

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ATHOS FARIAS MENEZES

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE
À EROSÃO COSTEIRA
NO ESTADO DE PERNAMBUCO
ATRAVÉS DE INDICADORES
AMBIENTAIS E ANTRÓPICOS**

RECIFE/2015

ATHOS FARIAS MENEZES

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO COSTEIRA NO ESTADO
DE PERNAMBUCO ATRAVÉS DE INDICADORES AMBIENTAIS E
ANTRÓPICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira e coorientada pelo Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves em preenchimento parcial dos requisitos para obter o grau de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental.

RECIFE/2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicêa Alves, CRB-4 / 1260

M543a	<p>Menezes, Athos Farias.</p> <p>Análise da vulnerabilidade à erosão costeira no estado de Pernambuco através de indicadores ambientais e antrópicos / Athos Farias Menezes. - 2016.</p> <p>95folhas, Il.; e Tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira.</p> <p>Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Geociências, 2016.</p> <p>Inclui Referências.</p> <p>1. Geociências. 2. Erosão Costeira. 3. Geoindicadores. 4. Geotecnologia. I. Pereira, Pedro de Souza (Orientador). II. Gonçalves, Rodrigo Mikosz. (Coorientador). III.Título.</p> <p>551 CDD (22. ed.)</p>	<p>UFPE</p> <p>BCTG/2016-134</p>
-------	---	----------------------------------

ATHOS FARIAS MENEZES

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO COSTEIRA NO ESTADO DE
PERNAMBUCO ATRAVÉS DE INDICADORES AMBIENTAIS E ANTRÓPICOS**

Dissertação apresentada ao programa de
Pós-Graduação em Geociências da
Universidade Federal de Pernambuco,
Como requisito parcial para a obtenção do
título de mestre em Geociências.

Aprovada em 23/032016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Admilson da Penha Pacheco (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa (Examinador Externo)
Universidade de São Paulo

*Dedicado aos meus pais Enilda Menezes e
Reginaldo Farias por tudo o que fizeram e fazem por mim.*

*“Não sou mais estranho, eu
sou um filho, eu sou Teu.”
(Os Arrais)*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida e por mais uma etapa a ser concluída. Tenho a plena certeza de quem sem Ele, nada do que foi feito se fez.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira, que além de um grande profissional solícito, demonstrando ética, grande saber nas ciências e incentivador, se mostrou um verdadeiro amigo, não apenas nas horas de alegria, mas nas horas de desânimo foi um encorajador.

Ao Prof. Dr. Ademilson Pacheco que conheci através de Neison Freire da Fundação Joaquim Nabuco. Sem o Prof. Pacheco eu não teria conhecido o Prof. Pedro.

Ao Prof. Rodrigo Mikosz Gonçalves do Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas pela sua atenção e preciosas sugestões.

À FACEPE por ter financiado esta pesquisa através da bolsa de pós graduação.

Aos meus queridos amigos, Bruno, Herbert, Efrain, Israel e Pablo. Não tenho dúvidas que sem vocês jamais teria chegado até aqui, através de lágrimas de tristeza e alegria, conversas que sempre duram horas e um apoio fraternal sem igual, vocês fazem a diferença em minha vida.

Aos meus amigos do LABOGEO-UFPE, Cícero, Camila, Luciana, Diego, Mari, Karol, Anderson, Pedrinho e Túlio, a quem eu tive um contato diário, sempre com muitos sorrisos e piadas de mal gosto, trocando as mais fantásticas experiências.

Aos meus amigos da igreja, se fosse citar o nome de cada um não caberia nesta folha, que é tão pequena para creditar às orações de muitos que estiveram me apoiando, mesmo nos momentos de tristeza.

A minha família, especialmente a minha mãe, Enilda que sempre acreditou em mim, nos meus sonhos e objetivos, nunca questionando. Também ao meu Pai, Reginaldo, que sempre teve muito orgulho de mim. Agradeço também ao meu irmão André.

Agradeço a minha querida namorada, Mariana, que conheço a tão pouco tempo mas que tem sido uma pessoa mais do que especial, me dando atenção, respeito e os mais sinceros sentimentos, além de muito apoio nessa reta final da dissertação.

Por fim agradeço ao PPGEOC pela oportunidade, de maneira especial ao Igor, por ser sempre muito eficaz e solícito.

RESUMO

A erosão costeira é um fenômeno natural encontrado em diversos ambientes litorâneos em todo o mundo. No entanto a ocupação antrópica desordenada pode potencializar o processo erosivo, como é o caso do litoral do estado de Pernambuco, onde 43,8% da população está localizada no ambiente litorâneo que se estende ao longo de 13 municípios. Observando esta problemática, o presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira através do processamento de imagens de satélite de alta resolução e sistemas de informações geográficas (SIG), a partir de indicadores ambientais e antrópicos. A presente pesquisa foi dividida em três etapas, a primeira visa caracterizar a vulnerabilidade à erosão costeira em escala local nas praias de Piedade (município de Jaboatão dos Guararapes) e Paiva (município do Cabo de Santo Agostinho), ressaltando as diferentes características atribuídas às mesmas. Na primeira praia destacou-se a intensa urbanização, com mais de 60% de interferência antrópica nos setores avaliados, enquanto a segunda se demonstrou conter um bom desenvolvimento de áreas vegetais preservadas mais de 55% do total analisado. Na segunda etapa, foi mostrado o uso dos geoindicadores em escala regional para todo o litoral pernambucano, destacando cenários de intensa vulnerabilidade nas cidades do núcleo metropolitano, enquanto em praias de baixa presença antrópica, como no setor sul, foram destacados baixos índices de vulnerabilidade, enquanto no setor norte foram atribuídos valores moderados. Na terceira etapa deste trabalho foi apresentado a utilização da interpretação de imagens de alta resolução espacial e métodos automáticos e semiautomáticos na identificação dos geoindicadores na Praia do Forte Orange (município da Ilha de Itamaracá) evidenciando feições sedimentares oriundas do Canal de Santa Cruz, mas com a presença de feições erosivas. De forma geral este trabalho visualiza destacar a importância de métodos alternativos na identificação de áreas com potenciais erosivos, a partir de dados orbitais que acarretarão em uma otimização do tempo para a tomada de decisões públicas acerca dos ambientes litorâneos.

Palavras Chave: Erosão Costeira, Geoindicadores, Geotecnologia

ABSTRACT

The coastal erosion is a natural phenomenon found in many coastal environments worldwide. One of the causes of unorganized human occupation near coastal areas is erosion. An example of erosion caused by anthropogenic activities is found in the coastal areas of Pernambuco State, Brazil, where 43.8% of the state population live near the state's coastal environments, extending over 13 cities. The current study is divided in three chapters and focuses on the coastal beaches vulnerability evaluation and identification of the vulnerability of coastal erosion caused by anthropogenic and environmental factors, using tools as high resolution satellite images and geographic information systems. First part aims to characterize the vulnerability of beaches to coastal erosion in a local scale. The areas of study are Piedade (city of Jaboatão dos Guararapes) and Paiva beaches (city of Cabo de Santo Agostinho) in Pernambuco State, Brazil, with geomorphological and dynamic characteristics variability. Piedade beach has intensive urbanization, indicating more than 60% of anthropogenic interference in all evaluated sectors, while Paiva beach is covered by vegetation approximately 55% of total area. In second part, several geoindicators were analyzed in a regional scale along the Pernambuco's coastline. Different scenarios of high vulnerability were examined in the cities of the metropolitan area, on beaches of low and high anthropogenic activities. The first results, showed low indication of vulnerability at the southern sector compared to the northern sector which showed moderate risk of erosion. Finally, in section three, high resolution satellite images were used to identify geoindicators by automatic and semi-automatic approaches in order to identify erosional features. In this chapter the study the Forte Orange beach (city of Ilha de Itamaraca) highlighting sedimentary features of the Canal de Santa Cruz and the presence of erosional features. This research highlights the importance of alternative identification methods for areas under potential erosion risk. The proposed methods in this study are very efficient and can produce accurate and fast results, which can be valuable to the public, environmental agencies, protection and decision makers of coastal environments.

