



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

CLAUDIANE DOS SANTOS MAIA

ELIAN ARAÚJO FERNANDES COSTA

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO COSTEIRA DAS PRAIAS DE
BITUPITÁ, CURIMÃS, FAROL E MACEIÓ - LITORAL NOROESTE DO ESTADO
DO CEARÁ**

FORTALEZA-Ce

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

CLAUDIANE DOS SANTOS MAIA
ELIAN ARAÚJO FERNANDES COSTA

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE FÍSICA À EROSÃO COSTEIRA DAS PRAIAS
DE BITUPITÁ, CURIMÃS, FAROL E MACEIÓ - LITORAL NOROESTE DO
ESTADO DO CEARÁ**

Trabalho de Conclusão de Cursos apresentado ao curso de graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Michael Vandesteen Silva
Souto

Co-Orientadora: Prof. Dr. Cynthia Romariz Duarte

FORTALEZA-Ce

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Central do Campus do Pici

-
- M185a Maia, Claudiane dos Santos.
Análise da vulnerabilidade física à erosão costeira das praias de Bitupitá, Curimãs, Farol e Maceió – litoral noroeste do estado do Ceará / Claudiane dos Santos Maia, Elian Araújo Fernandes Costa. – 2017.
59 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Michael Vandesteem Silva Souto.
Coorientação: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte.
1. Praias. 2. Erosão. I. Costa, Elian Araújo Fernandes. II. Título.

CDD 551

CLAUDIANE DOS SANTOS MAIA
ELIAN ARAÚJO FERNANDES COSTA

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE FÍSICA À EROÇÃO COSTEIRA DAS PRAIAS
DE BITUPITÁ, CURIMÃS, FAROL E MACEIÓ - LITORAL NOROESTE DO
ESTADO DO CEARÁ**

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Michael Vandesteem Silva Souto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Fernando de Andrade Soares Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos permitir concluir nosso trabalho apesar das dificuldades.

A nossa família, pela compreensão nas ausências e apoio sempre.

Ao nosso orientador Professor Doutor Michael Vandesteem Silva Souto pela disposição constante em nos ajudar.

A nossa co-orientadora Professora Doutora Cynthia Romariz Duarte pelo apoio.

Aos colegas e colaboradores do GEOCE (Cláudio, Matheus, Aline, Linara), e em especial ao Allison Maia que nos ajudou na coleta de amostras e manuseio do GPS Geodésico.

A nossa amiga, colaboradora e incentivadora, Janaína Alves de Andrade que dispôs do seu tempo para correção e estruturação do nosso trabalho.

A todos que cooperaram e torceram para que o nosso trabalho fosse um sucesso.

DEDICATÓRIA

A Deus, por ser extremamente paciente e piedoso conosco...
Aos nossos familiares, que foram companheiros em todas as horas...

RESUMO

As zonas costeiras do Estado do Ceará são áreas que estão em constante modificação, seja por ações antrópicas ou por ações naturais ocasionado pela dinâmica costeira, resultando em retrogradação ou progradação da linha de costa. O presente trabalho teve como objetivo fornecer uma ferramenta de gestão costeira que permite identificar locais críticos, realizando o cálculo da taxa de vulnerabilidade física à erosão a que alguns segmentos costeiros estão subordinados. A pesquisa foi realizada na região inserida na porção noroeste do Estado do Ceará, compreendendo as praias de Bitupitá e Curimãs no município de Barroquinha, e as praias de Maceió e do Farol no município de Camocim, com foco nas mudanças ocorridas na linha de costa ao longo de quatro anos (2011-2014). A metodologia seguiu a proposta do cálculo dos índices de vulnerabilidade global e índices de vulnerabilidade parcial. Esses índices foram calculados a partir da análise das variáveis: morfologia costeira, presença de atributos naturais, influência marinha, processos costeiros e fatores antrópicos. A pesquisa teve, ainda, a etapa técnico-operacional que consistiu em no uso do *software* ArcGIS®, com a realização de georreferenciamento das cenas obtidas da rede de satélites *RapidEye*, aplicação do *software* DSAS para realizar o mapeamento da modificação da linha de costa no período analisado e cálculo da taxa de vulnerabilidade física à erosão costeira. Os resultados obtidos permitiram estimar o grau de vulnerabilidade à erosão que as praias em análise estão sujeitas, a fim de fornecer uma ferramenta eficiente de gestão costeira.

Palavras-chave: Índice de vulnerabilidade; Praias; Camocim; Barroquinha; Gestão costeira.

ABSTRACT

The coastal zones of Ceará are areas of the state that are constantly changing, either by anthropic actions or by natural actions caused by the coastal dynamics, resulting in retrogradation or progression of the coastline. This work aims to provide a coastal management tool that allows the identification of critical sites, calculating the rate of physical vulnerability to erosion to which some coastal segments are subordinate. The research was carried out in the northwestern portion of the state of Ceará, comprising the beaches of Bitupitá and Curimãs in the city of Barroquinha, and the beaches of Maceió and Farol in the city of Camocim, focusing on changes in the coastline over four years (2011-2014). The methodology followed the proposal of the calculation of the vulnerability indexes. These indexes were calculated from the analysis of the variables: coastal morphology, presence of natural attributes, marine influence, coastal processes and anthropic factors. The research also had the technical-operational stage that consisted in the use of ArcGIS® software, with georeferencing of the scenes obtained from the RapidEye satellite network, application of DSAS software to perform the mapping of the coastline modification in the period analyzed and calculation of the rate of physical vulnerability to coastal erosion. The results obtained allowed to estimate the degree of vulnerability to erosion that the beaches under analysis are subject to, in order to provide an efficient coastal management tool.

Keywords: Vulnerability index. Beaches. Comicm. Barroquinha. Coastal management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Mapa de localização da área de estudo.....	14
Figura 02: Vias de acesso da área de estudo.....	15
Figura 03: Geomorfologia da região	16
Figura 04 - Mapa dos tipos climáticos da região oeste do Estado	18
Figura 05- <i>Beach Rocks</i> aflorando na face praial da praia de Bitupitá	20
Figura 06 – Tomada de medidas da inclinação do terreno	27
Figura 07 - Identificação de dunas e cordões arenosos nas praias de Bitupitá e Curimãs ..	28
Figura 08 – Etapa de nivelamento altimétrico	33
Figura 09 – Medição da altura das ondas	35
Figura 10 - Coleta de amostra para as análises granulométrica em laboratório.....	36
Figura 11. Marca da maré mais alta.	38
Figura 12. Delimitação das linhas de costa	39
Figura 13 – Imagem <i>RapidEye</i> do ano de 2014	39
Figura 14 - Afloramentos da Formação Barreiras	45
Figura15 – Vegetação das praias de Curimãs e Farol	46
Figura 16 – DSAS Barroquinha	47
Figura 17 – DSAS de Camocim	49
Figura 18 – Processo erosivo maximizado pela construção de estrada asfaltada na praia...	50

LISTA TABELA

Tabela 01 – Indicadores de erosão costeira	30
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 01- Variáveis utilizadas para o cálculo dos índices de vulnerabilidade e seus pesos correspondentes	25
Quadro 02 - Relação entre os intervalos dos valores e os índices de vulnerabilidade	26
Quadro 03 - Informações sobre os municípios da área de estudo	31
Quadro 04 - Valores usados para classificar os Índices Parciais de Vulnerabilidade em graus	42
Quadro 05 - Índices de Vulnerabilidade associados à Morfologia Costeira	42
Quadro 06 - Índices de Vulnerabilidade associados aos Atributos Naturais	44
Quadro 07 - Índices de Vulnerabilidade associados à Influência Marinha	45
Quadro 08 - Índices de Vulnerabilidade associados aos Processos Costeiros	49
Quadro 09 - Índices de Vulnerabilidade associados à Influência Antrópica	50
Quadro 10 - Índices parciais, Índice Global e Grau de Vulnerabilidade das praias analisadas.....	51
Quadro 11 - Grau de classificação dos Índices Globais de Vulnerabilidade	51
Quadro 12 - Grau de vulnerabilidade que cada IPV exerce sobre as praias	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Perfil topográfico da praia de Bitupitá	43
Gráfico 2 - Perfil topográfico da praia de Curimãs	43
Gráfico 3 - Perfil topográfico da praia de Maceió	43
Gráfico 4 - Perfil topográfico da praia de Farol	44
Gráfico 5 – Cálculo EPR de Barroquinha	48
Gráfico 6 – Cálculo LRR de Barroquinha	48
Gráfico 7 – Cálculo EPR de Camocim	49

LISTA DE ABREVIATURAS

- CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
- DEGEO – Departamento de Geologia
- DSAS – Digital Shoreline Analysis System
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
- GPS – *Global Positioning System*
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
- IDECI – Instituto de Desenvolvimento Institucional das Cidades do Ceará
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
- IPVAN – Índice Parcial de Vulnerabilidade associados à presença de Atributos Naturais
- IPVIA – Índice Parcial de Vulnerabilidade associado a Influência Antrópica
- IPVIM – Índice Parcial de Vulnerabilidade associada a Influência Marinha
- IPVMC – Índice Parcial de Vulnerabilidade associado à Morfologia Costeira
- IPVPC – Índice Parcial de Vulnerabilidade associado aos Processos Costeiros
- IPV – Índices Parcial de Vulnerabilidade
- IVG – Índice de Vulnerabilidade Global
- PNGC – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
- RN – Referencial de Nível
- SIG – Sistema de Informações Geográficas
- SR – Sensoriamento Remoto
- ZCIIt – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
2.1 Localização e vias de acesso	16
2.2 Aspectos fisiográficos	17
2.2.1 <i>Geomorfologia</i>	17
2.2.2 <i>Hidrografia</i>	19
2.2.3 <i>Clima</i>	19
2.2.4 <i>Pedologia</i>	20
2.2.5 <i>Geologia</i>	21
2.3 Atividades econômicas	23
2.3.1 <i>Barroquinha</i>	23
2.3.2 <i>Camocim</i>	23
2.4 Vulnerabilidade à erosão costeira	24
2.5 Geotecnologias e o Monitoramento Costeiro	25
2.6 Cálculos dos índices de vulnerabilidade à erosão costeira	26
2.7 Categorias utilizadas para basear a análise	28
2.7.1 <i>Condições morfológicas</i>	28
2.7.2 <i>Atributos Naturais</i>	29
2.7.3 <i>Influência Marinha</i>	30
2.7.4 <i>Processos Costeiros</i>	31
2.7.5 <i>Influência Antrópica</i>	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 Pré Campo	34
3.2 Campo	34
3.3 Pós Campo	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado no extremo noroeste do Estado do Ceará, região caracterizada fisicamente por estar contida em uma zona costeira. Tendo em vista que faixas litorâneas passam por mudanças céleres em sua configuração, procurou-se fazer desta pesquisa um viés de estudo para compreender, identificar e quantificar fatores geológicos e geomorfológicos, assim como os agentes controladores dos processos dinâmicos atuantes dessas áreas para estabelecer uma análise à erosão a fim de elaborar mapas de regiões com tendências erosivas ao longo da linha de costa e fornecer uma ferramenta de gestão costeira e manejo que permita a identificação de locais críticos no que diz respeito à erosão por meio do cálculo de vulnerabilidade física que esses segmentos estão subordinados a fim de evitar riscos futuros provenientes de ocupações indevidas.

Os segmentos selecionados para esse estudo foram as praias de Bitupitá, Curimãs, Maceió e Farol, localizadas nos municípios de Barroquinha e Camocim. A escolha deu-se pelo fato de que são praias com um elevado potencial turístico, com projetos de urbanização em andamento, como o caso de Bitupitá e que, portanto, podem apresentar alterações na sua formação, tendo em vista as atividades recentes.

As praias representam sistemas transicionais, dinâmicos e sensíveis, em constante ajuste às flutuações dos níveis de energia locais. Sua principal função ambiental consiste na atuação como zona tampão, protegendo a costa da ação direta da energia do oceano (HOEFEL, 1998).

Basicamente todas as praias estudadas aqui ainda são pouco frequentadas por turistas, algumas tão nativas que são habitadas praticamente por pescadores. Porém, como em muitas praias do Estado do Ceará, a crescente necessidade de ocupar espaço e ampliar a atividade turística, faz com que a urbanização venha ocorrendo cada vez mais próxima à linha de costa. Desta forma, as edificações funcionam como obstáculo, impedindo as dunas móveis de realizarem sua função natural de engorda das praias locais. Além disso, os impactos ambientais na zona costeira, influenciados pela demanda acelerada de seus recursos vêm intensificando os efeitos da erosão nessas áreas, tornando-as mais vulneráveis ao processo erosivo.

A erosão costeira, caracterizada pelo recuo da linha de costa em direção ao continente e decorrente do balanço sedimentar negativo, promove a perda de importantes recursos naturais, além de grandes perdas econômicas. Cerca de 70% das praias arenosas do mundo encontram-se atualmente em processo de erosão (BIRD & SCHWARTZ, 1985).

A conservação e manutenção das praias mereceu destaque na Conferência Mundial das Nações Unidas sobre assuntos ligados à conservação de zonas de praias e foram inseridas no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, PNGC (Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1998).

De acordo com o decreto 5300/2004 que regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, a zona costeira brasileira, considerada patrimônio nacional pela Constituição de 1988, corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e uma faixa terrestre.

Segundo o Art. 6º desta lei, são objetivos da gestão da zona costeira:

- I - a promoção do ordenamento do uso dos recursos naturais e da ocupação dos espaços costeiros, subsidiando e otimizando a aplicação dos instrumentos de controle e de gestão da zona costeira;
- II - o estabelecimento do processo de gestão, de forma integrada, descentralizada e participativa, das atividades socioeconômicas na zona costeira, de modo a contribuir para elevar a qualidade de vida de sua população e a proteção de seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural;
- III - a incorporação da dimensão ambiental nas políticas setoriais voltadas à gestão integrada dos ambientes costeiros e marinhos, compatibilizando-as com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC;
- IV - o controle sobre os agentes causadores de poluição ou degradação ambiental que ameacem a qualidade de vida na zona costeira;
- V - a produção e difusão do conhecimento para o desenvolvimento e aprimoramento das ações de gestão da zona costeira. (Página 3 da Seção 1 do Diário Oficial da União -DOU de 8 de Dezembro de 2004).

De acordo com os aspectos mencionados, esta pesquisa pode ser vista como uma contribuição às atividades realizadas pelo órgão responsável pela gestão da zona costeira.

O uso de ferramentas como Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em conjunto com o Sensoriamento Remoto (SR) é de fundamental importância para estudo e monitoramento desses ecossistemas que sofrem grandes influências degradativas. Sendo assim, a definição e a quantificação da vulnerabilidade costeira permitem identificar riscos e áreas prioritárias para a concentração de estudos e para a realização de ações de manejo. Portanto este estudo se torna uma ferramenta para reconhecer setores suscetíveis a danos e facilitar a gestão de técnicas e planejamento de manejo para redução de riscos associados a estes ambientes.

