S. Coastal Erosion Processes at Ceara State-Brazil. In: **Coastal Zone Canadá**. Coastal Zone Association. Ontário, v.1, n.1, 2002.

MORAIS, J.O., PINHEIRO, L.S., MEDEIROS, C. PITOMBEIRA, E.S. Gabions for the protection of Caponga beach, Ceara Brazil: Hazard sand management. **Journal of Coastal Research**. Special Issue 39. Itajaí, SC. 2006.

MORAIS, J.O., FREIRE, G.S.S., PINHEIRO, L.S., SOUZA, M.J.N. de, CARVALHO, A.M., PESSOA, P.R.S. & OLIVEIRA, S.H.M.. **Ceará**. In: Muehe, D. (org.), *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*, 1:132-154, MMA (Ministério do Meio Ambiente), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2006.

- MORAIS, J. O., PINHEIRO, L. S., CAVALCANTE, A. A., PAULA, D. P., SILVA, R. L. Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**.v. 8, n. 2. 61-76. 2008.
- MORAIS, J.O., PINHEIRO, L. S. The effect of semi-aridity and damming on sedimentary dynamics in estuaries- Northeastern region of Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 1540-1544, 2011.
- MOURA, M. R. **Dinâmica costeira e vulnerabilidade à erosão do litoral dos municípios de Caucaia e Aquiraz, Ceará**. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.p. 210. 2012.
- MUEHE, D. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1. 35-44. 2001.
- MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 04, n. 07. Ceará. 2005.
- MUEHE, D. (org.), **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. MMA (Ministério do Meio Ambiente), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2006.
- MUEHE, D. Erosão Costeira - Tendência ou Eventos Extremos? O Litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. v. 11. n. 3. p. 315-325. 2011.
- MUEHE, D. FERNANDEZ, G. B. BULHÕES, E. M. R. AZEVEDO, I. F. de. Avaliação da vulnerabilidade física da orla costeira em nível local, tomando como exemplo o arco praialentre Rio das Ostras e o Cabo Búzios/RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 12, n 2. 2011.
- MUEHE, D., KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. **Quaternary and Environmental Geosciences**. v. 05. n.2. p. 121-124. 2014.
- OLIVEIRA, M.B., 2003. **Caracterização integrada da linha de costa do Estado de Sergipe, Brasil**. Tese de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Bahia. 102p. 2003.

OLIVEIRA, G.G., MEIRELES, A.J.A. Dinâmica geoambiental a partir da “Litoralização” de Aquiraz, Ceará, Brasil. **Rede – Revista Eletrônica do Prodepa**, v.5, n.2, p. 50-68. Fortaleza. 2010.

OLIVEIRA, M. M. N. **Aspectos morfológicos e sedimentares associados à dinâmica do litoral oeste de Icapuí, Ceará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar. p.95. 2012.

OLIVEIRA, J. F. SCARELLI, f. MARTINS, E. M., BARBOZA, E. G. FAGUNDES, M. R. O aporte sedimentar às praias da cigana e do Cardoso, cabo de santa marta, santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.18, n 2. 2017.

PAULA, D. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. **Análise Geoambiental do estuário do rio Jaguaribe – Ceará: Tensores Naturais e Antrópicos**. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia. 2006.

PAULA, D. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. **Impactos de eventos naturais e antrópicos em estuários tropicais: o estudo de caso do estuário do rio Jaguaribe, Fortim- CE, Brasil**. In: *IV Congresso Argentino do Cuaternário y Geomorfologia, XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e II Reunión sobre el Cuaternário de América del Sur*. Argentina, 2009.

PAULA, D. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. Longitudinal suspended sediments transport in the Jaguaribe river estuary, Brazil. **Arq. Ciên. Mar**, v. 42. N. 2. p. 21 – 27. Fortaleza, Ceará. 2009.

PAULA, D. P.; FARRAPEIRA NETO, C. A.; SOUZA, M. A. L.; DIAS, J. M. Alterações morfológicas na Praia do Icaraí (Caucaia-Ceará) após a construção de um dissipador de energia para controle da erosão costeira. **Revista GEONORTE**, Edição Especial 4, v. 10, n. 2, p. 7- 11, 2014.

PINHEIRO, L. S., GOMES, M. L., FALCÃO, T. O., **A influência dos processos estuarinos na morfodinâmica e vulnerabilidade a erosão da prainha de Aquiraz (CE)**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia: Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos métodos e técnicas. Goiânia, Brasil. 10p. 2006.

PINHEIRO, M.V. **Evolução geoambiental e geohistórica das dunas costeiras do município de Fortaleza, Ceará.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.p. 182. 2009.