Keywords: Coastal Erosion, Geoindicators, Geotechnology

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 (a) Mapa de Localização das Praias do Paiva e Piedade a esquerda (Landsat 8).; (b) Região Nordeste; (c) Cidades de Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho. Datum SIRGAS2000	18
Figura 2.2 Praia de piedade após o processamento da vetorização das imagens QuickBird e a aplicação dos indicadores propostos na metodologia. Datum Sirgas 2000 – Sistema de Coordenadas UTM Fuso 25 S.....	27
Figura 2.3 Praia do paiva após o processamento da vetorização das imagens QuickBird e a aplicação dos indicadores propostos na metodologia. Datum Sirgas 2000 - Sistema de Coordenadas UTM Fuso 25 S.....	29
Figura 3.1 Mapa de localização dos municípios costeiros do estado de Pernambuco. Sistema de Coordenadas Geográficas Datum: SIRGAS 2000. Fonte: O Autor.....	38
Figura 3.2 Passos de vetorização: a) vetores paralelos ao raster; b) bordas idealmente retas considerando a estrutura topológica; c) bordas de formas generalizadas sem consideração da estrutura topológica (Baatz e Mimler, 2002).	42
Figura 3.3 Análise da Vulnerabilidade à erosão Costeira no Estado de Pernambuco. Sistemas de Coordenadas Geográficas. Datum: Sirgas 2000. Base de Dados IBGE. Fonte: O Autor.	47
Figura 3.4 Mapa dos Geoindicadores dos Municípios de Goiana e Ilha de Itamaracá. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.	52
Figura 3.5 Mapa dos Geoindicadores do municípios de Paulista e Igarassu. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor	55
Figura 3.6 Mapa dos Geoindicadores do Municípios de Recife e Olinda. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Auto	57
Figura 3.7 Mapa dos Geoindicadores do Município de Jaboatão dos Guararapes. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor	59
Figura 3.8 Mapa dos Geoindicadores do Município de Cabo de Santo Agostinho. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor	63
Figura 3. 9 Mapa dos Geoindicadores do Município de Ipojuca. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.....	65
Figura 3.10 Mapa dos Geoindicadores dos Municípios de Sirinhaém e Tamandaré. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.	66
Figura 3.11 Mapa dos Geoindicadores dos Municípios de Barreiros e São José da Coroa Grande . Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.....	68
Figura 4.1 Mapa de Localização da praia do Forte Orange – Ilha de Itamaracá Sistemas de Coordenadas UTM. Datum: Sirgas 2000. Fuso 25 S. Fonte: O Autor.....	73

Figura 4.2 Mapa dos Geoindicadores da praia do Forte Orange – Ilha de Itamaracá Sistemas de Coordenadas UTM. Datum: Sirgas 2000. Fuso 25 S. Fonte: O Autor.....	81
Figura 4.3 Vista aérea do Forte Orange na Ilha de Itamaracá. Fonte: CPRH (2014).....	82
Figura 4.4 Forte Orange e estruturas rígidas observadas em baixa mar. Fonte CPRH (2014).....	83
Figura 4.5 (a) Projeto Peixe Boi (2011); Figura 27 (b) Projeto Peixe Boi (2014) Fonte: CPRH (2014).....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Limites dos setores da praia do Paiva em coordenadas UTM, datum SIRGAS 1984 zona 25 S.	19
Tabela 2.2 Limites dos setores da praia de Piedade em coordenadas UTM, datum SIRGAS zona 25 S.	19
Tabela 2.3 Geoindicadores utilizados para avaliação da vulnerabilidade a erosão costeira	22
Tabela 3.1 Dados populacionais dos municípios costeiros do estado de Pernambuco. Fonte: IBGE/Censo 2010.....	40
Tabela 3.2 Informações gerais dos satélites utilizados no processamento de dados. Fonte: www.digitalglobe.com e www.geoeye.com.....	41
Tabela 3.3 Geoindicadores utilizados para avaliação da vulnerabilidade a erosão costeira	45
Tabela 3.4 Valores dos geoindicadores avaliados em m ²	48
Tabela 3.5 Valores percentuais dos geoindicadores.....	49
Tabela 3.6 Valoração dos geoindicadores atribuído aos pesos para o índice de vulnerabilidade	50
Tabela 4.1 Quantitativo de pixels coletados para a classificação	76
Tabela 4.2 Valores obtidos em m ² e dados percentuais após a interpretação da imagem.....	80

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	12
1.1 INTRODUÇÃO	12
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO COSTEIRA ATRAVÉS DOS	
GEOINDICADORES NAS PRAIAS DE PIEDADE E PAIVA (PE), BRASIL	16
2.1 INTRODUÇÃO	16
2.2 ÁREA DE ESTUDO	18
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
2.3.1 PARÂMETRO DE ENTRADA DO MODELO CONSIDERANDO (INDICADORES)	
AMBIENTAIS E GEOGRÁFICOS	20
2.3.2 OCUPAÇÃO PERCENTUAL	23
2.3.3 ÍNDICE.....	23
2.4 RESULTADOS	24
2.4.1 PRAIA DE PIEDADE.....	24
2.5 DISCUSSÃO	30
2.6 CONCLUSÃO	33
USO DE GEOINDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO	
COSTEIRA ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES	
GEOGRÁFICAS	35
3.1 INTRODUÇÃO	35
3.2 ÁREA DE ESTUDO	36
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.3.1 SELEÇÃO E IMPORTAÇÃO DE CENAS UTILIZADAS	41
3.3.3 CARTOGRAFIA COSTEIRA E GEOINDICADORES.....	42
3.3.4 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE	44
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
3.4.1 LITORAL NORTE.....	51
3.4.2 NÚCLEO METROPOLITANO	56
3.4.3 LITORAL SUL	60
3.5 CONCLUSÕES	69
USO DE GEOINDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROSÃO	
COSTEIRA NA PRAIA DO FORTE ORANGE (ILHA DE ITAMARACÁ-PE).	71

4.1INTRODUÇÃO	71
4.2. ÁREA DE ESTUDO	72
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS	75
4.3.1 MÁXIMO VEROSSIMILHANÇA	75
4.3.2 GEOINDICADORES	76
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.4 CONCLUSÃO	84
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO.....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

APRESENTAÇÃO

Os ambientes costeiros possuem características peculiares a outros ecossistemas apresentando belezas paisagísticas e, como consequência, são áreas que despertam o interesse da população de maneira geral. Devido a este fator, muitas são as alterações provocadas na zona litorânea através da intervenção antrópica, o que caracteriza a grande demanda populacional nessas regiões em todo o mundo.

Diante deste fator, o presente estudo torna-se necessário para avaliar ambientes costeiros que possuem distintas características devido as mudanças ocasionadas pelo ser humano. Portanto para avaliação da vulnerabilidade à erosão no ambiente costeiro, este trabalho foi estruturado em cinco capítulos.

Capítulo 1: O primeiro capítulo faz uma breve descrição acerca do cenário atual do litoral pernambucano com seus 187 km de extensão, afirmando a necessidade de análises que afirmem a proteção nos ambientes litorâneos.

Capítulo 2: Avaliar e comparar a vulnerabilidade à erosão costeira em duas praias com características distintas. A primeira de intensa ocupação e interferência antrópica nos ambiente costeiro (Praia de Piedade - Jaboatão dos Guararapes). Enquanto a segunda praia identifica-se por ser uma praia de ambiente natural (Praia do Paiva - Cabo de Santo Agostinho).