Os problemas aqui apresentados nos levam a pensar nas seguintes questões: **Qual dos atributos avaliados exerce maior influência no grau de vulnerabilidade? Entre as praias de Bitupitá, Curimãs, Maceió e Farol, qual (ou quais) apresenta(m) maior grau de vulnerabilidade?**

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo geral identificar as praias com maior grau de vulnerabilidade em relação a erosão física, bem como avaliar os fatores de maior influência nas regiões de Barroquinha e Camocim através de análise quantitativa e semi-quantitativa dos atributos propostos na metodologia e avaliação de mapas comparativos da evolução da linha de costa dessa região, e como objetivos específicos:

- Avaliar, através de mapas comparativos, a evolução da linha de costa nos municípios de Barroquinha e de Camocim entre os anos de 2011 e 2014, por meio de imagens de alta resolução espacial, identificando áreas com tendências retrogradativas/progradativas;
- Identificar os fatores de vulnerabilidade de maior influência na região estudada estabelecendo um comparativo entre elas;
- E analisar os dados de evolução da linha de costa de 4 anos de intervalo (2011-2014) com o momento atual do posicionamento da linha de costa para o ano de 2017, utilizando imagem Landsat 8 - OLI.

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, detalhados a seguir: **Introdução** – aborda os aspectos gerais do trabalho e objetivos da pesquisa; **Contextualização da Área de Estudo** – apresenta a localização da área de estudo, aspectos fisiográficos e erosão costeira; **Metodologia** – explicita os métodos e procedimentos utilizados para atingir os objetivos da pesquisa; **Resultados e Discussão** – onde serão apresentados os resultados obtidos tanto da análise laboratorial quanto proveniente do levantamento de campo; e **Considerações Finais** – apresentação dos fatos conclusivos frente aos resultados avaliados.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização e Vias de acesso

A área de estudo localiza-se no litoral Noroeste do Estado do Ceará (Figura 1). Compreende uma faixa de aproximadamente 50 km a partir da foz do Rio Timonha, localizado no município de Barroquinha, mais precisamente da praia de Bitupitá, abrangendo o município de Camocim até a praia do Farol, delimitado pelo Rio Coreaú.

Figura 01 - Mapa de localização das áreas de estudo.



Fonte: Google Earth (2017).

O acesso à área de estudo, partindo da capital Fortaleza, se dá pela rodovia estadual CE-085, conhecida como “via estruturante”, seguindo pela rodovia federal BR-402 e até a cidade de Barroquinha, percorrendo mais 20 km, até chegar num desvio à esquerda, que dá acesso à rodovia estadual CE-187, que dá acesso ao distrito de Bitupitá após percorrer mais cerca de 57 km. Todo o trajeto de acesso perfaz cerca de 417 km no total entre Fortaleza e Bitupitá (Figura 2). O tempo de deslocamento entre as cidades é estimado em pouco mais de 5 horas de viagem utilizando veículo automotor. Demais acessos foram feitos por vias vicinais em estradas carroçáveis ou mesmo pela faixa de praia, percorrendo com o veículo 4x4.

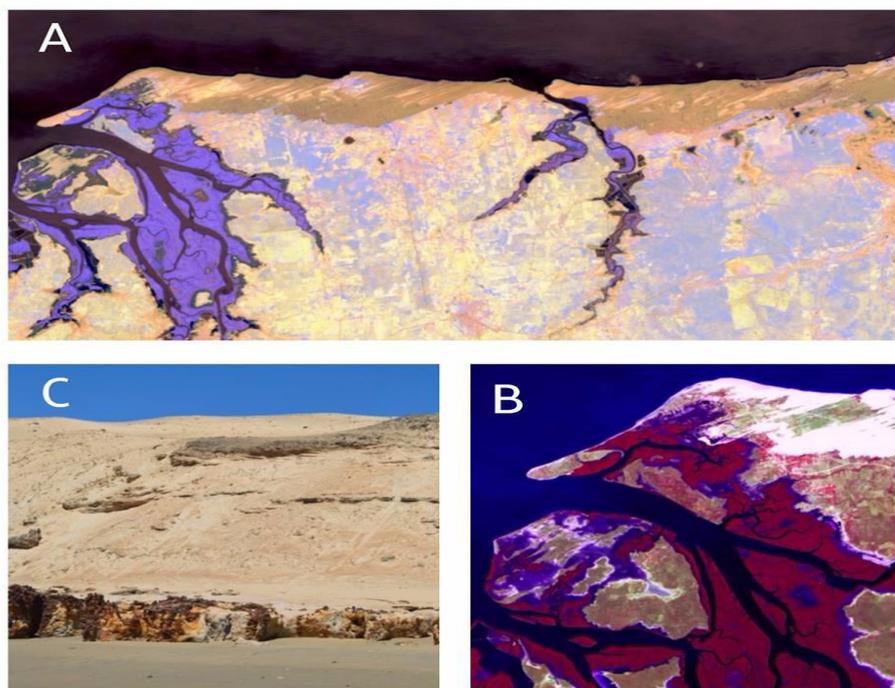
praia/pós-praia, dunas e planícies flúvio-marinha, com um modelo predominantemente plano e suavemente ondulado em direção ao mar, resultado da acumulação marinha, possuindo de 3 a 3,5 km de largura (FUNCEME 2009).

2.2.1.2 Tabuleiros Costeiros

Os Tabuleiros Costeiros consistem em formas de relevo tabulares, de extensos topos planos, esculpidos em rochas sedimentares (Formação Barreiras), em geral pouco litificadas (Figura 3B), com predomínio de processos de pedogênese (BEZERRA & MAIA, 2012). De acordo com Souza *et al.* (1979), esses tabuleiros apresentam-se como uma rampa suavemente inclinada do interior para o oceano, com declividade não superior a 5%.

Estão presentes após os campos de dunas, e têm altitudes que variam normalmente entre 30 e 50 metros, possuindo um modelado plano e declividade inferior a 5%. Sua distribuição ocorre ao longo da linha de costa estando situados na retaguarda da frente marinha, sendo interrompidos pelos estuários dos rios que atingem o litoral (BEZERRA & MAIA, 2012).

Figura 03 – Geomorfologia da região



Fonte: A e B- INPE, 2017. C- Autoras, 2017

(A) Imagem Landsat 8 (composição R7/4-G6/4-B5/4) mostrando toda Planície Costeira da área de estudo; (B) Fotografia de uma pequena exposição da Formação Barreiras em processo erosivo; e (C) Imagem Landsat 8 (composição R5-G6-B3) mostrando a Planície Flúvio-Marinha da foz dos rios Timonha e Ubatuba no distrito de Bitupitá pela instalação da floresta de manguezal.

2.2.1.3 Planície Flúvio-Marinha

A Planície Flúvio-Marinha é uma área plana resultante da ação de acumulação fluvial e marinha, sujeita a inundações periódicas resultante das marés diárias. É uma área que comporta canais fluviais, manguezais, cordões arenosos e deltas (IBGE, 2009).

Observa-se, então, que sob a influência da preamar os sedimentos marinhos são depositados ao lado dos aluviões fluviais. Este ambiente cria condições para a fixação de mangues que se dispõem longitudinalmente às calhas fluviais, próximo às embocaduras dos rios (Figura 03C). Ocorrem manguezais, com sedimentos pelíticos associados à matéria orgânica (ICMBio, 2009). A planície flúvio-marinha na área é dominada pela foz do Rio Timonha e Ubatuba, que tem sua nascente no Glint da Ibiapaba e seus afluentes. Glint é o termo empregado para a forma de relevo de borda de bacia sedimentar na qual a depressão periférica foi modelada em terrenos cristalinos (CLAUDINO-SALES & LIRA, 2011).

2.2.2 Hidrografia

A área de estudo está localizada na bacia Hidrográfica do Coreaú, possuindo os seguintes limites: ao sul com as bacias do Parnaíba e Acaraú, a oeste com o Estado do Piauí, a leste com a bacia do Rio Acaraú e ao norte com o Oceano Atlântico. Esta bacia hidrográfica drena os municípios de Barroquinha, Camocim, Chaval, Coreaú, Frecheirinha, Jijoca de Jericoacoara, Martinópole, Moraújo, Senador Sá e Uruoca, e parcialmente Acaraú, Alcântaras, Bela Cruz, Cruz, Granja, Ibiapina, Marco, Meruoca, Morrinhos, Mucambo, Sobral, Tianguá, Ubajara e Viçosa do Ceará. É composta pela área drenada pelo Rio Coreaú e seus tributários, além de sub-bacias formadas pelos rios Timonha, Tapuio, Pesqueiro, Jaguarapari, Corrente Laranja, Lago Seco, Mourão, Forquilha, Poeira, Mourão e Prata, perfazendo um total de 10.657 km² de área, correspondendo a 7% do território cearense.

2.2.3 Clima

O clima da região é controlado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIt) que corresponde ao sistema mais importante em fornecer precipitação para a região equatorial. Apresenta confluência entre os ventos de alísio de nordeste e sudeste. O clima é do tipo Tropical Quente Semiárido Brando (Figura 4). Os índices pluviométricos anuais giram em torno de 889,45mm e temperaturas médias anuais próximas de 24,75°C. Os maiores índices pluviométricos dos municípios em questão concentram-se ao longo dos meses de fevereiro a maio, enquanto os menores índices ocorrem de agosto a dezembro.

2.2.5 Geologia

2.2.5.1 Formação Barreiras

A Formação Barreiras é uma unidade estratigráfica de origem predominantemente continental, embora com sucessões transicionais (estuarinas) identificáveis em alguns locais (CAVALCANTE *et al.*, 2003). Compõe-se de conglomerados oligomíticos quartzosos, arenitos quartzosos a arcossianos e lamitos, com estruturas de fluxo indicadas por estratificações cruzadas e imbricações de seixos, sempre no rumo oceânico. A presença de fósseis é muito localizada onde incluem restos vegetais, foraminíferos, palinomorfos e restos de conchas (ARAI, 2006). No Ceará, a Formação Barreiras ocorre faciologicamente distinta por uma questão de exposição e/ou preservação de seus depósitos ao longo da costa (CAVALCANTE *et al.*, 2003). Níveis lateríticos ocorrem ao longo da unidade, sendo mais espessos em meio aos níveis conglomeráticos ou em arenitos.

2.2.5.2 Coberturas Quaternárias

O Quaternário da área de pesquisa é representado por depósitos eólicos (várias gerações, inclusive eolianitos), e depósitos aluviais recentes (origem fluvial e mista, estuarina) e lagunar (CLAUDINO-SALES, 2002).

2.2.5.3 Depósitos praias

No Ceará, predominam praias oceânicas dominadas por ondas e compostas de areias inconsolidadas médias, geralmente quartzosas, mas com teores variáveis de biodetritos, com destaque para fragmentos algáceos de origem plataformar (BEZERRA, 2009). Sua largura varia de dezenas a centenas de metros, com comprimentos de até dezenas de quilômetros. A morfologia geral é muito variável, mas cita-se a presença de cúspides próxima a desembocadura dos rios mais perenes, onde associam-se aos depósitos de matéria orgânica e teor elevado de minerais pesados (CARVALHO, 2003). Entre seus depósitos mais antigos, destacam-se os *beach rocks*, que são consolidados por cimento carbonático vadoso. A maioria desses associam-se a desembocaduras fluviais recentes ou de longo termo, que favorecem quebra de solubilidade do CaCO_3 das águas marinhas por suas águas doces relativamente ácidas. As análises efetuadas por Maia *et al.* (1997), nos *beach rocks* (Figura 5) do litoral cearense, indicam constituição geral semelhante ao das praias atuais adjacentes, com areias compostas de quartzo (45-75%), de granulação entre 0,05-2,2 mm, em grãos subangulosos a subarredondados, e cimentadas predominantemente por carbonato de cálcio (CaCO_3).

Figura 5- *Beach rocks* aflorando na face praial da praia de Bitupitá.



Fonte: Autoras, (2017).

2.2.5.4 *Depósitos eólicos*

Quanto a depósitos eólicos, a subdivisão mais aceita se dá em três a quatro gerações cronologicamente e litologicamente distintas (CARVALHO & MAIA, 1990; MAIA, 1998; CLAUDINO-SALES, 2002; CARVALHO, 2003), embora persistam alguns problemas relacionados à precisão de sua cronologia (GIANNINI, 2007). Carvalho *et al* (2008) descreveram quatro gerações nos seguintes termos: i. Primeira geração (pleistocênica) - paleodunas sem formas atuais definidas, situadas no topo da Formação Barreiras e constituídas por areias quartzosas pouco consolidadas, com granulação desde grãos finos a médios e de coloração vermelha escura; ii. Segunda geração (holocênica) - dunas parabólicas estabilizadas por vegetação, constituídas por areias quartzosas inconsolidadas de granulação média a fina e cores que variam de laranja a cinza; iii. Terceira geração (holocênica) - eolianitos friáveis ou fortemente litificados, constituídos por areias predominantemente quartzosas de granulação média a fina, cimentadas por carbonato de cálcio, situados acima da planície marinha holocênica, mas abaixo do sistema de dunas móveis atuais. Essas dunas teriam sido originadas durante o baixo nível marinho do final do Holoceno; iv. Quarta geração (holocênica) - dunas ativas atuais, incluindo barcanas, barcanóides, lençóis de areia e dunas frontais, constituídas por areias quartzosas de granulometria média a fina.

2.2.5.5 *Depósitos aluviais*

Segundo Cavalcante *et al.* (2003), no estado do Ceará os depósitos aluviais são constituídos por argilas, areias argilosas, areias quartzosas, areias quartzo feldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos e argilas orgânicas típicas de sistema fluvial e/ou com influência marinha a jusante (estuários ou planícies de maré estuarinas). Na área de pesquisa, estes depósitos estão associados aos rios Mundaú, Aracatiaçu, Aracatimirim e Acaraú. Segundo Maia (1998), a zona de desembocadura dos principais cursos fluviais encontra-se submetida à influência das interações das flutuações de marés e o fluxo fluvial, os quais controlam uma série de depósitos característicos, tendo como maior destaque os depósitos de lamas orgânicas e vegetais associados a mangues, em zonas de supramarés abrigadas, e *beach rocks*, em zonas de domínio de canais de maré ou porções mais externas.

2.3 Atividades econômicas

2.3.1 Barroquinha

As principais atividades econômicas do município de Barroquinha são a obtenção de sal marinho e agricultura de subsistência, com culturas de feijão, milho, mandioca, monocultura de algodão, côco-da-baía e castanha de caju. Também existe a extração de sal marinho, práticas de extrativismo vegetal para a fabricação de carvão vegetal além da forte influência do artesanato local com a produção de redes e bordados em todo o município.