PINHEIRO, L.S., MORAIS, J.O., MAIA, L.P. **The beaches of Ceará.** In: SHORT, A.D. KLEIN, A.H.F. (org.), *Brazilian beaches Systems*, p.175-199, Coastal Research Library, Springer.2006.

QUEIROZ, L.R. **As praias arenosas do estado do Ceará: Relação entre ambiente físico e a estrutura de comunidade em um ambiente tropical.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas tropicais. Universidade Federal do Ceará. P. 166. Fortaleza. 2014.

QUINTELA, T. O. F. **Procedimentos de investigações e avaliações metodológicas no estudo morfológico de feições costeiras.** Dissertação de Doutorado. UFC, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza. 221p. 2014.

RODRIGUES, B. A. **The Ancão Peninsula vulnerability to overwash events.** 2009. Dissertação (Mestrado em Gestão da Água e da Costa) – Faculdade Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Portugal, 2009.

SCHWEITZER, A. **Monitoramento da linha de costa: uma análise de métodos e indicadores aplicados em investigações na escala de eventos.** Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. p. 151. Florianópolis. 2013.

SHORT, A.D. (ed.). **Beach and Shoreface Morphodynamics.** Chichester, United Kingdom: John Wiley& Sons, 379p. 1999.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S. M.; BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. **A.Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa.** In: BATISTA NETO, J. A et al (org). *Introdução à Geologia Marinha.* Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SILVA, A.C. **Analysis of water properties in the western tropical Atlantic using observed data and numerical model results**. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Departamento de Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. p. 156. 2006.

SILVA A. C., FAÇANHA, P., BEZERRA, C., ARAUJO, A. PITOMBEIRAS, E. Características das ondas “sea” and “swell” observadas no litoral do ceará-brasil: variabilidade anual e inter-anual. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 39, n. 2, p. 123-132, 2011.

SILVA, A.F., TOLDO JR, E.E., WESCHENFELDER, J. Morfodinâmica da desembocadura da Lagoa de Tramandaí (RS, Brasil). **Pesquisas em Geociências**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. v. 44. p. 155-166. 2016.

SOUSA, M. **Análise do turismo em Aquiraz- Ceará: política, desenvolvimento e sustentabilidade**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

SOUZA, C. R. G. **As células da deriva litorânea e a erosão nas praias do estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo. p. 174. 1997.

SOUZA, C.R. G. Coastal erosion risk assessment, shoreline retreat rates and causes of coastal erosion along the State of São coast, Brazil. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 28. p. 459-475. 2001.

SOUZA, P. H. G. O. **Dinâmica ambiental e transformações sócio espaciais da orla marítima de Paracuru – Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. Ed. Edgard Blucher Ltda. 317 p., São Paulo-SP. 1973.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Edgard Blücher Ltda./EDUSP, São Paulo, SP, 400pp. 2003.

TOLDO JR., E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B.. **A linha d'água como indicadora da posição da linha de praia**. In: *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos Quaternários*, II Congresso do Quaternário de Países de Língua Ibérica e II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa. Recife. 2003.

THIELLER, E. R.; MARTIN, D. ; ERGUL, A. **The Digital Shoreline Analysis System, version 2.3. Shoreline change measurement software extension ArcMap 9.0**. USGS Open-File. 2005.

THIELER, E.R. & DANFORTH W.W. Historical shoreline mapping (II): application of the digital shoreline mapping and analysis systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. **Journal of Coastal Research**, v. 10, n 3, pp. 600-620. 1994.

VARGAS, R. **Mapeamento da vulnerabilidade a eventos extremos no município de Maricá, RJ**. Trabalho de Conclusão de curso em Ciência Ambiental. Universidade Federal Fluminense. 2016.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.**, v. 37, p. 29-38, 1934.

WHITE, S. **Utilization of LIDAR and NOAA's vertical datum transformation tool (VDatum) for shoreline delineation**, Proceedings of the OCEANS 2007, Vancouver, BC, 1-6. 2007.

WRIGHT, L.D., THOM, B. G. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. **Progress in Physical Geography**, v. 1, p. 412–159. 1977.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**. Amsterdam, v. 56. 1984.

DAVIS JR., R.A.FITZGERALD, D.M. **Beaches and Coasts**. 1ª ed. \_Blackwell Publishing, 419p. 2004.

SHIDELER, G. L. Textural trend analysis of coastal barrier sediments along the Middle Atlantic Bight, North Carolina. **Sedimentary geology**. Elsevier Inc. v. 9. n.3. p 195-220. 1973.

MACHADO, G. M. V. Análise morfossedimentar da praia, antepraia e plataforma continental interna da linha de costa do Parque Nacional de Jurubatiba - Rio de Janeiro. **Quaternary and Environmental Geosciences**. v. 2. n 1. p. 01-17. 2010.