Capítulo 3: Identificar indicadores ambientais e antrópicos ao longo de toda a orla do estado de Pernambuco, utilizando o índice de avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira e cartografia temática. Tais dados foram gerados em ambientes de sistemas de informações geográficas utilizando imagens de satélite.

Capítulo 4: Analisar a presença de indicadores ambientais e antrópicos através de métodos semiautomáticos em imagens de satélite de alta resolução. Assim como os outros capítulos, a metodologia da utilização de um índice único para avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira é utilizada, entretanto invés da criação de bordas, este capítulo apresenta um método baseia-se na utilização da máxima verossimilhança para quantificação dos dados a serem analisados.

Capítulo 5: O capítulo 5 realça os dados comparativos, incluindo a perspectiva da utilização desta mesma metodologia no intuito de avaliar a vulnerabilidade em diferentes escalas.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O litoral do estado de Pernambuco, em aproximadamente 187 km de extensão, se destaca pela fisiografia peculiar nele encontrada. Devido a este fator, grandes são os interesses econômicos para a utilização deste ambiente, creditando este aspecto atual a partir de atividades turísticas e implantação de mercado imobiliário (Manso et al., 2012)

Diversos estudos foram realizados no ambiente praias pernambucano. Estes estudos tiveram o intuito da realização de análises sedimentológica (Manso et al., 2012), geomorfológica (Dominguez et al., 1990), geoquímica (Marques et al., 2011), de morfodinâmica costeira (Almeida e Schuler, 2008) e fatores sociais e antrópicos (Costa et al., 2008), afim de aprimorar conhecimentos e obtenção do uso sustentável nos diversos ecossistemas costeiros.

O litoral do estado de Pernambuco apresenta diversidades paisagísticas, como estuários, recifes, rochas graníticas e intensas áreas de manguezais. Entretanto, também são verificados intensos contingentes populacionais o que caracteriza a sexta maior região metropolitana no território brasileiro como descreve o IBGE (2010).

Devido a intensa história de ocupação da costa pernambucana, várias ações governamentais para a proteção de calçadas, prédios e quiosques, foram aplicados procurando minimizar ações dos processos costeiros. A implementação de estruturas rígidas em alguns municípios são exemplos da necessidade de intervenções pelos órgãos públicos para reduzir os danos locais (Costa et al., 2008).

No contexto atual de uso e ocupação dos solos, a zona de pós-praia apresenta uma intensa valorização comercial. Este fator potencializa a pressão antrópica sobre os ambientes costeiros em diversos casos relacionados à vulnerabilidade costeira em todo o mundo (Nascimento e Dominguez, 2009.)

Diversas abordagens referentes a vulnerabilidade à erosão costeira têm sido alvo de estudos nas áreas das ciências ambientais. As observações visam a análise dos riscos naturais referentes às mudanças climáticas e influências antrópicas, estas sendo variáveis responsáveis pela definição do grau de vulnerabilidade.

Os índices de vulnerabilidade à erosão costeira diversos são procedimentos analíticos como descreve Nguyen et. al. (2016). Na literatura científica são encontrados mais de 50

índices de vulnerabilidade, estes avaliam diversas tipologias e variáveis afim de classificar os ambientes quanto a sua propensão à vulnerabilidade.

De acordo com Gouldby e Samuels (2005), a vulnerabilidade à erosão costeira apresenta-se como um arranjo de variáveis que destacam uma maior fragilidade, passividade, ou susceptibilidade em relação a incidência de um evento, fenômeno, ou de uma ação de potencial destrutivo.

As belezas paisagísticas das áreas costeiras possuem um atrativo que caracteriza um aumento da especulação imobiliária nestas regiões. Para estas regiões são atribuídas às maiores preocupações devido as construções de grandes edifícios através do modelo proposto de verticalização (Emrich e Cutter, 2011).

O conhecimento aprimorado através da leitura de referencial bibliográfico e a diversidade metodológica, são necessárias para uma avaliação de melhor consistência no que tange as áreas que apresentam potencial vulnerabilidade á erosão costeira,

Como referência em estudos relacionados a vulnerabilidade, o Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), bem como o Laboratório de Cartografia Costeira (UFPE) e Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (UFPE), procuram avaliar os cenários de erosão ao longo do estado de Pernambuco.

Com o intuito de realizar uma caracterização da vulnerabilidade à erosão costeira no estado de Pernambuco, realizou-se uma revisão bibliográfica, reunindo informações relevantes sobre os ambientes costeiros. Além destes aspectos, estudos pretéritos de vulnerabilidade à erosão costeira no estado de Pernambuco foram considerados, sendo importantes fontes de informação Mazzer et al. (2008); Mallman e Araújo (2010); Raposeiro e Ferreira (2010).

Para o presente trabalho optou-se utilizar imagens de satélite de alta resolução espacial integrados a ambientes de sistemas de informações geográficas, no intuito de criar uma base cartográfica atribuída a indicadores ambientais e antrópicos propostos por Bush (1999).

Conforme Sousa et al. (2011; 2013) a utilização de geoindicadores contribuem para uma avaliação de feições, que contribuem para os aspectos de proteção costeira, transporte de sedimentos, uso e ocupação dos solos, bem como a caracterização da vegetação nativa e feições arenosas.

Através do uso de geoindicadores como variáveis que identificam a natureza do ambiente praial, é proposta a quantificação destas áreas, sendo posteriormente integradas ao índice de vulnerabilidade à erosão costeira descrito por Sousa et al. (2013).

1.2 JUSTIFICATIVA

O litoral do Estado de Pernambuco apresenta cerca de 4% do território total, no entanto cerca de 43,8% da população vive nesta área (IBGE, 2010), o que representa um intenso adensamento populacional. Tal perspectiva demográfica na zona costeira traz consigo o acompanhamento da ocupação desordenada, explosão das atividades turísticas, e descaracterização local (Manso, et al., 2006).

Neste sentido questões naturais e antrópicas podem acarretar a potencialização da erosão costeira. Alguns problemas mais comuns são: edificações em área de pós-praia, retirada de vegetação natural como restinga, mata atlântica e manguezais e aumento relativo do nível do mar. Todos estes fatores apresentarão adversidades futuras devido a sua importância na economia e nos aspectos ambientais.

A iniciativa da tomada de estudos para a utilização dos dados obtidos no auxílio do planejamento ambiental costeiro é, sem dúvidas, de muita necessidade tendo em vista a importância do litoral para a economia local. Para isso novas pesquisas e métodos devem ser desenvolvidos afim de se ter dados para a tomada de discussões e avaliações dos mesmos.

O uso do sensoriamento remoto como ferramenta para este estudo viabiliza uma nova perspectiva de análise da vulnerabilidade à erosão costeira em todo o estado de Pernambuco, em escala regional, visto que alguns trabalhos locais já foram desenvolvidos, como o de Silva et al. (2013).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo do cenário da vulnerabilidade à erosão costeira em todo o litoral do Estado de Pernambuco através dos geoindicadores.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar técnicas de sensoriamento remoto orbital e geoprocessamento na extração de informações a cerca da vulnerabilidade à erosão costeira;
- Avaliar setores e suas características específicas com o intuito de promover a geração de mapas temáticos;
- Classificar os graus de vulnerabilidade nos setores avaliados; e

- Identificar quais as feições que provocam o aumento ou diminuição da vulnerabilidade à erosão costeira.

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO COSTEIRA ATRAVÉS DOS GEOINDICADORES NAS PRAIAS DE PIEDADE E PAIVA (PE), BRASIL

2.1 INTRODUÇÃO

A zona costeira pode ser considerada como uma das áreas mais dinâmicas do planeta (Muehe, 2001). Seu monitoramento aplicado ao gerenciamento costeiro integrado torna-se necessário para mitigar impactos da erosão costeira podem ser detectados e avaliados a partir de fatores naturais (fenômenos climáticos, geológicos e oceanográficos) e antrópicos (impermeabilização do solo, ocupação desordenada e retirada da vegetação natural) (Nascimento e Dominguez, 2009; Silva et al., 2013).