2.3.2 Camocim

De acordo com o Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por água Subterrânea no Estado do Ceará, as principais atividades econômicas residem no turismo, pesca industrial e/ou artesanal de frutos do mar e pescado, e agricultura, destacando-se as culturas de feijão, milho, mandioca, monocultura de algodão, cana-de-açúcar, castanha de caju e frutas. Na área de mineração, merece destaque a extração de rochas ornamentais, rochas para cantaria, brita, fachadas e usos diversos na construção civil.

2.4 Vulnerabilidade à erosão costeira

Vulnerabilidade física ambiental é um termo bem amplo, visto que existem na literatura diversas definições, e que estas mesmas dependem dos fatores e problemas ambientais e climáticos específicos a que o alvo estudado é submetido. Segundo Gallopin (2006), é importante definir quais perturbações serão objeto do estudo, uma vez que um sistema pode ser vulnerável a um tipo de problema, enquanto a outros não.

Zêzere (2005), expõe a definição de vulnerabilidade como sendo “o grau de perda de um elemento vulnerável, ou o conjunto de elementos vulneráveis, causado por um fenômeno natural ou humano com uma intensidade ou magnitude específica”. A partir de indicadores geomorfológicos e tantas outras características naturais desses ambientes, diversos estudos voltados à avaliação e quantificação da vulnerabilidade foram realizados, assim como outros estudos relacionando os aspectos ambientais, como também à vulnerabilidade gerada pelas intervenções humanas no meio.

Dal Cin & Simeoni (1994) ressaltam que para ter uma estimativa relativa de risco ambiental é preciso fazer uma combinação da vulnerabilidade com o grau de urbanização da área estudada. Assim, em costas remotas e naturais, a erosão pode ter pouca importância e a perda de sedimentos em uma determinada área pode significar acreção em outra, processo esse decorrente da deriva litorânea. Em áreas urbanizadas/desenvolvidas o processo erosivo pode se tornar um problema maior, por esse motivo, a erosão costeira passou a ser tratada não apenas pelos estudos voltados para a compreensão dos processos físicos, mas também sob um enfoque sócio-econômico, visando também integrar com a urbanização da região estudada.

A definição e a quantificação da vulnerabilidade costeira, permitem identificar riscos e áreas prioritárias para a concentração de estudos e para a realização de ações de manejo (CAPOBIANCO *et al.*, 1999). Com isso, um estudo realizado por Esteves (2003), que a partir de características de ocupações urbanas, alteração da paisagem natural e erosão costeira, definiu as seguintes áreas de manejo:

Áreas críticas – São áreas que necessitam de gerenciamento costeiro corretivo. Apresentam tendência de erosão, praia estreita, dunas primárias ausentes ou muito alteradas, destruição de estruturas costeiras durante eventos de alta energia, urbanização intensa e/ou crescente ocupação e uso do solo.

Áreas de ação prioritária- São áreas sob pressão crescente em que urge a aplicação de medidas de prevenção. Apresentam-se estáveis, com sistema praia/duna pouco alterado e urbanização moderada, mas que recentemente vem crescendo progressivamente juntamente com a intensificação do uso (aumento populacional sazonal ou permanente, valorização imobiliária, conflitos de interesses)

Áreas latentes - São áreas que atualmente não se encontram sob grande pressão de uso, mas que têm potencial de, num futuro próximo, tornar-se uma área de ação prioritária. Em geral, ocorrem nas proximidades de áreas de urbanização e ocupação intensa ou áreas de difícil acesso que recentemente tiveram vias de acesso ampliadas ou criadas. Apresentam-se estáveis ou em acreção, com sistema praia/duna pouco ou nada alterados e urbanização moderada a baixa.

Áreas naturais – são áreas que têm suas características naturais preservadas, não urbanizadas, que apresentam pouca pressão de uso e sem indícios de que essas condições serão alteradas em futuro próximo. (ESTEVEZ, 2003, p.58)

A classificação descrita acima é de fundamental importância para caracterizar áreas vulneráveis ou que possuem tendências potenciais à erosão, tornando-a uma ferramenta de gestão costeira eficiente para ações interventivas ou preventivas.

Souza (2009), ressalta que sua principal causa é decorrente da insuficiência de balanço sedimentar favorável à manutenção dessas regiões. Este balanço é subordinado a processos sedimentares (erosão, deposição e transporte) e que esses processos são condicionados a fatores climáticos, meteorológicos, oceanográficos (ações das ondas, marés e ventos e correntes de deriva litorânea), hidrológicos (aporte de sedimentos continentais através de rios), geológicos e antrópicos (intervenção do homem em processos costeiros naturais).

Segundo Souza (2009), a erosão costeira ou praial pode trazer diversas consequências à praia e aos ambientes adjacentes a ela, são elas: redução na largura da praia e recuo da linha de costa; perda e desequilíbrio de habitats naturais pela destruição de praias ou de alguma de suas zonas, dunas, manguezais; ocorrência de inundações na planície litorânea, causadas por ressacas ou picos de marés de sizígias; comprometimento da paisagem e consequentemente do potencial turístico, entre outros.

2.5 Geotecnologias e o Monitoramento Costeiro

As Geotecnologias são compostas por diversos tipos de ferramentas que promovem análise mais apurada de diversos tipos de situação ou problemas que devam ser analisados pelo usuário. Elas possibilitam realizar análises de aspectos qualitativos e quantitativos dos dados, gerando informações de resultados mais eficientes. A disponibilidade destas ferramentas vem crescendo na última década pela crescente demanda de usuários multidisciplinares, principalmente quando os trabalhos são voltados para análise ambiental.

A Geodésia de precisão e o Sensoriamento Remoto são recursos operacionais que permitem levantamentos sistemáticos com alta precisão dentro das geotecnologias. As

aplicações são as mais variadas possíveis, no entanto, o seu uso é mais destinado para pesquisas de monitoramento. A disponibilidade de imagens de forma gratuita por órgãos governamentais (INPE e EMBRAPA, por exemplo) são extremamente úteis no acompanhamento das modificações dos ambientes por meio da análise das diferentes unidades geoambientais através do tempo, fornecendo desta forma, a possibilidade de monitorar as informações superficiais contidas numa imagem por meio da análise multitemporal.

O monitoramento costeiro pode ser aplicado por meio de levantamentos sistemáticos pela Geodésia em campo em diferentes datas ou através do levantamento de imagens multitemporais, onde possam ser extraídas as informações da linha de costa, por exemplo. Este tipo de estudo permite uma análise multivariada de uma área, seja de escala espacial ou especialmente da escala temporal, onde os dados avaliados possibilitarão interpretar os problemas existentes, chegando até mesmo a efetuar prognósticos futuros de comportamentos por meio de uma análise mais apurada (AMARO *et al* 2012).

Sendo a zona costeira de natureza dinâmica, com conseqüente mudanças nas topografias das unidades geoambientais e geoespaciais em comparações temporais, encontram nas geotecnologias as ferramentas fundamentais que viabilizam esse cálculo, e que foram utilizadas no presente trabalho, como a ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), usada para calcular a velocidade de migração da linha de costa em um determinado período. Para isso, foi importante o mapeamento da linha de costa para avaliação das mudanças ocorridas na morfologia costeira ao longo do tempo avaliado. Logo, foram utilizadas as imagens orbitais da constelação de satélites *RapidEye* (satélite alemão que opera em cinco satélites e gera imagens multiespectrais coloridas de excelente resolução) para um intervalo de tempo de três anos de observação (2011 a 2014). O uso da geodésia foi para amarração dos perfis de praia executados na área estudada.

2.6 Cálculo dos índices de vulnerabilidade à erosão costeira

A proposta de cálculo dos índices de vulnerabilidade física à erosão costeira foi embasada na metodologia desenvolvida por Mallmann & Araújo (2010), que se fundamenta em dados quantitativos e qualitativos de 21 variáveis agrupados em 5 categorias (Quadro 1), às quais são atribuídos pesos específicos e são proporcionais ao grau de influência sobre a vulnerabilidade da costa à erosão; esses dados estão relacionados a um Índice de Vulnerabilidade Global (IVG). O IVG é calculado a partir de 5 Índices Parciais de

Vulnerabilidade (IPV) relacionados à morfologia costeira, à presença de atributos naturais, à influência marinha, aos processos costeiros e a fatores antrópicos.

Todos os dados foram organizados em uma planilha do Excel (Quadro 1) e os índices de vulnerabilidade parcial foram calculados separadamente. Usou-se o algoritmo que consiste na raiz quadrada do produto das variáveis codificadas pelo produto dos pesos e dividido pelo número de variáveis (Equação 1).

$$IPV = \frac{\sqrt{v_1 * v_2 * v_3 \dots v_n}}{n} \quad (\text{Equação 1}).$$

No qual: v = variável e n = número de variáveis.

Os IPV's foram integrados no índice global de vulnerabilidade (IGV) a partir do seu somatório. (Equação 2).

$$IGV = \sum IPVs \quad (\text{Equação 2}).$$

Quadro 1 - Variáveis utilizadas para o cálculo dos índices de vulnerabilidade e seus pesos correspondentes

Descritores	Pesos		
	1	2	3
Condições Morfológicas			
Tipo de orla *	Abrigada	Semiabrigada	Exposta
Largura da pós-praia	Ampla (>70m)	Média (30-70m)	Estreita (<30m)
Inclinação da pós-praia	Íngreme (>30°)	Moderada (5-30°)	Suave (<5°)
Diâmetro médio do grão	Areia grossa (0,5-1mm)	Areia média (0,25-0,5mm)	Areia Fina (0,125-0,25mm)
Atributos Naturais	1	2	3
Recifes paralelos à costa	Presente	-	Ausente
Manguezal	Presente	-	Ausente
Distância de foz de rio	Distante	Moderada (adjacências)	Próximo (segmento)
Dunas ou cordões arenosos	Presente	-	Ausente
Afloramento rochoso	Ausente	-	Presente
Influência Marinha	1	2	3
Variação de maré *	Micro (<2m)	Meso (2-4m)	Macro (>4m)
Tipo de arrebentação	Deslizante	-	Mergulhante
Largura da zona de surfe	Ampla	Média	Estreita
Praia recreativa na maré alta	Sim	-	Não
Altura significativa de onda	<0,5m	0,5-1m >	1m
Processos Costeiros	1	2	3
Indicadores de erosão	Ausente	-	Presente
Indicadores de acumulação	Presente	-	Ausente
Taxa anual de deslocamento de linha de costa **	> 0,5 m.ano ⁻¹	de -0,5 a 0,5 m. ano ⁻¹	> -0,5 m. ano ⁻¹
Influência Antrópica	1	2	3
Urbanização do beach front	Baixa (<30%)	Moderada (30-70%)	Alta (>70%)
Tipo de construções	Casas	-	Prédios
Local onde a primeira faixa de construções está assentada	Atrás da pós-praia	Pós-praia	Praia
Estrutura de proteção costeira	Ausente	-	Presente
Taxa de crescimento demográfico*	<10%.ano ⁻¹	10 a 20%.ano ⁻¹	> 20%.ano ⁻¹

Fonte: Mallmann & Araújo (2010).* Dados obtidos ou calculados a partir de informações pré-existentes; **Dados obtidos através de imagens de satélites tratadas em ambiente SIG.

E por fim, para expressar quantitativamente o IGV, os valores finais do IGV foram divididos por um denominador comum representado pelo somatório dos valores

máximos possíveis de cada IPV. Assim, foram obtidos valores expressos em percentuais. Logo abaixo, no quadro 2 utilizado por Mallmann & Araújo (2010), encontra-se os intervalos formatados em quartis e seus respectivos valores expressados em porcentagem, a fim de estabelecer uma relação entre os intervalos e o grau de vulnerabilidade.

Quadro 2: Relação entre os intervalos dos valores e os índices de vulnerabilidade

Intervalo	Grau de Vulnerabilidade
Valor mínimo – Primeiro quartil (de 0 a 25%)	Baixo
Primeiro quartil – Segundo quartil ($25% > x \leq 50%$)	Moderado
Segundo quartil – Terceiro quartil ($50 > x \leq 75%$)	Alto
Terceiro quartil – Valor máximo ($75% > x \leq 100%$)	Muito Alto

Fonte: adaptado de Mallmann & Araújo (2010).

2.7 Categorias utilizadas para basear a análise

2.7.1 Condições Morfológicas

De acordo com o projeto orla, a orla marítima é definida como unidade geográfica incluída na zona costeira e é delimitada pela faixa entre terra firme e o mar. Para efeito deste estudo usou-se a classificação baseada nas características físicas que dizem respeito ao grau de exposição, são eles:

- 1) Orla abrigada: ambiente litorâneo constituído por golfos, baías, enseadas, estuários ou praias protegidas da incidência direta de ondas, raramente apresenta dunas frontais, apresenta sedimentos de granulometria fina (areia fina e muito fina, silte e argila). Denota-se a presença de praias com formato predominantemente côncavo, típicas de litorais recortados e com face pouco ou não voltada para a direção de maior incidência da ação dominante dos ventos e ondas.
- 2) Orla exposta: Representa praias abertas, com presença de dunas frontais, apresentam baixa concavidade, sendo mais retilíneas e de orientação normal à direção de maior incidência da ação dominante dos ventos e ondas, com sedimentos geralmente compostos por areia grossa, média e fina.
- 3) Orla semi-abrigada: Apresenta características intermediárias entre as áreas expostas e abrigadas apresentando comumente formato côncavo ou de baixa concavidade, com a presença de granulometria constituída por areia média a muito fina

O atributo inclinação do terreno tem como objetivo fornecer informações sobre o potencial de inundação ocasionado pelo aumento relativo do nível do mar que a praia está

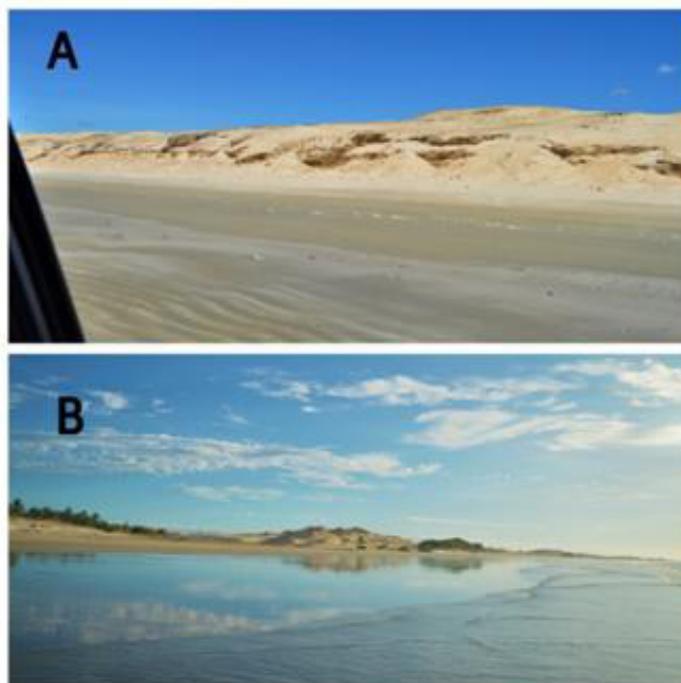
sujeita, e a variável diâmetro médio do grão está relacionada ao grau de energia do ambiente e a capacidade de conter sedimentos na compartimentação pós-praia. Desta forma, o atributo granulometria dos sedimentos tem influência na ação erosiva das ondas, pois sedimentos de granulometria mais fina possuem menos resistência ao transporte do que sedimentos mais grossos (MORTON, 2002)

2.7.2 Atributos Naturais

A identificação da variável presença de recifes paralelos à costa, afloramentos rochosos e presença de mangue, atua como barreira de proteção da costa à ação erosiva das ondas e marés.