A vulnerabilidade à erosão costeira é um fenômeno que pode ser classificado através do uso de modelos analíticos considerando uma série de parâmetros que podem ser mensurados. Em vários lugares do mundo, encontram-se exemplos do grau considerado “alto” em uma determinada escala de classificação para vulnerabilidade, chegando a estágios críticos potencializados pelos fatores antrópicos, que normalmente ocasionam prejuízos ambientais, econômicos e sociais (Muehe, 2008; MMA, 2006).

Estudos de casos tais como trechos do litoral espanhol (Doody, 2001), Delaware na costa leste dos Estados Unidos da América (Daniel, 2001), o litoral do estado de Pernambuco no nordeste brasileiro (Martins, 2015), entre outros são exemplos de trabalhos com o objetivo de aplicar métodos capazes de classificara vulnerabilidade à erosão costeira.

O conceito de vulnerabilidade costeira aproxima a susceptibilidade aos dados referentes a exposição, a capacidade de enfrentamento, aos sistemas físicos e os sociais. Sendo muitas vezes visualizada como uma característica intrínseca de um sistema ou de um elemento, estando constantemente ampliado e abrangente a capacidade de adaptação do ambiente costeiro às mudanças antrópicas ocorridas (Birkmann, 2007).

Atualmente para a estimativa da vulnerabilidade um conjunto de observações e parâmetros qualitativos e quantitativos, baseados em geoindicadores que contextualizam o estudo de tal temática vêm se desenvolvendo para a realização de diversas análises em modelos analíticos com o objetivo de gerar mapas temáticos ao longo de uma área, como

visto em Harvey, et al. (1999), Boruff, et al. (2005), Mazzer et al. (2008); Mallman e Araújo (2010); Raposeiro e Ferreira (2010), Rudorff e Bonetti (2010), Sousa et al. (2011), entre outros.

Os geondicadores apresentam aplicações observadas a partir dos cenários, avaliados para fins de monitoramento ambiental em escalas correspondentes a necessidade do estudo. Estes são integrados a bancos de dados, que apresentam técnicas sofisticadas para avaliar informações geográficas com fins ambientais caracterizando-se como alternativas de baixo custo para a gestão costeira integrada no contexto público (Bush et al., 1999).

A maioria dos trabalhos que abordam monitoramento costeiro e vulnerabilidade à erosão costeira fazem uso de geotecnologias utilizando sensores remotos (Gonçalves 2010) tais como: fotografias aéreas a partir de aviões (Gonçalves et al. 2012a), ou atualmente utilizando veículos móveis não tripuláveis, drones ou balões (Eulie et al. 2013), imagens de satélites artificiais (Malmann et al. 2014), videometria (Pereira et al. 2011, Pereira et al. 2012), informações de altimetria e modelos digitais do terreno utilizando *LIDAR (Light Detection And Ranging)* (Hantson et al. 2012), técnicas de posicionamento global como o *GNSS (Global Navigation Satellite System)* (Tanajura et al. 2011, Gonçalves et al. 2012b, Mendonça et al. 2014) e técnicas de levantamentos topográficos utilizando estação total (Gonçalves et al., 2013). Essas informações espaciais integradas passam a ser organizadas e analisadas de maneira quantitativa (Mazzer et al., 2008).

Segundo Amaro et al. (2012) a utilização do sensoriamento remoto pode trazer excelentes resultados para análise da dinâmica costeira e dos processos que são atuantes neste ambiente, pois permite a obtenção de diversas informações a respeito de extensas áreas da superfície terrestre, facilitando a possibilidade de interpretações e extração de informações geográficas.

A partir de um estudo de caso no nordeste do Brasil, mais especificamente nas praias de Piedade e do Paiva localizadas no estado de Pernambuco este trabalho apresenta uma contribuição para a análise dos indicadores continentais e costeiros, destacando-se os seguintes objetivos: (i) avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira na área de estudo aplicado a metodologia proposta por Sousa et al. (2013). (ii) fazer uso de técnicas de sensoriamento remoto orbital e geoprocessamento para extrair informações necessárias ao cálculo da vulnerabilidade (iii) fornecer através da classificação encontrada subsídios para o planejamento e gerenciamento dos recursos costeiros.

2.2 ÁREA DE ESTUDO

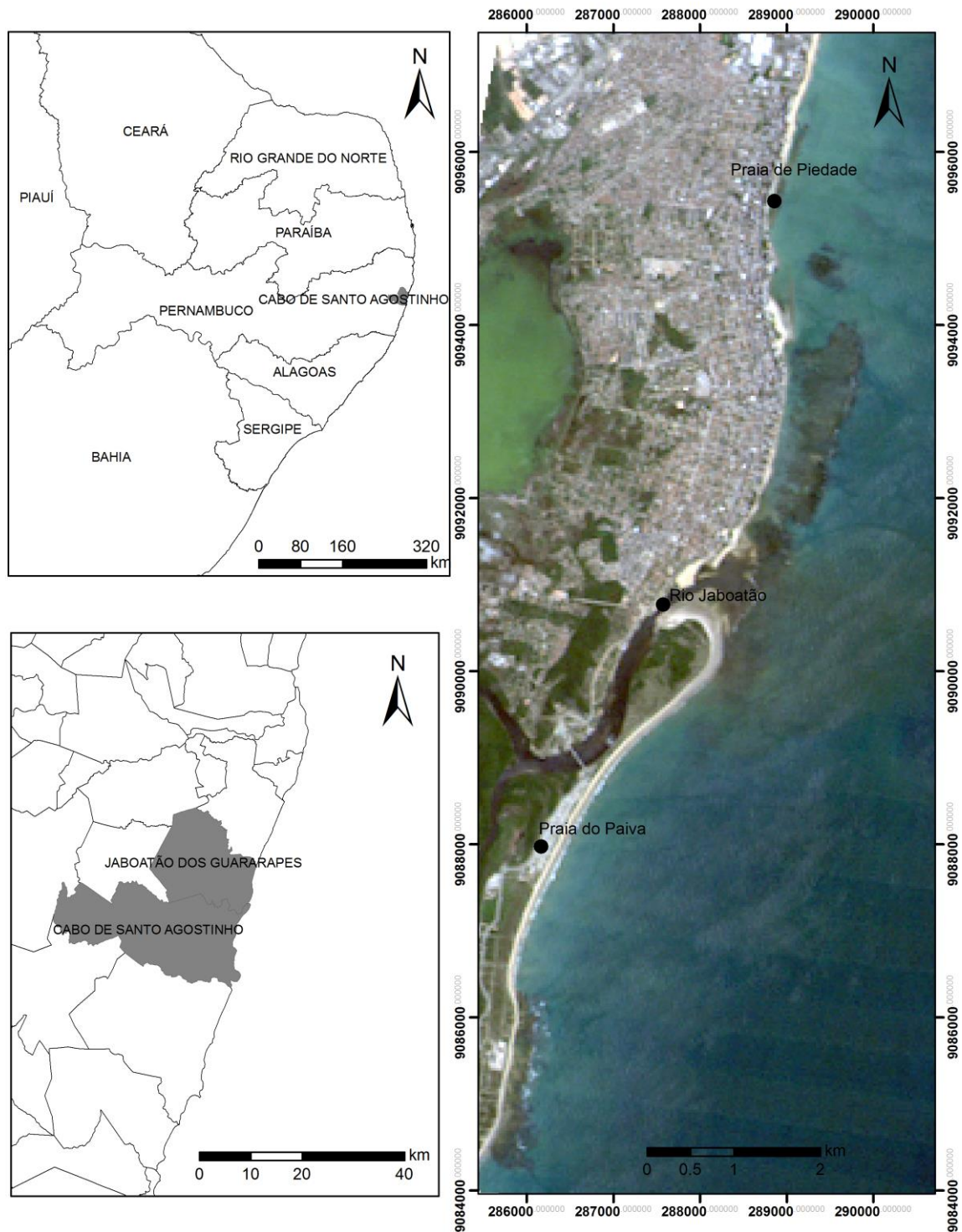


Figura 2.1 (a) Mapa de Localização das Praias do Paiva e Piedade a esquerda (Landsat 8); (b) Região Nordeste; (c) Cidades de Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho. Datum SIRGAS 2000.

Tabela 2. 1 Limites dos setores da praia do Paiva em coordenadas UTM, datum SIRGAS 1984 zona 25 S.

Setores/Coordenadas	UTM Y	UTM X
Setor Norte	2847870 - 2899860	9090764 - 9088087
Setor Central	2899860 - 2843600	9088087 - 9085905
Setor Sul	2843600 - 2895610	9085905 - 9083709

Cada setor foi dividido através de uma característica específica em comum. O setor norte foi caracterizado pela vegetação densa em uma área próxima à costa além da foz do Rio Jaboatão. No setor central é encontrada uma dinâmica residencial de alguns condomínios de alto padrão. E o setor sul foi destacado pela presença de um Recife de Arenito com presença coralínea em sua superfície (Dominguez et al., 1990).

A praia de Piedade está localizada no município de Jaboatão dos Guararapes-PE, na porção central da região Metropolitana do Recife (Fig.1 (a) e (c)). Possui características diferentes da praia do Paiva nos aspectos físicos devido a existência de duas linhas de arrecife, protegendo a praia da incidência de ondas. Diferencia-se também pelos aspectos socioeconômicos sendo uma praia completamente urbanizada e obtendo uma densidade demográfica considerada alta com 2.491,82 hab/km² (IBGE, 2010).

Tabela 2. 2 Limites dos setores da praia de Piedade em coordenadas UTM, datum SIRGAS zona 25 S.

Setores/Coordenadas	UTM Y	UTM X
Setor Norte	2886340 - 2919170	9098163 - 9095960
Setor Central	2919170 - 2879710	9095960 - 9094546
Setor Sul	2879710 - 2916679	9094546 - 9093186

Assim como a praia do Paiva, a praia de Piedade também foi dividida em 3 setores delimitadas na tabela 2. O setor norte foi agrupado conforme a característica da ausência de intervenção de recifes e estruturas costeiras. O setor central foi identificado com a presença de

recifes de arenito. E o setor sul foi avaliado através da presença de uma estrutura de engenharia costeira e a presença de Recifes.

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção será detalhada a área de estudo bem como a proposta acerca dos indicadores inseridos no índice para avaliação da vulnerabilidade a erosão costeira. Os indicadores foram introduzidos no banco de dados geográficos através do processamento de dados em SIG a partir da vetorização das feições, como: quadras urbanas, vegetação, praia, linha de costa, rio, solo exposto, ruas e avenidas asfaltadas, estruturas de engenharia costeira e recifes.

Para cada feição foram realizados os cálculos de área para os polígonos gerados e análise dos comprimentos de linhas. Todo o processamento matemático foi realizado no *software Quantum GIS 2.6* (QGIS 2.6). mais detalhes sobre os indicadores presentes e sobre os materiais utilizados na aplicação do modelo proposto.

De acordo com Fernandez et al., (2013) a disponibilidade do sensoriamento remoto de alta resolução espacial permite a geração de mapas e aquisição da espacialização com maior acurácia o que se torna interessante para ser utilizado como fonte de informações e para representação temática do índice de vulnerabilidade à erosão costeira.

Com o objetivo de realizar o mapeamento das áreas de interesse foram utilizadas imagens orbitais de alta resolução espacial. As imagens digitais utilizadas pertencem ao satélite artificial *Geoeye* do ano de 2013, com as seguintes características: resolução espectral por bandas em (μm) B1: 0,45-0,52 μ - azul; B2: 0,52-0,60 μ - verde; B3: 0,63 - 0,69 μ vermelho; B4: 0,76-0,90 μ -infravermelho; B5: 0,45-0,90 μ pancromática e resolução espacial para o modo pancromático de 0,60cm e 2,4m para as bandas B1, B2 e B3, cedidas gentilmente pelo laboratório de cartografia costeira (LACCOST-UFPE).

2.3.1 PARÂMETRO DE ENTRADA DO MODELO CONSIDERANDO (INDICADORES) AMBIENTAIS E GEOGRÁFICOS

Com o intuito de minimizar os impactos da erosão costeira, Bush et al. (1999) apresentam um simples e rápido método baseado em indicadores ambientais e geoindicadores. A tabela 1 apresenta três principais colunas do índice (baixo, moderado e alto), duas variáveis

(costeiro e continental) e dez indicadores (morfologia da praia, posição da linha de costa, presença de dunas, exposição à onda, presença de rios, elevação do terreno, vegetação, estruturas costeiras, ocupação percentual, solo permeabilizado).

Este método apresenta uma abordagem aos processos erosivos que trazem a vulnerabilidade a costa, considerando as variáveis naturais e antrópicas como indicadores, envolvendo os mais significantes agentes praias. A seguir cada um dos indicadores será descrito:

1. Morfologia da praia: Este é o primeiro e mais importante indicador para compreender os processos dinâmicos da linha de costa. A morfologia costeira é o fator resultante de processos hidrodinâmicos, geológicos e climatológicos. Podendo ocorrer em longa ou curta duração, na ordem de metros a quilômetros, respectivamente (Menezes, 2008).

2. A posição da linha de costa sofre constantes alterações, sendo que estas podem ser intensas ou insignificantes, não possuindo um padrão indicado em escalas temporais. Para avaliar este indicador é necessário avaliar as alterações históricas do ambiente praias como indicam Cowel e Thom (1994).

3. Os campos de dunas demonstram-se como barreiras naturais que protegem a zona costeira de ondas e tempestades, além de funcionarem como fontes de sedimentos para as praias adjacentes. Elas têm uma importância elementar, pois apresentam uma propensão bastante eficaz na proteção praias.

4. Recife este é um parâmetro que define o grau de exposição ou proteção da linha de costa para a ação de ondas. É necessário observar a existência ou ausência de obstáculos em direção ao longo da linha de costa.

5. Rios ou canais são verificados através da dinâmica destas feições que tendem à instabilidade em função de sua migração ao longo do tempo. Rios ou Canais migram muitos metros durante anos ou operam uma abertura de maneira intermitente, causando mudanças abruptas na linha de costa chegando a provocar inundações nas áreas adjacentes a praia.

6. A elevação do terreno está relacionada ao alcance do ataque das ondas e elevação do nível do mar. Uma região com elevação acima de 6m dificilmente sofrerá inundações causadas por sobrelevagem que ocorrem em períodos energéticos. Já terrenos com elevação abaixo de 3m são bastante suscetíveis à ação destes eventos.

7. A vegetação na zona costeira é um indicador que mostra estabilidade ou instabilidade uma área adjacente a praia. A vegetação funciona como retentora de sedimentos. Além disso, quando arbórea com copas altas e bem desenvolvidas indica estabilidade de uma área com

pedogênese avançada, em quanto que a vegetação com raízes expostas e árvores inclinadas sugerem processo de erosão em curso.

8. Engenharia costeira e estruturas de contenção da erosão costeira, são bastante utilizadas na minimização dos impactos. Estas são emergências usuais para a redução de impactos na linha de costa. Embora providencie a proteção em curto prazo, elas representam áreas de instabilidade no cenário futuro.