Segundo (CALLIARI *et al.*, 2003), a identificação da presença de dunas e cordões arenosos nas faixas costeiras (Figura 07) é de extrema importância no que diz respeito ao balanço sedimentar, pois são capazes de armazenar grandes volumes de sedimento e uma vez que são responsáveis pela dissipação de uma parte considerável de energia de ondas provenientes de mar aberto que alcança a face praial.

Figura 07 - Identificação de dunas e cordões arenosos nas praias de Bitupitá (A) e Curimãs (B).



Fonte: Autoras, (2017).

2.7.3 *Influência Marinha*

O regime de marés é um dos fatores que rege a configuração geomorfológica das faixas costeiras. O atributo variações de maré foi baseado na classificação de Davies (1964) que categorizou a variação das marés como sendo micromarés (< 2 m), mesomarés (2-4 m) e macromaré (> 6 m). Estes regimes constituem importante veículo para transporte de sedimentos, além disso podem refletir no que diz respeito ao deslocamento periódico da posição da face praial, da zona de surfe e de deformação das ondas sobre o perfil praial (CALLAIRI *et al.*, 2003). “No Brasil, as micromarés ocorrem nas costas sul e sudeste, as mesomarés atuam na costa leste e em parte do nordeste, e as macromarés ocorrem em parte da costa nordeste e em toda a costa norte” (SOUZA *et al.*, 2005, p. 13)

A variável tipo de arrebentação usada no trabalho se baseou na classificação de Galvin (1968): arrebentação progressiva ou deslizante é característica de praias com baixa declividade, fazendo com que a onda deslize sobre o perfil praial e sua energia é dissipada ao longo dessa longa faixa; arrebentação mergulhante é característica de praias que apresentam declividade alta, tendo como consequência a dificuldade da onda ser quebrada e ascendendo na face praial com energia alta; arrebentação frontal como sendo uma quebra intermediária entre a arrebentação mergulhante e ascendente, geralmente ocorre em praias com declividade abrupta.

A variável altura significativa de onda é usada como indicador de energia capaz de realizar transporte de sedimentos costeiros. Assim, a capacidade de mobilizar e transportar materiais costeiros é uma função da altura das ondas e sua energia aumenta em função do quadrado de sua altura.

2.7.4 *Processos Costeiros*

Os indicadores de erosão costeira usados no presente trabalho foram baseados na classificação de Souza *et al.* (2005). A erosão pode ser identificada através de indicadores (Tabela 1) e por agentes condicionantes que atuam conjuntamente contribuindo para este processo.

Tabela 1 – Indicadores de erosão costeira.

Indicadores de erosão costeira
I – Pós-praia muito estreita ou inexistente devido à inunda��o permanente durante as preamares de sizígia (praias urbanizadas ou não).
II – Retrograda��o geral da linha de costa nas últimas décadas, com diminui��o da largura da praia em toda a sua extensão, ou mais acentuadamente em determinados locais (praias urbanizadas ou não).
III – Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, sem o desenvolvimento de falésias ou escarpamentos em dunas e terraços marinhos (praias urbanizadas ou não).
IV – Presença de falésias com alturas de até dezenas de metros em rochas sedimentares mesozoicas, sedimentos terciários (Forma��o Barreiras) e rochas de praia pleistocênicas e holocênicas, e presenças de escarpamentos em depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias (praias urbanizadas ou não).
V – Destrui��o de faixas frontais de vegeta��o de “restinga” ou de manguezal e/ou presença de raizes e troncos em posi��o de vida soterrados na praia, devido �� erosão e soterramento causados pela Retrograda��o/migra��o da linha de costa, ou por processos de sobrelavagem (ilhas e praias-barreiras).
VI – Exuma��o e erosão de depósitos paleolagunares, turfeiras, arenitos de praia ou terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, sobre o estirâncio e/ou a face litorânea atuais, devido �� remo��o das areias praias por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não).
VII – Frequente exposi��o de “terraços ou falésias artificiais!”, apresentando pacotes de espessura até métrica, formados por sucessivas camadas de aterros soterrados por lentes de areias praias/dunares (contato entre a praia e a área urbanizada).
VIII – Constru��o e destrui��o de estruturas artificiais erguidas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos que bordejam a praia, a pós-praia, o estirâncio, a face litorânea e/ou zona de surfe.
IX – Retomada erosiva de antigas plataformas de abrasão marinha, elevadas de +2 a +6 m, formadas sobre rochas do embasamento ígneo-metamórfico pré-cambriano a mesozoico, ou rochas sedimentares mesozoicas, ou sedimentos terciários (Forma��o Barreiras) ou arenitos praias pleistocênicos, em épocas em que o nível do mar encontrava-se acima do atual, durante o final do Pleistoceno e o Holoceno (praias urbanizadas ou não).
X – Presença de concentra��es de minerais pesados em determinados trechos da praia, em associa��o com outras evidências erosivas (praias urbanizadas ou não).
XI – Presença de embaiamentos formados pela atua��o de correntes de retorno concentradas associadas a zonas de barlar ou centros de divergência de células de deriva litorânea localizados em local mais ou menos fixo da praia, podendo ocorrer também processos de sobrelavagem (ilhas e praias-barreiras).

Fonte: SOUZA *et al* (2005, p. 139).

Os indicadores de acumula  o investigados em campo foram: dunas frontais elevadas, sem rupturas e vegetadas; praia larga com berma bem desenvolvida; presença de berma recém vegetada e falésias inativas. A cobertura vegetal presente na praia tem fun  o de reduzir a a  o dos ventos por meio da fixa  o de sedimentos, fornecendo maior resistência    erosão (MORTON, 2002).

2.7.5 Influência Antrópica

Dados relacionados a proje  o populacional (Quadro 3) são de fundamental importância no que diz respeito    erosão e vulnerabilidade. Relaciona-se    densidade demográfica e    taxa de crescimento populacional a necessidade de ocupar espaço, elevando a taxa de urbaniza  o e conseqüentemente os problemas estruturais que esse processo gera no ambiente natural. O quadro a seguir (Quadro 3) apresenta a taxa de crescimento populacional e densidade demográfica entre os anos de 2010 a 2016, calculados pelas autoras a partir de dados estabelecidos pelo IBGE.

Quadro 3 - Informações sobre os municípios da área de estudo

Municípios	Barroquinha	Camocim
Características		
População estimada em 2010	14.476	60.158
População estimada em 2016	14.854	62.734
Densidade Demográfica 2010 (hab/km²)	37,76	53,48
Densidade Demográfica 2016 (hab/km²)*	38,74	55,77
Área da unidade territorial km²	383,405	1.124,782
Taxa de crescimento populacional (2010- 2016)*	2,5%	4,1%

Fonte: IBGE (2017).

*Dados calculados pelas autoras a partir de informações pré-existentes.

A variável urbanização do *beach front* é responsável pela destruição de dunas por impermeabilizar compartimentos da praia. Já as variáveis tipo de construção e local onde a primeira faixa de construção está assentada causam desequilíbrios no balanço sedimentar regional representando a ação erosiva, pois agem como armadilha de sedimentos e interrompem a dinâmica natural de transporte ocasionados pela ação eólica e deriva litorânea.

A variável local onde as primeiras faixas de construções estão assentadas, tipos de construções e estrutura de proteção costeira, foi classificada através de observações realizadas em campo quanto à sua posição no perfil transversal da praia.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada no trabalho consistiu na divisão em três etapas principais: pré-campo, campo e pós-campo, conforme detalhamento a seguir.

3.1 Pré- Campo

Este é o momento do levantamento bibliográfico e cartográfico da região de estudo até a etapa de finalização do relatório. Elaboração das técnicas a serem utilizadas em geoprocessamento de dados e imagens de satélites, com embasamento em trabalhos publicados e mapas para vetorização dos dados a serem compilados. Aquisição e georreferenciamento das imagens históricas. Delimitação da área de estudo, dando ênfase nas porções nas quais o processo de urbanização está em ascensão, como na Praia de Bitupitá e demais ocorrências porventura identificadas. Extração das linhas de costa por meio do processamento digital das imagens em SIG.

3.2 Etapa 2 – Campo

Nesta etapa fez-se a constatação e confirmação dos dados obtidos com as imagens orbitais em toda área de estudo e as demais caracterizações físicas. Identificação da geomorfologia e geologia costeira, assim como a detecção e caracterização dos processos erosivos. Coleta e análise faciológica dos sedimentos de praia extraídos de perfis realizados que serão classificados e usados como atributo para o cálculo do índice de vulnerabilidade à erosão.

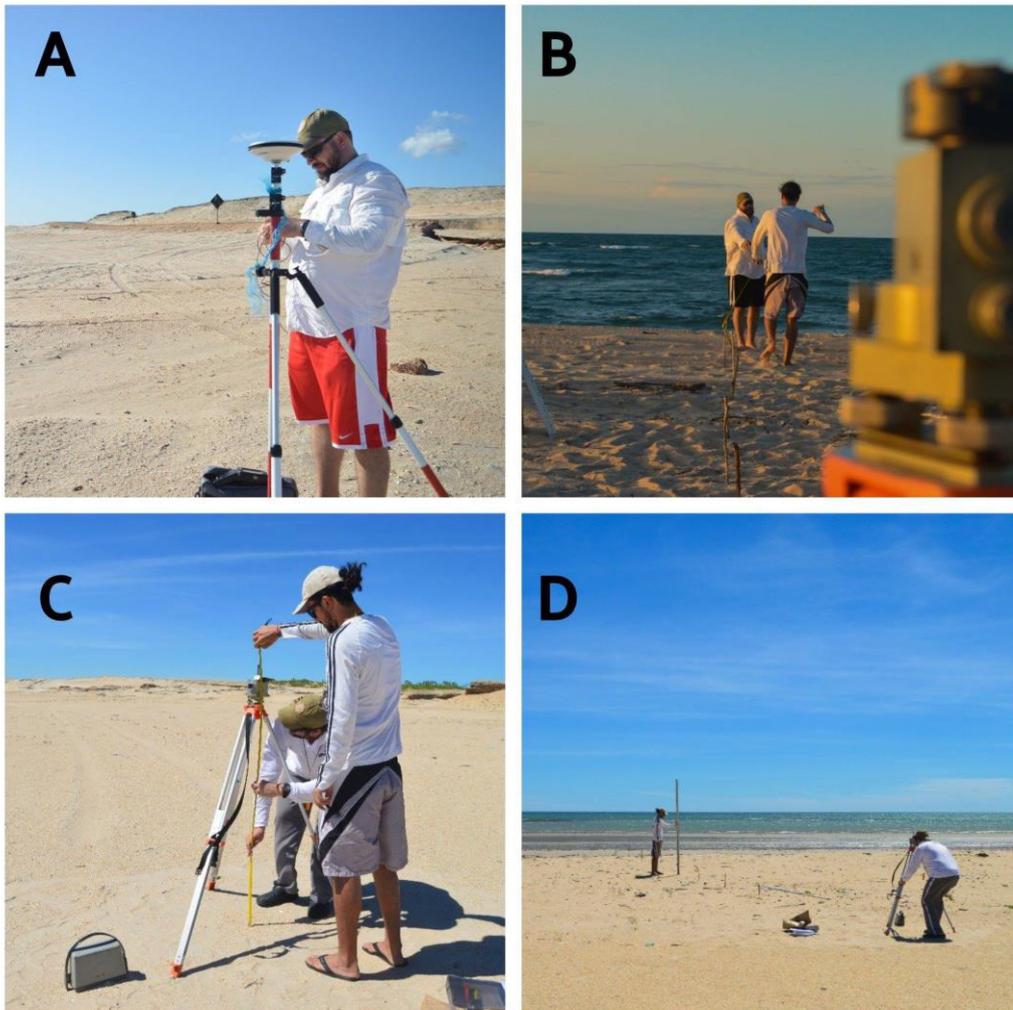
Foi elaborada uma planilha com dados ambientais da praia, com informações relacionadas a execução de perfis transversais na planície costeira e a condições morfológicas da praia, medição do ângulo de inclinação da pós-praia, identificação de atributos naturais, influência marinha, processos costeiros e influência antrópica.

Levantamento Topográfico

Para executar os levantamentos morfodinâmicos (perfis perpendiculares de praia) usou-se o método de nivelamento Geométrico que é considerado o método mais preciso de nivelamento. É realizado através de visadas horizontais e utiliza-se de equipamentos para a realização dos perfis, são eles: mira, nível topográfico junto com tripé, trena e a bússola para medir a inflexão ou mergulho do terreno e GPS geodésico.

Neste tipo de nivelamento (Figura 8D), os dados são colhidos através de visadas horizontais. Para realizar o nivelamento, usou-se os seguintes instrumentos: GPS Geodésico South GNSS S750, Nível - um instrumento usado para determinação de superfícies horizontais, Mira - régua graduada que é fixada verticalmente em pontos específicos a se nivelar, mede-se a interseção do plano horizontal traçado pelo nível. Nivelou-se pontos a cada 2 metros de distância.

Figura 8 – Etapa de nivelamento altimétrico.



Fonte: Autoras,(2017).(A) Estacionamento do Gps Geodésico para estabelecer um RN. (B) Fixação do Nível e bússola apontada para a direção perpendicular à praia a fim de estabelecer a direção para fixação dos piquetes. (C) Medida da altura do Nível. (D) Realização do nivelamento

Primeiramente, ao chegar na praia a ser realizado o perfil, mediu-se a direção da praia e posicionou-se o GPS e o nível perpendicularmente à medida lida na bússola. Estacionou-se o GPS Geodésico por trinta minutos em um ponto após a berma da praia com a intenção de fixar um RN, ou seja, Referencial de Nível, conhecendo-se assim a cota, ou

altitude deste ponto inicial. Após a coleta dos dados do GPS, posicionou-se o Nível no mesmo ponto que se encontrava o GPS e com a bússola apontada perpendicularmente para a direção medida da praia anteriormente, estabeleceu-se uma direção para cravar os piquetes, que foram distribuídos a cada 2 metros de distância do Nível, a fim de realizar um levantamento mais preciso.