9. A ocupação pode causar severos danos para a costa intensificando os processos erosivos, mudanças no balanço sedimentar e elevação do nível do mar.

10. ImPermeabilidade do solo: este indicador está diretamente relacionado ao percentual de ocupação, sendo discutido em mais detalhes em um tópico específico.

Tabela 2. 3 Geoindicadores utilizados para avaliação da vulnerabilidade a erosão costeira

	Variáveis	Indicadores	V. Baixa	V. Moderada	V. Alta
Índice	Costeiro	1 Morfologia da praia	Bom suprimento de areia e praia robusta em sua morfologia	Potencial interrupção de suplementos sedimentares e moderado estreitamento do perfil da praia	Praia estreita com suplementos sedimentares interrompidos
		2 Posição da linha de costa	Acréscimo Presença da	Estável Presença de pequenas e	Erosão Sem dunas
		3 Campos de Dunas	extensão e grande atuação da área de dunas	dunas com baixa elevação	
		4 Exposição à onda	Presença natural de barreiras.	Presença de bancos de areia.	Ondas com efeitos não naturais com obstáculos minimizando a energia
		5 Distância da foz de Rios	>100m	Entre 50 e 100 m	<50m
	Continental	6 Elevação do terreno	>6m Vegetação densa	3-6m Estabelecida com	<3m Esparsa ou nenhuma vegetação
		7 Vegetação	com florestas maduras sem presença de erosão.	gramas e Arbustos	
		8 Estruturas costeiras	Ausente	Estruturas de pequeno porte	Presença de diques, muros de contenção, quebra-mares, entre outros
		9 Percentual ocupação	de<30% Solo com	Entre 30 e 70% Moderada	>70% Permeabilidade afetada pela
		10 Permeabilidade do solo	ocupação ausente ou esparsa	permeabilidade devido a ocupação e urbanização	presença urbana e assentamentos bem desenvolvidos

2.3.2 OCUPAÇÃO PERCENTUAL

Para análise de vulnerabilidade à erosão costeira nas duas praias avaliadas foram necessários estudos no que tange a ocupação urbana, relacionadas ao histórico de construção de edificações, observação do cenário atual das imagens de satélite, dados de densidade demográfica populacional dos municípios finalizado a partir das áreas de ocupação urbana e áreas naturais atribuídas pela ausência de ocupação antrópica, com dados populacionais do IBGE (2010). O índice de ocupação (A_o) é a soma de todas as variáveis e feições urbanas como descrito na equação 1:

$$A_o = A_b + A_r + \dots A_n \quad \text{eq. 2.1}$$

Onde A_b são áreas edificadas; A_r são áreas das estradas e A_n são n variáveis. A ocupação percentual é definida como (P_o) (Eq. (2)):

$$P_o = \frac{A_o \times 100}{A_u} \quad (2) \quad \text{eq. 2.2}$$

Onde A_u corresponde ao total da área em cada setor. Porcentagens inferiores a 30% indicam baixa vulnerabilidade, e porcentagens superiores 70% indicam a vulnerabilidade alta. Valores intermediários indicam vulnerabilidade moderada.

2.3.3 ÍNDICE

Segundo Bush et al. (1999) e Sousa et al. (2011) os setores dos ambientes costeiros são resultados dos processos físicos e antrópicos integrados, através de agentes patogênicos que estão em constantes alterações. Devido a isso o índice avaliará cada indicador de maneira individual detalhada conforme descrito no item anterior e, de acordo com sua presença atuando como agente protetor ou agente erosivo.

O indicador apresentará seu potencial para a vulnerabilidade à erosão costeira (baixa, moderada ou alta). Considerando os valores da Tabela 1. Um valor numérico baseado nas amostras é atribuído para cada variável: 0 = baixa, 5 = moderada e 10 em alta vulnerabilidade. Os mesmos são organizados em planilhas que alimentam a base de dados para o modelo

numérico.

Os resultados obtidos através do banco de dados acerca da vulnerabilidade costeira são aplicados na equação 3 que resulta no índice (I), de acordo com os 10 parâmetros de entrada do modelo. Onde n_v é o número de variáveis, n_i o número de indicadores da determinada variável e x_i é a soma dos indicadores. Somando as variáveis e realizando a média aritmética dos indicadores, obtendo-se o valor do índice proposto. A vantagem deste índice é a possibilidade de trabalhar em diferentes escalas com base na área de interesse.

O índice é um resumo dos indicadores (tabela 2.3), dada pela avaliação a vulnerabilidade sendo os valores numéricos encontrados entre 0 a 2,9 considerado como baixa vulnerabilidade, de 3 a 6,9 vulnerabilidade moderada e de 7 a 10 alta vulnerabilidade. Sendo assim, a análise proposta foi realizada em três setores (Norte, Central e Sul) pré-determinados através dos indicadores específicos de cada setor. De acordo com a eq. (3) temos:

$$I = \left(\frac{1}{n_v}\right) \cdot \sum_v \cdot \left(\frac{1}{n_i}\right) \cdot \sum_i x_i \quad eq. 2.3$$

2.4 RESULTADOS

2.4.1 PRAIA DE PIEDADE

2.4.1.1 Setor Norte

O setor norte da praia de Piedade se caracteriza por apresentar 57,8% de ocupação, onde 28,9% são quadras urbanas. Esta porção representa ser a porção da cidade de Jaboatão dos Guararapes mais próximo dos limites com da cidade do Recife, a capital do estado de Pernambuco.

A partir da década de 1960 esta área caracterizou-se por uma intensa valorização no mercado se destacando por ser uma área de alta especulação imobiliária a partir de terrenos com edifícios e inúmeros prédios residenciais e empresariais, que favorecem a concentração e crescimento populacional para esta região, o qual não ocorreu de forma planejada.

Pela análise da imagem *Geoeye* possível constatar que apenas 1,1% representa área de solo exposto, regiões de áreas particulares ainda não edificadas, que são inseridas. Ainda sobre os aspectos urbanos, 28,9% da área total são ruas e avenidas, todas asfaltadas. Neste setor não há nenhuma estrutura de proteção costeira, tanto artificial, como natural.

Na área avaliada 11,3% foi considerado vegetação, na forma de árvores de médio e grande porte, a vegetação arbustiva foi de 0,7%. A área de praia corresponde a 27,4% do total avaliado para o setor, este valor percentual está atribuído a engorda de praia concluída no ano de 2014.

A partir da proposta avaliada por Sousa et al. (2011) através da análise da vulnerabilidade pelos geoindicadores por Bush et al. (1999), o índice de vulnerabilidade para este setor foi de 8, ou seja avaliação de alta vulnerabilidade erosão costeira, destacada pela alta influência antrópica na região.

2.4.1.2 Setor Central

O índice de vulnerabilidade para este setor foi calculado como 7, classificado como zona de alta vulnerabilidade à erosão, seguindo valores percentuais semelhantes ao setor norte, obtendo 60,9% de quadras urbanas e estradas asfaltadas.

Assim como o a área norte da praia de piedade, esta porção analisada apresenta diversos serviços à população local, assim como grandes prédios, agências bancárias, grandes redes de supermercados, presentes em 16 % de estradas asfaltadas ao longo do ambiente de pós-praia caracterizando um ambiente praias bastante urbanizado, como possível observar na figura 2.

Ao longo da linha de costa são observados 5,04% de área correspondente a um recife de arenito (Dominguez et al., 1990), possibilitando a minimização da exposição de ondas à praia. A área de praia para este setor foi de 30,7%, enquanto a quantificação da área vegetada para este setor é de 2,5% de árvores de grande e médio porte, enquanto a vegetação arbustiva foi classificada como 0,7%.

2.4.1.3 Setor Sul

Bem como os setores Norte e Central, o setor Sul da praia de Piedade contém um grande contingente populacional, característico de uma praia completamente urbanizada, contendo 40,7% de ocupação percentual inseridas em grandes prédios provocando impactos ambientais negativos além de 15,7 % de estradas asfaltadas, totalizando 56,4% de área de solo impermeável.