Os levantamentos foram realizados nos três compartimentos de relevo praial (pós-praia, estirâncio e antepraia).

A pós-praia compreende a zona superior da praia, entre a antepraia e o limite inferior da planície costeira, que pode ser reconhecido pela presença da primeira crista praial holocênica e/ou de dunas, com ou sem falésias. Nesta zona podem ou não ocorrer berma(s) e areias retrabalhadas pelo vento. Hidrodinamicamente, a pós-praia situa-se acima do nível de preamar médio e o alcance máximo das ondas de tempestade ou de marés extraordinárias. A antepraia situa-se entre a pós praia e a face litorânea, estando, portanto, entre o limite superior de espraiamento das ondas de preamar médio (marés ordinárias) e o limite inferior da baixamar ordinária. A face litorânea está abaixo deste limite (SOUZA, 2009).

Levantamento Hidrodinâmico

Os levantamentos hidrodinâmicos foram realizados a partir de observações diretas. Os dados foram coletados após a realização dos levantamentos topográficos, sempre durante a preamar, registrando a hora de cada dado.

Determinação da altura da onda

As ondas foram observadas por uma pessoa deitada na zona de espraiamento e com a utilização de uma régua graduada (Figura 09), foram realizadas medidas de altura de onda. Repetiu-se este procedimento por doze vezes e excluíram-se as leituras de valores discrepantes. Permaneceram apenas medidas que foram utilizadas para calcular a média de altura de onda. A metodologia baseada para este tipo de medição foi descrita por Muehe (2002).

Figura 09 – Medição da altura das ondas



Fonte: Autoras, (2017).

Coleta de Sedimentos

Foram realizadas coletas de amostras superficiais (Figura 10) com o auxílio de uma pá nas compartimentações : pós-praia, praia e antepraia. Foi necessário não atingir uma profundidade maior do que 2 cm para que as amostras representassem a fase de deposição compatível com as condições meteorológicas atuantes no momento de coleta. Os sedimentos foram coletados e acondicionados em sacos plásticos, etiquetados com o nome da praia, o perfil e o local da retirada das amostras, com a distância em metros do RN fixado (Figura 10). A metodologia baseada para este tipo de coleta de sedimentos foi descrita por Muehe (2002).

Dependendo da variabilidade do clima, de ondas, da maré, do vento e das características dos sedimentos, uma praia pode variar amplamente de configuração em relação ao estado mais frequente ou modal. O estado modal de uma determinada praia é caracterizado pelas condições mais frequentes, em resposta ao tipo de arrebentação e ao tipo de sedimentos predominantes. E são justamente tanto o estado modal quanto a amplitude de variação em relação a este estado, que diferenciam as praias no tocante à sua morfodinâmica (CALLIARI *et al.* 2003).

Figura 10 - Coleta de amostra para as análises granulométrica em laboratório.



Fonte: Autoras, (2017).

3.3 Pós-Campo

Nesta etapa foi feito o processamento dos dados adquiridos em campo, elaboração de mapas temáticos de evolução costeira (erosão e acreção) a partir das imagens orbitais com o uso do *software* ArcGIS® e da extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Foram feitos ensaios de granulometria das amostras coletadas em campo por meio do laboratório de Geotécnica do DEGEO. Foi feito o cálculo dos índices de vulnerabilidade quanto à erosão e a geração do mapa de vulnerabilidade à erosão costeira.

Primeiramente, foram adquiridas imagens orbitais da constelação de satélites *RapidEye*. As imagens já foram adquiridas ortorretificadas (nível 3A) com resolução espacial de 5 metros. Foram coletadas nos períodos de junho a agosto dos anos de 2011 a 2014.

3.3.1 Atributo taxa anual de deslocamento de linha de costa

O DSAS é uma extensão de software para o ESRI ArcGIS® e permite realizar os cálculos estatísticos da taxa de variação histórica da posição da linha de costa do litoral em ambiente SIG. Necessita de três arquivos vetoriais para gerar os cálculos: 1) uma linha de

base, chamada de *baseline*, posicionada paralelamente à linha de costa. Pode ser disposta *onshore* ou *offshore*; 2) vetores em linha que representem as linhas de costa atribuídas a uma respectiva data; 3) linhas perpendiculares geradas automaticamente pelo DSAS que partem da linha de base e cruzam todas as linhas de costa, possibilitando o cálculo estatístico através da variação da posição dos vetores em relação ao tempo.

3.3.2 Processo de georreferenciamento de imagens

Este processo tem como objetivo estabelecer uma relação entre coordenadas geográficas e coordenadas da imagem, eliminar as distorções, efeitos de inclinação, variações de altitude da câmera aérea e deslocamentos devido ao relevo gerados nas imagens por meio da integração dos dados em SIG. O georreferenciamento foi realizado no ER-Mapper® 6.3, utilizando-se o *Datum* Sirgas 2000 e Projeção UTM Zona 24-S. Foram identificadas algumas feições de geometria constante em todas as imagens em comum para constituírem pontos de controle, usou-se principalmente cruzamentos de estradas e cantos de quarteirões. As distorções foram corrigidas através dos pontos de controle bem distribuídos e identificáveis nas imagens.

3.3.3 Delimitação da Linha de Costa

Segundo Bird (2008), a linha de costa é definida como o limite máximo da maré alta e superfície subárea não alcançada pelas marés, exceto em ocasiões especiais, tais como tempestades e tsunamis. As delimitações das linhas de costa (Figura 11), foram traçadas no *software* ArcMap 10.3.1 usando o critério de Bird citado acima. Realizou-se a combinação de bandas 321, usou-se a ferramenta *Imagem Analysis*, ligou-se o canal de contraste no valor adimensional 48, usou-se a função $Gama(\gamma)$ no valor 0,83 para realçar mais intensamente a assinatura espectral da faixa de terra molhada.

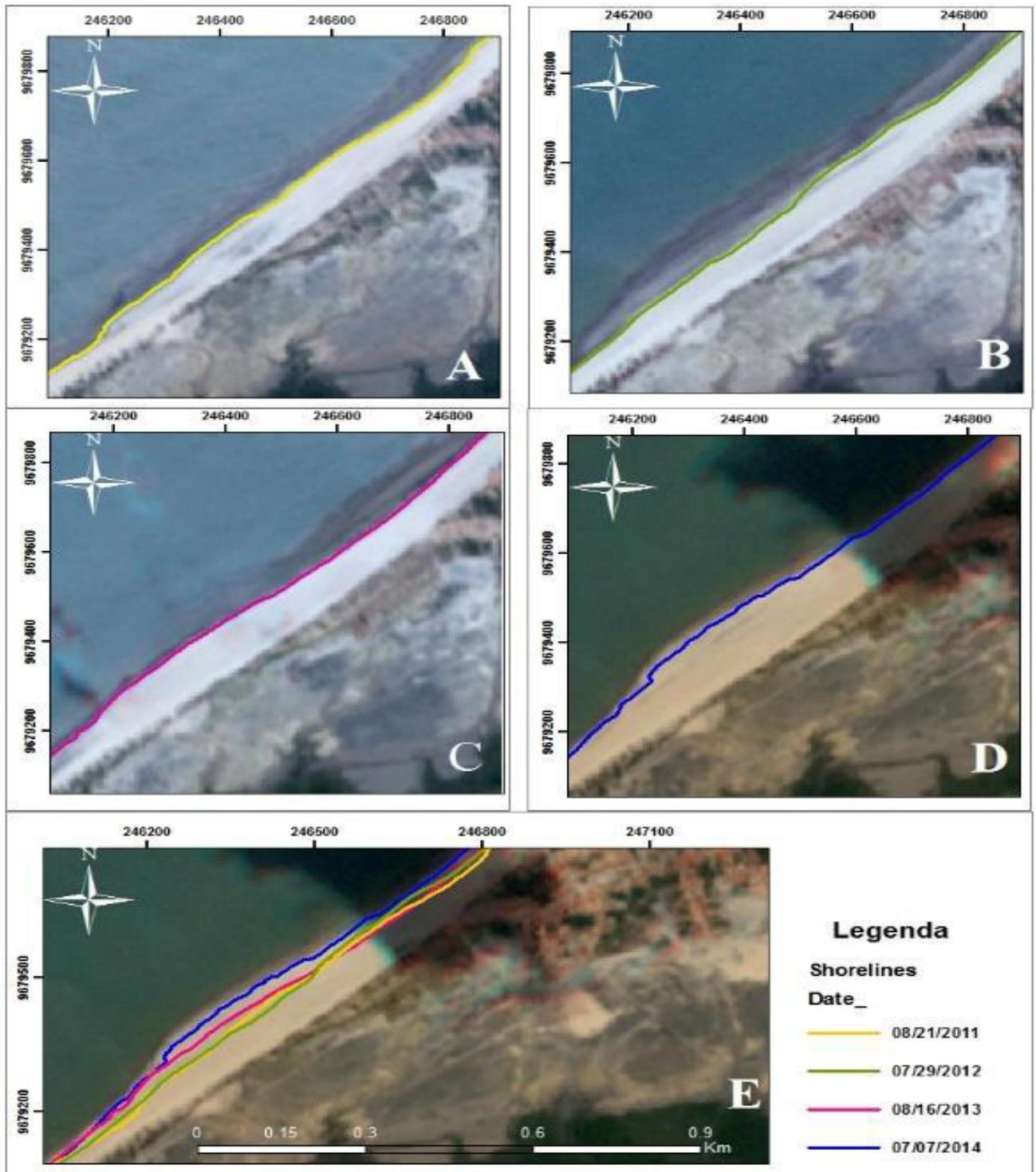
Realizou-se a vetorização das linhas em formato *shapefile* (Figura 12), a linha de base (*Baseline*) foi criada *offshore*. Os dados vetorizados foram sobrepostos e transformados em um único arquivo e exportados para um *Geodatabase* (base de dados geográficos) criado com o auxílio da extensão DSAS, do ArcGIS®.

Figura 11 - Critério usado para a delimitação da linha de costa: marca da maré mais alta da praia de Maceió.



Fonte: Autoras (2017).

Figura 12 - Delimitação das linhas de costa traçadas no *software* ArcMap 10.3.1 para realizar o cálculo de variação da linha de costa.



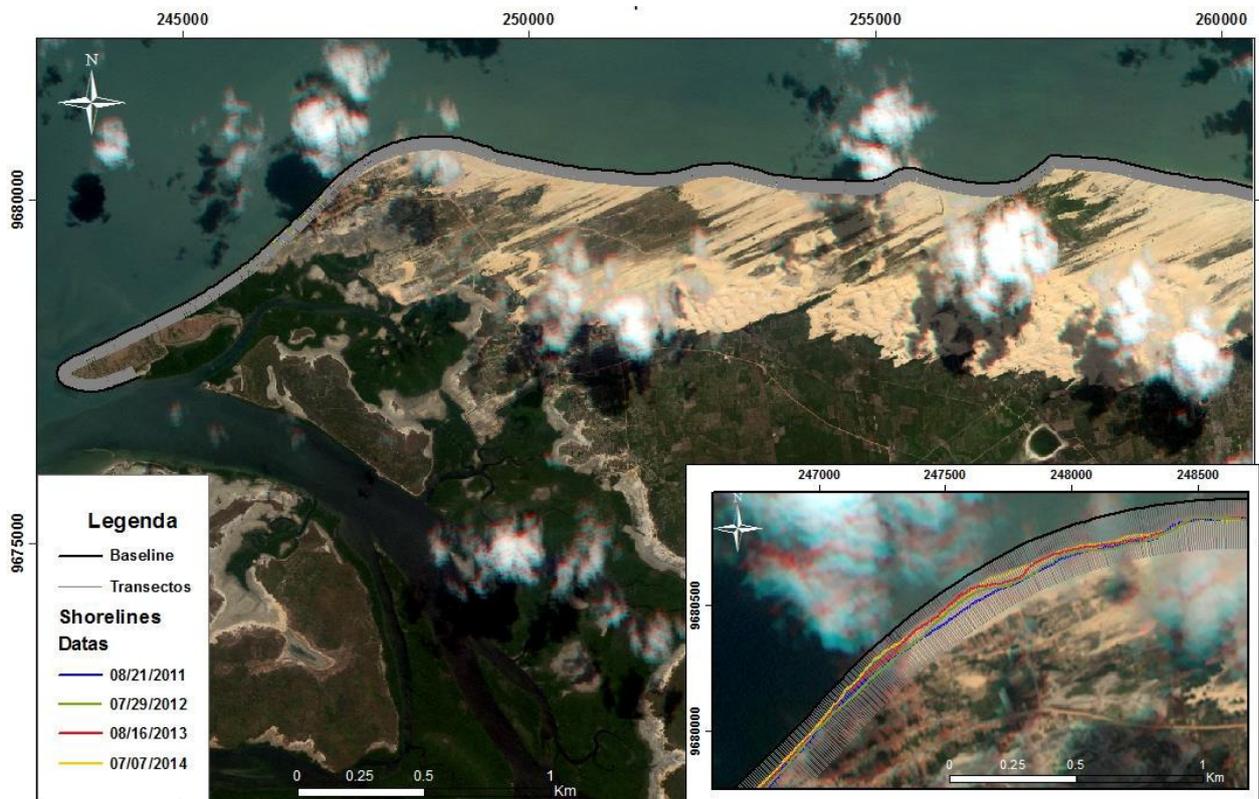
Fonte : Autoras (2017).

A figura acima representa a delimitação das linhas de costa (shorelines) da praia de Bitupitá. As linhas de cores amarela, verde rosa e azul representam respectivamente a posição da linha de costa dos anos de 2011, 2012, 2013 e 2014 e a figura 12 e- representa a imagem do ano de 2014 com todas as shorelines dos anos analisados.

3.3.4 Gerando as *Transects*

Posteriormente foram criadas as *transects*: conjunto de linhas perpendiculares que partem linha de base (baseline) representada na imagem (Figura 13) pela linha de cor preta, foi criada *offshore* e cruzam as respectivas linhas de costa (*shorelines*), representadas pelas linhas coloridas. Usou-se o comprimento de 0,5mkm para as *transects* e a distância de 10m entre as mesmas, tendo em vista a importância de integrar todas as *shorelines* dentro dos limites das *transects* criadas, sendo viável a prática do cálculo da taxa de tendência das variações da linha de costa a partir de métodos estatísticos. Cada *transect* segue uma ordem numerada da esquerda para direita, sendo esta visualização possível através dos gráficos gerados e apresentados nos resultados.

Figura 13 - Imagem *RapidEye* do ano de 2014. *Transects* geradas e zoom detalhando os traçados das *shorelines* em seus respectivos anos.



Fonte: *RapidEye* (2014).

3.3.5 Cálculo estatístico

O DSAS baseia-se no método que compara a diferença entre a linha de costa de base (*Baseline*) com linhas de costa que mudaram de posição ao longo do tempo (*Shorelines*). Os cálculos usados foram: *End Point Rate* (EPR) e *Linear Regression Rate* (LRR).

3.3.5.1 EPR (*End Point Rate*)

O EPR é calculado usando a variação de espaço sobre o tempo decorrido entre a linha de costa mais antiga e a mais recente. O resultado expressa a tendência de avanço ou recuo em metros por ano da linha de costa. Basicamente é uma replicação da equação física da velocidade, que neste trabalho volta-se à análise da velocidade de migração da linha de costa. O produto tem unidade m/ano.

3.3.5.2 LRR (*Linear Regression*)

O método LRR considera todas as linhas de costa identificadas, calcula as taxas de recuo através de regressão linear simples, considerando as diferentes posições das linhas de costa. É um método estatístico usado para estimar o valor esperado de uma variável, então neste método usam-se todas as *shorelines*. A vantagem deste método está na capacidade de identificar ciclos e tendências erosivas e/ou deposicionais.

3.3.6 Classificação das *transects*

Utilizou-se a ferramenta de classificação manual no ArcGIS®. Foi a forma mais adequada para realizar mapeamento de valores que não são distribuídos uniformemente no histograma e que permitiu padronizar parâmetros com valores de acresção e deposição para as duas imagens.

As tabelas com os valores classificados manualmente no ArcGIS® para as *transects* foram organizadas em cores (do verde claro ao verde escuro, representando tendências acrescionárias e do amarelo ao vermelho escuro, representando tendências erosivas), definindo dessa forma os avanços ou recuos das *shorelines*. Este método codificado em cores facilita a visualização da tendência retrogradativa ou progradativa do segmento analisado.

3.3.7 Processos Laboratoriais de Análise Granulométrica

A etapa de análise granulométrica foi baseada na metodologia da ABNT, sendo as amostras inicialmente colocadas em estufa a 60°C para secagem. De cada amostra, 200g foram submetidos a peneiramento por um agitador mecânico por um período de 10 minutos. As amostras foram analisadas no GRADISTAT, uma ferramenta que utiliza macros no *excel* para realizar análise de sedimentos inconsolidados. Este programa aceita padrões e dados não padronizados, permitindo autonomia do operador para escolha de diversas metodologias de classificação de sedimentos. Usou-se a escala de Krumbein (1937) para classificar os grãos.

Com base nessa classificação as amostras coletadas nas praias de Bitupitá, Curimãs, Farol e Maceió foram qualificadas em areias grossa, média e fina.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse tópico apresenta os resultados obtidos a partir dessa pesquisa.

4.1 Índices Parciais de Vulnerabilidade (IPV)

Os IPV são representados por 5 categorias: Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Morfologia Costeira (IPVMC), Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Presença de Atributos Naturais (IPVAN), Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Marinha (IPVIM), Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado aos Processos Costeiros (IPVPC) e Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Antrópica (IPVIA).

A análise apresentada nesse estudo tem como base os índices estipulados por Mallmann & Araújo (2010), conforme demonstra o quadro abaixo.

Quadro 4 - Valores de classificação dos Índices Parciais de Vulnerabilidade em graus

	IPVMC	IPVAN	IPVIM	IPVPC	IPVIA
Baixo (até 25%)	1,22	1,14	1,34	1	1,34
Moderado (de 25 a 50%)	1,73	1,5	1,9	1,41	1,9
Alto (de 50 a 75%)	2,12	2,24	2,68	1,73	2,68
Muito alto (de 75 a 100%)	4,5	4,5	6,97	3	6,97

Fonte: Adaptado de Mallmann & Araújo (2010).

4.1.1 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Morfologia Costeira (IPVMC)

Das quatro praias estudadas, todas elas foram consideradas como praias de orla exposta, largura da pós praia ampla, inclinação da pós praia moderada. O atributo diâmetro médio do grão apresentou para as praias de Bitupitá, Curimãs e Maceió areia fina, enquanto a praia do Farol foi areia grossa. O quadro abaixo apresenta os dados numéricos de cada praia.

Quadro 5 – Índices de Vulnerabilidade associados à Morfologia Costeira

Praia	Grau de vulnerabilidade
Bitupitá	2,12
Curimãs	2,12
Maceió	2,12
Farol	1,5

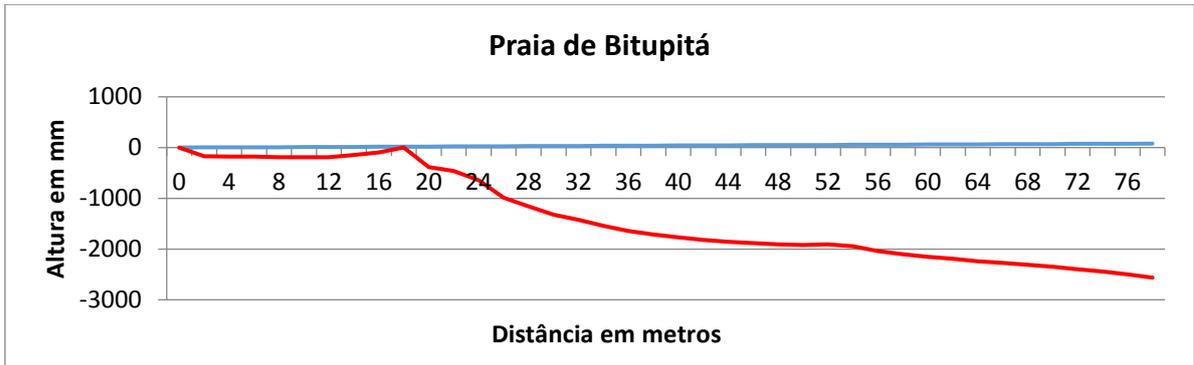
Fonte: Autoras (2017).

Os IPVMC calculados revelaram os seguintes índices: 1,5 para a praia do Farol, 2,12 para as praias dos Curimãs, Bitupitá e Maceió. A praia do Farol apresenta, portanto, grau de vulnerabilidade baixo e as praias de Bitupitá, Curimãs e Maceió apresentam grau considerado alto.

Os perfis topográficos realizados e as medidas de inclinação da praia serviram para classificar as variáveis largura da pós-praia e inclinação da pós praia, assim como também foram utilizados para demarcar a ausência ou presença de berma, variável utilizada no atributo processos costeiros a fim de identificar em função da sua presença ou ausência indicador de acumulação ou erosão. Devido à baixíssima inclinação das praias Bitupitá 8°, Curimãs 10°, Farol 6° e Maceió 14° parte da energia das ondas é dissipada antes de chegar à face praial.

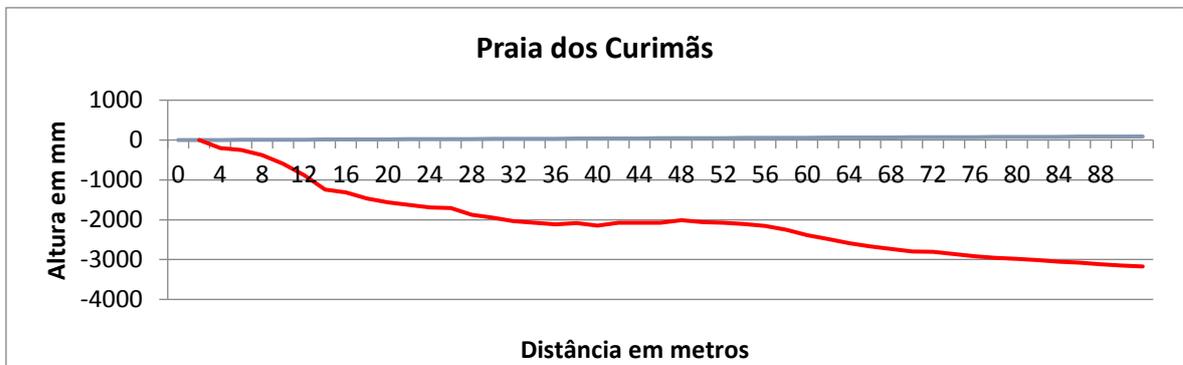
Nivelamento altimétrico usado para reproduzir a topografia das compartimentações praias (Gráficos 1, 2, 3 e 4). Indicam a diferença de nível entre diversos pontos que foram espessados em intervalos de 2 m, assim como reproduzir a inclinação do terreno.

Gráfico 1 – Perfil topográfico da Praia de Bitupitá



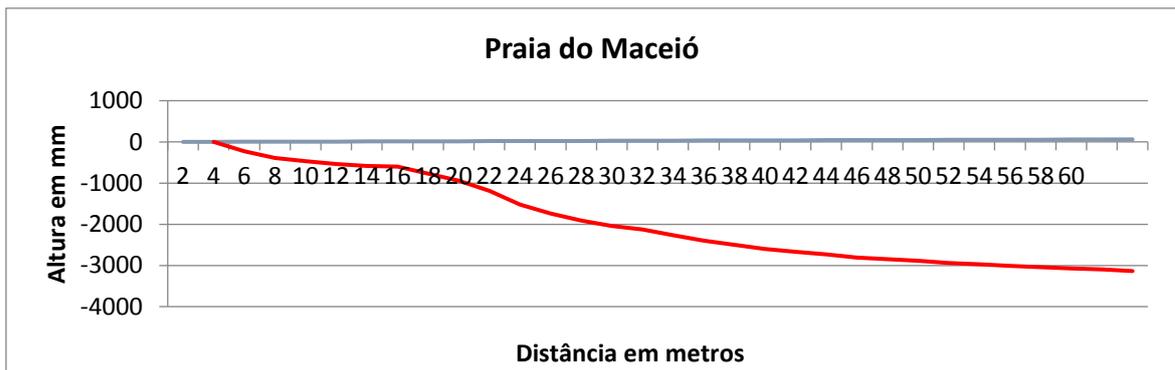
Fonte: Autoras (2017).

Gráfico 2 – Perfil topográfico da Praia dos Curimãs



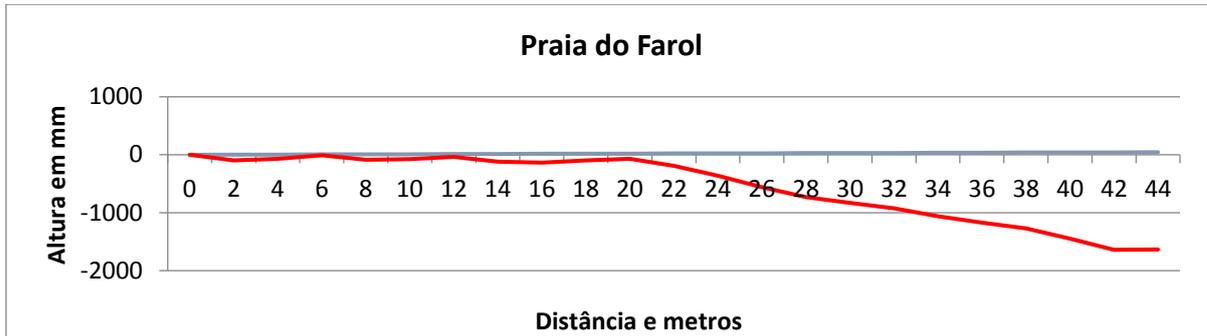
Fonte: Autoras (2017).

Gráfico 3 – Perfil topográfico da Praia do Maceió



Fonte: Autoras (2017).

Gráfico 4 – Perfil topográfico da Praia do Farol



Fonte: Autoras (2017). As praias

Os índices são condizentes com as características morfológicas identificadas nas praias analisadas, ou seja, as praias com orla exposta estão mais suscetíveis à erosão.

4.1.2 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Presença de Atributos Naturais (IPVAN)

O IPVAN, calculado com base na presença/ausência de recifes paralelos à costa, manguezais, dunas, desembocaduras de rios e afloramentos rochosos, apresentou valores entre 1,3 a 2,32. A praia de Bitupitá, apesar de estar próxima à foz dos rios Timonha, Ubatuba, Chapada, Camelo e Carapina, não sofre influência da dinâmica fluvial, pois a corrente de deriva litorânea exerce influência no sentido leste-oeste e a foz do rio se encontra no lado oeste da praia. Todas as praias apresentaram presença de dunas e cordões arenosos.

Quadro 6 – Índices de Vulnerabilidade associados aos Atributos Naturais

Praias	Grau de vulnerabilidade
Bitupitá	1,3
Curimãs	1,8
Farol	2,32
Maceió	1,9

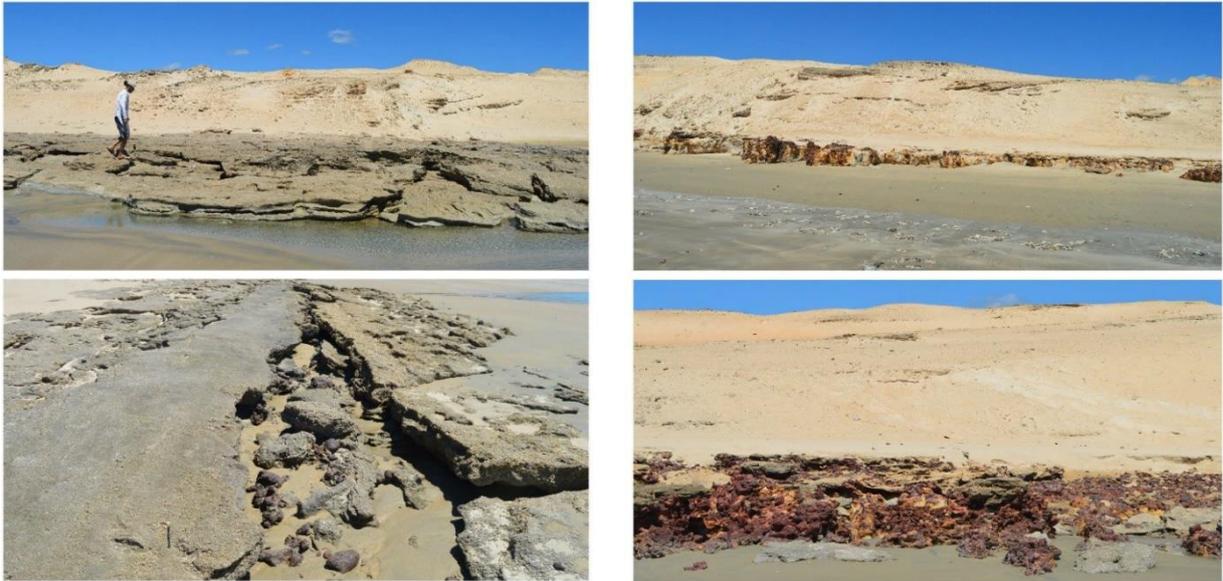
Fonte: Autoras (2017).

Os índices apresentados para esse atributo revelam os grau moderado para a praia de Bitupitá e alto para as praias dos Curimãs, Maceió e Farol.