No ano de 2004 foi construído neste setor, uma estrutura de engenharia costeira, também visualizando a minimização da exposição da praia local às ondas, no entanto este espigão sofreu uma redução devido as obras realizadas no ano de 2014 pela prefeitura da cidade de Jaboão dos Guararapes. Atualmente este espigão corresponde de maneira

fracionada a 2,3% da área total avaliada possibilitando a deposição de sedimentos no ambiente praiar que corresponde, após o período as obras de engorda de passaram a 25,8% de área avaliada.

A morfologia praiar dinamiza entre não haver a presença de dunas, mas valores de 1,8% de vegetação rasteira e 0,5% % de vegetação de grande porte na linha de costa. Neste setor foram avaliados recifes de arenito (Dominguez et al., 1990) que correspondem a 2,1% da área analisada.

O índice de vulnerabilidade no setor sul da praia de Piedade obteve o resultado de 7, classificado como de alta vulnerabilidade à erosão costeira, sendo os fatores antrópicos os principais agentes da quantificação deste índice.

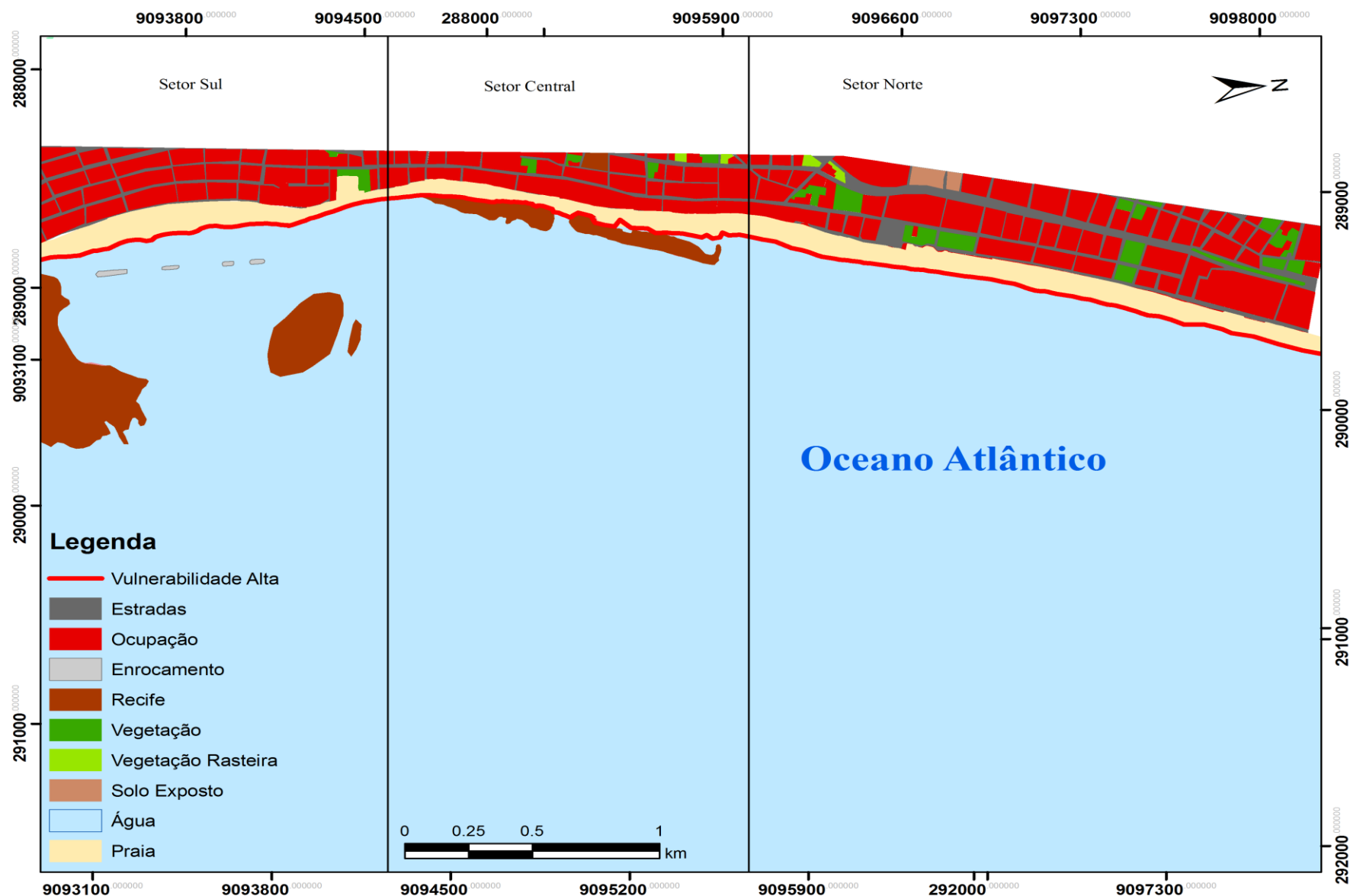


Figura 2. 2Praia de piedade após o processamento da vetorização das imagens *Geoeye* e a aplicação dos indicadores propostos na metodologia. Datum Sirgas 2000 – Sistema de Coordenadas UTM Fuso 25 S.

2.4.2 Praia do Paiva

2.4.2.1 Setor Norte

O índice setor norte foi classificado como 5, demonstrando uma vulnerabilidade média, a morfologia da praia neste setor é diferenciada, pois apresenta-se próximo a foz do Rio Jaboatão (17,6% da área analisada), passando por fenômenos de erosão e acreção de forma contínua.

A foz do Rio Jaboatão apresenta eventos de intensa energia, causados por eventos meteorológicos, trazendo consigo uma maior carga sedimentar (Magini et al., 2007), influenciando diretamente a área de praia, que é de 3,7%, não sendo identificado nenhuma presença de estruturas de engenharia costeira, ou de recifes naturais, ocorrendo uma intensa exposição a ondas nesta localidade.

A vegetação corresponde a 57,2%, tendo como característica principal uma extensa área de coqueiros e a presença de uma área de manguezal cobrindo uma intensa área que fica entre a praia e o Rio Jaboatão. A proximidade com o município de Jaboatão dos Guararapes-PE e os investimentos feitos em rodovias pedagiadas traz um contingente populacional em crescimento onde atualmente 10,4% é traduzido como ocupação percentual e 1,9% são estradas que se conectam para a microrregião de Suape, sendo todas as estradas pavimentadas neste setor. Ainda na análise foram identificados 9,2% de solo exposto, áreas em que não existe presença de residências, vegetação ou estradas.

2.4.2.2 Setor Central

A porção central da praia do Paiva, é sem dúvidas a área do Paiva mais atingida pela influência antrópica com 25,9% referentes a ocupação em quadras urbanas, e 2,5% de estradas e rodovias pavimentadas, área não permeável, existindo com a referência de condomínios de alto valor aquisitivo, tendo a estabilização de mega empreendimentos presentes causando grandes alterações ambientais na costa litorânea, caracterizado por 3,6% do estudo, tendo a semelhança da faixa do setor norte.