Manguezais e recifes são os atributos naturais que mais contribuem para a redução dos índices de vulnerabilidade, na ausência destes, os níveis aumentam, conforme verifica-se nas praias pesquisadas.

A presença de afloramentos rochosos na praia de Bitupitá atuam como proteção, tendo em vista que diminuem a energia das ondas servindo de barreira para a mobilização de sedimentos e erosão, neste caso adotou-se o valor peso de 1 em vez de 3 (Figura 14).

Figura 14 - Afloramentos da Formação Barreiras na praia de Bitupitá.



Fonte: Autoras (2017).

Afloramentos presentes nas praias servindo de proteção, reduzindo a energia das ondas e funcionando como barreiras à erosão dos eole.

4.1.3 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Marinha (IPVIM)

O IPVIM calculado para todas as praias tem resultado entre 0,63 e 0,89. O regime de maré de todas as praias analisadas é classificado como mesomaré. O tipo de arrebentação também é o mesmo para todas as praias sendo classificado como deslizante.

Quadro 7 – Índices de Vulnerabilidade associados à Influência Marinha

Praia	Grau de vulnerabilidade
Bitupitá	0,63
Curimãs	0,63
Farol	0,89
Maceió	0,89

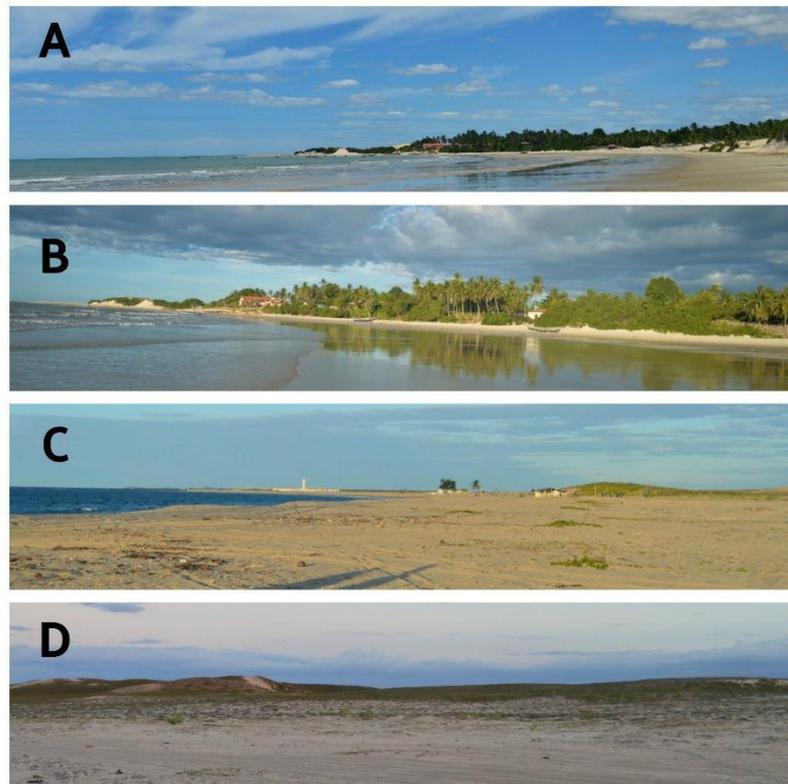
Fonte: Autoras (2017).

Conforme é possível observar, todos os índices apresentam grau de vulnerabilidade baixo, considerando-se o regime e o tipo de arrebentação da região. Portanto, apresenta zona de surfe ampla, assim como praia recreativa na maré alta e altura da onda abaixo de meio metro.

4.1.4 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado aos Processos Costeiros (IPVPC)

Este índice parcial engloba os indicadores de erosão, indicadores de acumulação e taxa de deslocamento da linha de costa (Figura 15). Os indicadores de erosão averiguados em campo foram: coqueiros caídos, raízes expostas, afloramento do lençol freático ou falésias ativas, exibindo erosão marinha e a identificação da presença dos indicadores apresentados na tabela 1, descrita no tópico processos costeiros.

Figura 15 – Vegetação das praias de Curimãs e Farol



Fonte: Autoras (2017).

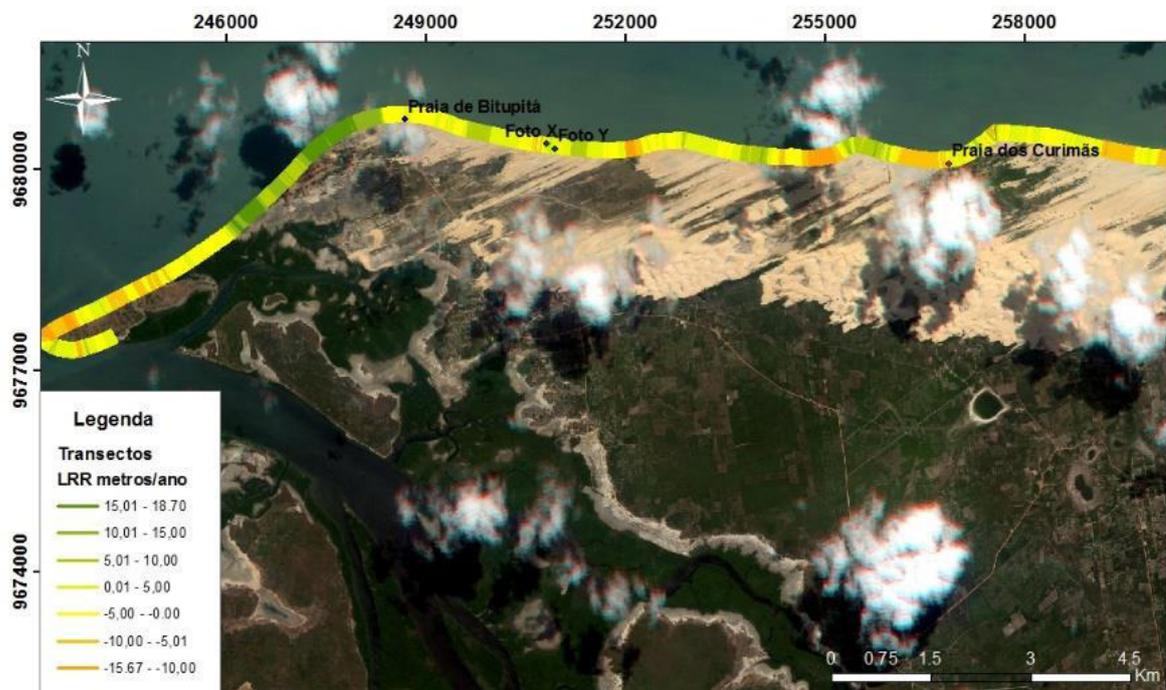
Presença de vegetação na praia de Curimãs (A, B) e dunas e cordões arenosos (C, D) na praia do Farol.

Todas as praias apresentaram ausência desses indicadores no campo, porém nas praias de Curimãs e Maceió, foi possível identificar o processo erosivo através da taxa de deslocamento da linha de costa (DSAS), etapa realizada em gabinete e seguida logo abaixo nas figuras 16 e 17.

Como se pode observar na figura 16 e no gráficos 5 e 6, a praia de Bitupitá apresenta taxa de deslocamento da linha de costa positiva, exibindo avanço até 5m por ano,

indicando a tendência progradata dessa faixa de praia. A praia de Curimãs exibe, no geral, tendência ora erosiva com recuo da linha de costa que vai de 0 a 10 metros ao ano, ora progradata com ampliação de até 5m de praia por ano. A partir de medidas de corrente de deriva litorânea realizadas em campo e da tendência erosiva e depositiva do segmento costeiro, inferidos na imagem através do DSAS, induz-se que a área de estudo é subordinada à remobilização de sedimentos, os quais são transportados pela ação da deriva litorânea que exerce influência no sentido Leste-Oeste.

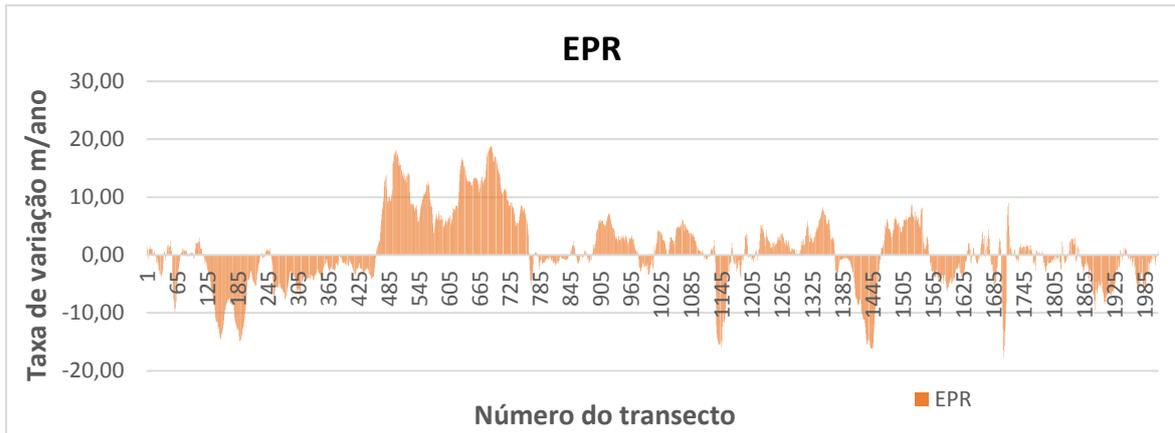
Figura 16 – DSAS do município de Barroquinha.



Fonte: *RapidEye* (2014.)

A gradação de cores corresponde a setores nos quais são caracterizados pelo grau de erosão. Verde escuro representa setores que houve acresção de 15 a 16,7 metros por ano. Verde folha e suas gradações representam setores em que houve acresção de 5 a 15 metros por ano, amarelo representa setores que houve acresção abaixo de 0,41 metros por ano ou que representaram tendências erosivas até -5,0 metros por ano, laranja representa erosão de -5 a -10 metros por ano e laranja escuro representa erosão de -10 a -15,67 metros por ano.

Gráfico 5 – Cálculo *End Point Rate* (EPR) de Barroquinha.



Fonte: Autoras, 2017.

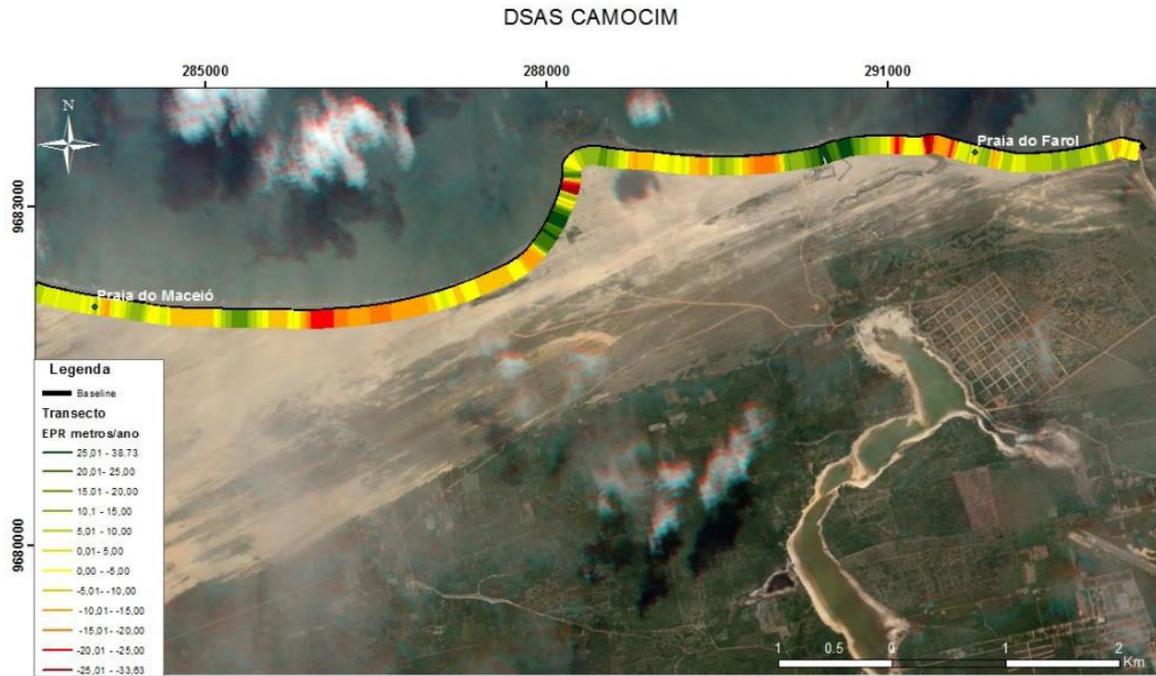
Gráfico 6 – Cálculo *Linear Regression Rate* (LRR) de Barroquinha.



Fonte: Autoras (2017).

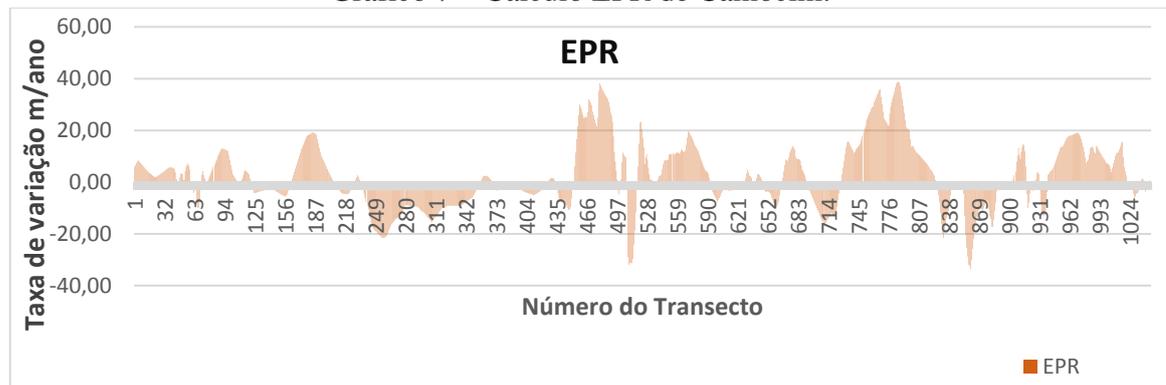
Os gráficos 5 e 6 quantificam a taxa de variação da linha de costa em metros por ano, pode-se perceber que houve uma concentração de acresção entre os transectos 481 ao 725 correspondente a coloração verde escuro na figura 16, podendo chegar até 18 metros por ano. No decorrer da linha de costa, ocorre a alternância entre acresção e erosão, pode-se ser causado devido à deriva litorânea.

Figura 17 - DSAS de Camocim.



Fonte: Autoras (2017).

Gráfico 7 – Cálculo EPR de Camocim.



Fonte: Autoras (2017). O gráfico 7 quantifica a taxa de variação da linha de costa das praias do Farol e Maceió.

A Praia do Farol exibe tendência predominantemente progradativa figura 17 e gráfico 7. Associa-se esta tendência à influência exercida pelo rio Coreaú que transporta carga sedimentológica proveniente do continente e deposita próximo à foz do rio. É possível identificar em um pequeno trecho da Praia do Farol um recuo da linha de costa, porém infere-se que esse caso isolado é efeito da influência de um estreito curso d'água que desemboca no

mar. O seguimento da praia do Maceió e seguimentos que possuem concavidade também estão em processo progradante.

O quadro abaixo representa os valores dos graus de vulnerabilidade que as praias estão sob influencia

Quadro 8 – Índices de Vulnerabilidade associados aos Processos Costeiros

Praia	Grau de vulnerabilidade
Bitupitá	0,81
Curimãs	1
Farol	1
Maceió	1,73

Fonte: Autoras,2017.

Para o atributo relacionado aos processos costeiros, apenas a praia de Maceió apresentou grau de vulnerabilidade alto, enquanto que as demais se classificam com grau baixo.

4.1.5 Índice Parcial de Vulnerabilidade Associado à Influência Antrópica (IPVIA)

Quadro 9 – Índices de Vulnerabilidade associados à Influência Antrópica

Praia	Grau de vulnerabilidade
Bitupitá	0,45
Curimãs	0,45
Farol	0,45
Maceió	0,77

Fonte: Autoras (2017).

A influência antrópica é o atributo com menor interferência nos segmentos litorâneos pesquisados, apresentando grau de vulnerabilidade baixo para todas as praias. Isto ocorre em virtude de que os seguimentos analisados possuem baixa taxa de urbanização, cujas construções em toda a orla das praias estudadas está composta por casas. Embora Camocim represente a maior taxa de densidade demográfica das praias em questão, a urbanização se faz próximo ao Rio Coreauá, ficando afastada da zona costeira.

Na praia de Maceió foi possível identificar processo erosivo maximizado pela construção de uma estrada na área praial (Figura 18), porém não se configura uma tendência definitiva de progradação ou retrogradação, e sim uma possível remobilização de sedimentos através das correntes de deriva litorâneas.

Figura 18 - Processo erosivo maximizado pela construção de estrada asfaltada na praia.



Fonte: Autoras (2017).

Não foram identificadas estrutura de proteção costeira nas praias observadas.

4.1.6 Índice Global de Vulnerabilidade (IGV)

O IGV é obtido através do somatório de todos os IPV divididos pelo somatório de todos os valores máximos de cada IPV, tendo dessa forma, a partir do somatório de todos os valores máximos possíveis para os IPV um quociente comum onde possa ser expressa a vulnerabilidade global em porcentagem.

Quadro 10 – Índices Parciais de Vulnerabilidade, Índice Global de Vulnerabilidade e Grau de Vulnerabilidade das praias analisadas

Praias	IPVMC	IPVAN	IPVIM	IPVPC	IPVIA	IGV	Grau de Vulnerabilidade
Bitupitá	2,12	1,3	0,63	0,81	0,45	5,31	18,6%
Curimãs	2,12	1,8	0,63	1	0,45	6	21,1%
Maceió	2,12	1,9	0,89	1,73	0,77	7,41	26%
Farol	1,5	2,32	0,89	1	0,45	6.16	21,6%

Fonte: Autoras, (2017).

Quadro 11 – Graus de classificação dos Índices Globais de Vulnerabilidade

Quartil	Grau de Vulnerabilidade
até 25%	Baixo
de 25 a 50%	Moderado
de 50 a 75%	Alto
de 75 a 100%	Muito Alto

Fonte: adaptado de Mallmman (2010).

Quadro 12 - Grau de vulnerabilidade que cada Índice Parcial de Vulnerabilidade exerce sobre as praias

Praias	IPVMC	IPVAN	IPVIM	IPVPC	IPVIA	Grau de Vulnerabilidade
Bitupitá	75%	50%	25%	25%	25%	22,2% baixo
Curimãs	75%	50%	25%	25%	25%	25% baixo
Maceió	75%	50%	25%	75%	25%	25,3% moderado
Farol	50%	75%	25%	25%	25%	21,6% baixo

Fonte: Autoras (2017).

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa propôs uma análise da vulnerabilidade física à erosão costeira de algumas praias do litoral noroeste do estado do Ceará. Assim, procurou responder às seguintes perguntas: Qual dos atributos avaliados exerce maior influência no grau de vulnerabilidade? Entre as praias de Bitupitá, Curimãs, Maceió e Farol, qual (ou quais) apresenta(m) maior grau de vulnerabilidade?

Os indicadores de erosão costeira foram baseados na classificação de Souza *et al.* (2005), Mallmann & Araújo (2010) a saber: condições morfológicas, atributos naturais, processos costeiros, influência antrópica e influência marinha. A partir dos dados coletados e analisados, verificou-se que o índice geral de vulnerabilidade das praias, mostrou baixa vulnerabilidade à erosão. Entretanto alguns atributos, como: processos costeiros da praia de Maceió, morfologia costeira das praias de Bitupitá, Curimãs e Maceió, atributos naturais da praia do Farol tenderam a apresentar índices parciais mais elevados.

Orla exposta foi o indicador de morfologia costeira mais comum identificado na área estudada. As praias de Bitupitá, Maceió e Farol apresentaram esse tipo de orla, no entanto, apenas as duas primeiras possuem IPVMC alto por agregarem outros fatores de vulnerabilidade, tais como: diâmetro médio dos grãos, que atribui maior vulnerabilidade às

praias com granulometria classificada em areias finas e inclinação da praia (quanto menor a inclinação, maior o risco de inundação decorrente da subida do nível do mar).

As dunas frontais elevadas, sem rupturas e vegetadas, e praias largas com berma bem desenvolvida fazem parte dos atributos naturais mais comuns nesses segmentos. Em todas as praias pesquisadas o Índice Parcial de Vulnerabilidade associados à presença de Atributos Naturais (IPVAN) identificado foi moderado nas praias de Bitupitá, Curimãs e Maceió e muito alto na praia do Farol.

Pode-se concluir que os atributos que mais contribuíram com a vulnerabilidade da região pesquisada estão relacionados a indicadores naturais e não à influência antrópica, como ocorre em boa parte das praias com alto potencial turístico. Isso se justifica porque os segmentos estudados são compostos de praias pouco habitadas e que, portanto, ainda não sofrem esse tipo de influência, considerada a mais degradante.

As áreas de estudo foram caracterizadas como latentes (ESTEVES, 2003), pois se enquadram no grupo de praias com potencial turístico. Espera-se, dessa forma, que essa pesquisa sirva para fornecer uma ferramenta aos serviços públicos no gerenciamento da região, evitando, assim, que a ocupação sem acompanhamento venha maximizar os problemas antecipados pelo estudo, onde foram pontuadas as áreas de possível risco, configurando-se uma proposta preventiva e não corretiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T.; SOUTO, M. V. S. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão**. Natal, RN: Do Autor, 2012.

ARAI, M. A Grande Elevação Eustática do Mioceno e Sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.

BEZERRA, L. J. C. **Caracterização dos Tabuleiros Pré-Litorâneos do Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, 2009.

BEZERRA, L. J. C.; MAIA, L. P. **Caracterização Sedimentológica dos Tabuleiros Pré-Litorâneos do Estado do Ceará**. Arq. Ciência do Mar, Fortaleza, 2012, 45(1): 47 – 55.

Disponível em

>http://www.inctmcocean.com.br/pdfs/Produtos/Artigos_periodicos/114_Bezerra_Maia_UF_C.pdf >. Acesso em 01/07/2017.

BIRD, E. C. F.; SCHWARTZ, M. C. **The world's coastline**. New York: Van Nostrand einhold, 1985. 1071 p.

BIRD, E.C. F. **Coastal geomorphology: an introduction**. England: 2nd Ed. (2008).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. – **Projeto orla: fundamentos para gestão integrada**. Brasília: MMA, 2006.

BRASIL. Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5300.htm>

CALLIARI, L. *et al.* Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Rev. Bras. Oceanogr.** São Paulo, v. 51, n. único, p. 63-78, 2003. Disponível em

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141377392003000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 01/07/2017.

CAPOBIANCO, M. *et al.* Coastal Area Impact and Vulnerability Assessment: **The Point of View of a Morphodynamic Modeller**. *Journal of Coastal Research*, 15(3), 701-716. 1999.

CARVALHO, A. M. & MAIA, L. P. **Estudos dos sedimentos Cenozóicos da região de Paracuru, Ceará, Brasil**. Relatório de Graduação. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Fortaleza, 86p., 1990.

CARVALHO, A.M. **Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões-Costa NW do Estado do Ceará**. Ênfase nos processos eólicos. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 188p. 2003.

CARVALHO, A.M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L.P.; CASTRO, J.W.A. Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil - Registro ímpar de um paleossistema eólico costeiro. In: WINGE, M. *et al.* **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, 2008.

CAVALCANTE, J.C. *et al.* **Serviço Geológico do Brasil (CPRM)**. Mapa Geológico do Estado do Ceará. Fortaleza, 2003.

CLAUDINO-SALES, V.C. **Les littoraux du Ceará. Géomorphologie de la zone côtière de l'Etat du Ceará: du long terme au court terme**. Thèse de doctorat, Université ParisSorbonne, France, 549p, 2002.

CLAUDINO-SALES, V; LIRA, M. V. **Megageomorfologia do Noroeste do Estado do Ceará, Brasil**. Caminhos de Geografia, Uberlândia v.12,n 38 (2011). Disponível em <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16343/9157>>. Acesso em 23/09/2017.

DAL CIN, R.; SIMEONI, U. A Model for Determining the Classification, Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research*, v. 10 (1). Florida, 1994. p. 18-29.

DAVIES, J. L. **A morphogenic approach to world shorelines**. *Zeit. f. Geomorph.*, 8:27-142. 1964.

ESTEVES, L. S. Identificação de Áreas Prioritárias para Gerenciamento Costeiro no Rio Grande do Sul. In: **II Congresso sobre planejamento e gestão das zonas costeiras dos países de expressão portuguesa**. Recife, 2003.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **A zona costeira do Estado do Ceará: Compartimentação Geoambiental e Antropismo**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – Fortaleza, 2009a.

GALLOPIN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*. v. 16, n.3, p. 293- 303, 2006.

GALVIN, C. J. Breaker Type Classification on Three Laboratory Beaches. *Journal or Geophysical Research*. vol. 73. no. 12. June 15. 1968. p- 3651 3659.

GIANNINI, P. C. F. **Sistemas Depositionais Eólicos no Quaternário Costeiro do Brasil**. São Paulo, Instituto de Geociências, Univ. de São Paulo. Tese de Livre Docência (inéd.), 205 p., 2007.

HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas, uma revisão bibliográfica**. Itajaí: Univali, 1998. 92 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ed. Rio de Janeiro, 2009.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Relatório de Meio Físico** - Subsídios ao Plano de Manejo do Parque Nacional de Jericoacoara, 2009- - Instituto Chico Mendes, Brasília, 2009
disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/Relatorio_meiofisico.pdf>. Acesso em 21/06/2017.

KRUMBEIN, W. C.; Aberdeen, Esther. The Sediments of Barataria Bay. **Journal of Sedimentary Petrology**. April, 1937.

LIRA, Marcos Antonio Tavares. **Estimativa dos recursos eólicos no litoral cearense usando a teoria da regressão linear** (Tese Mestrado). Universidade Estadual do Ceará. 2009, pág 58.

LIRA, V. M; CLAUDINO-SALES, V. O Uso de SIGs Na Análise da Evolução Morfoestrutural no Noroeste do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. In: **9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Rio de Janeiro / RJ. Disponível em <<http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/8/8-688-478.pdf>> . Acesso em 23/09/2017.

MAIA, P L. **Procesos costeiros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NEBrasil): Implicações para una gestión adecuada de la zona litoral** .Universitat de Barcelona. Facultat de Geologia. Dep. D’Estratigrafia i Paleontologia. Tesis Doctoral. Barcelona. 269p, 1998

MAIA, P.L.; SABADIA, J.A.B.; FREIRE, G.S.S.; RAVENTOS, J.S. Caracterização geoquímica e diagenética da cimentação carbonática dos “Beach rocks” e Eolianitos da região costeira do Ceará. In: **XVII Simpósio de Geologia do Nordeste**, Fortaleza, 177-181, 1997.

MALLMANN, D. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. de. **Vulnerabilidade física do litoral sul de Pernambuco à erosão**. Tropical Oceanography, 38(2), 130-152, 2010.

MORTON, R. Factors Controlling Storm Impacts on Coastal Barriers and Beach – A Preliminary Basis for Near Real-Time Forecasting. **Journal of Coastal Research**, v. 18 (3). Florida, 2002. p. 486-501.

MUEHE, Dieter. Geomorfologia costeira. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Org.). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. cap 6, p.213-216.

SOUZA, C. R. G (Ed.); SUGUIO, K.; SANTOS, A. M. dos; OLIVEIRA, P. E. **Quaternário do Brasil**. Pag 139. Ribeirão Preto: Holos, 2005.

SOUZA, M. J. N.; LIMA, F. A. M.; PAIVA, J. B. **Compartimentação topográfica do estado do Ceará**. Ciênc. Agron., v9, n 1-2, p 77-86, 1979.

SOUZA, C.R. de G. 2009. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: Bononi, V.L.R., Santos Junior, N.A. (Org.), **Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado**, pp.48-69, Instituto de Botânica – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN 978-85- 7523-025-1).

VASCONCELOS, L. C [et al] **Conhecendo o Município de Barroquinha**.

Disponível em

<http://www.ideci.ce.gov.br/phocadownload/ESTUDOS_E_PESQUISAS/ConhecendoOMunicipio/conhecendo_o_municipio_barroquinha.pdf >. Acesso em: 27/06/2017.

VASCONCELOS, L. C [et al] **Conhecendo o Município de Camocim**.

Disponível em >

http://www..ce.gov.br/phocadownload/ESTUDOS_E_PESQUISAS/ConhecendoOMunicipio/conhecendo_o_municipio_camocim.pdf Acesso em : 27/06/2017

VIEIRA, A . T; FEITOSA, F. A. C.; BENVENUTI, S. M. P. (org). Diagnóstico do município de Barroquinha. In **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado do Ceará**. Disponível em <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15800/1/Rel_Barroquinha.pdf>

ZÊZERE JL (2005) Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos, programa. Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, Rel. Nº 41, 37-101

VIEIRA, A . T; FEITOSA, F. A. C.; BENVENUTI, S. M. P. (org). Diagnóstico do município de Camocim. In **Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado do Ceará**. Disponível em

<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15855/Rel_Camocim.pdf?sequence=2>