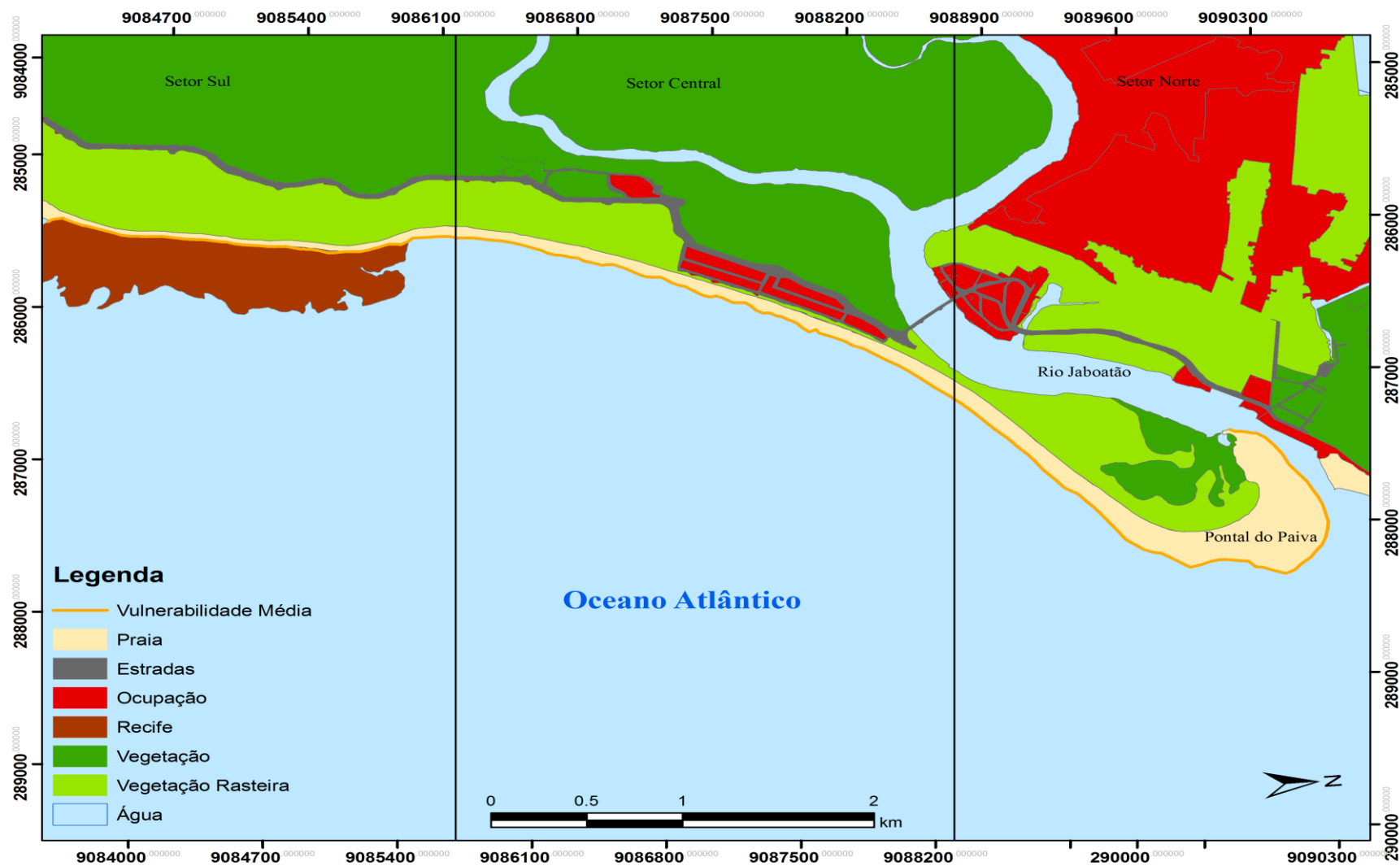


Figura 2. 3Praia do paiva após o processamento da vetorização das imagens *Geoeye* e a aplicação dos indicadores propostos na metodologia. Datum Sirgas 2000 - Sistema de Coordenadas UTM Fuso 25 S

Apesar dos dados evidenciarem danos ao meio ambiente 60,3% do setor central consiste em uma extensa faixa de vegetação de coqueiros, incluindo a porção costeira como é possível ver na figura 3, possibilitando a fixação de sedimentos, 3,2% da análise para este setor foi tida como solo exposto.

Uma característica deste setor é que o Rio Jaboatão (4,5%) corre de maneira paralela à praia. O índice de vulnerabilidade para o Setor Central da Praia do Paiva (2886650 – 2894950 UTM Y e 9095976 – 9094094 UTM X) foi de 5,5, sendo classificado como vulnerabilidade média.

2.4.2.3 Setor Sul

O setor sul da praia do Paiva apresenta-se de maneira bastante singular, a presença de ocupação antrópica é bastante reduzida se comparado aos setores avaliados anteriormente. O índice deste setor é 5, classificado como vulnerabilidade moderada.

O Rio Jaboatão não apresenta interferência nesta área da praia, apenas nos períodos de chuvas intensas ou eventos de tempestade, quando o mesmo transporta sedimentos para o setor em evidencia ocasionando a turbidez das águas por estar apenas 4 km de distância da foz. Ao longo da linha de costa é encontrado um recife de corais e de algas coralinas (Dominguez et al., 1990), correspondendo a 22,7% do setor analisado, protegendo a exposição de ondas, atuando como um obstáculo, alcançando a praia que contém 27,6% da área avaliada. Não há presença de dunas nem estruturas de engenharia costeira neste setor.

A permeabilidade do solo não é comprometida pela influência antrópica apenas na estrada local asfaltada totalizando 1,9%. Um dos fatores que possibilitam a avaliação do percentual de ocupação neste setor é obtido por meio da vegetação local que é de 57,8%, e assim como nos outros setores da praia do Paiva é visível através de uma extensa área de coqueiros.

2.5 DISCUSSÃO

As análises realizadas tiveram o intuito de avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira em duas praias da região metropolitana do Recife, sendo elas Piedade (Jaboatão dos Guararapes) e Paiva (Cabo de Santo Agostinho).

A partir de então foram observados que nos três setores da praia de Piedade a vulnerabilidade esteve entre 7 e 8. A influência dos fatores antrópicos, neste caso a urbanização e a quantificação dos solos impermeáveis corresponderam entre 57,8% e 60,9%, caracterizando uma intensa urbanização para este ambiente.

De acordo com Guerra e Manso (2004) a instalação de elevados graus percentuais de edificações e estradas ao longo da região de pós-praia, são fatores condicionantes à potencialização da perda de sedimentos e balanço sedimentar negativo. Outro fator a se levar em consideração é a ocupação desordenada, que segundo os autores supracitados provocam o avanço da linha de costa em direção ao continente.

No ano de 2014 a prefeitura do município de Jaboatão dos Guararapes realizou o processo de engorda das praias da orla municipal, este aumento caracterizou a inserção de 1 milhão de m³ de areia em 5,6 km² de área total modificada. A jazida destes sedimentos estavam localizadas nas proximidades da praia de Calhetas no município do Cabo de Santo Agostinho (CPRH, 2014).

Além da alteração através dos sedimentos inseridos na orla de Piedade, a morfodinâmica local também sofreu modificações com as retiradas de parte de um recife e a redução de uma estrutura de engenharia costeira, identificada como enrocamento.

A interferência do governo municipal na infraestrutura costeira foi de grande serventia para a população local que sofria com o avanço do mar. Entretanto os motivos que identificavam esse avanço do mar são os mesmos que atribuem a questão da vulnerabilidade à erosão costeira na praia de Piedade, que é a interferência antrópica.

Diferentemente da praia de Piedade, os três setores da praia do Paiva (localizada no Cabo de Santo Agostinho-PE) oscilaram entre 5 e 6. A resposta para a quantificação nestes valores está no desenvolvimento da vegetação local, onde existe uma presença massiva de coqueirais e remanescentes de mata atlântica e intensas áreas de mangue, onde foram observados 57,2%, 60,3% e 57,8%, nos setores Norte, Central e Sul respectivamente.

Outro fator que responsabiliza a preservação do ambiente costeiro está relacionada a influência antrópica que nos três setores apresenta-se de maneira modesta. O uso e ocupação do solo nos três setores da praia do Paiva não passaram de 25,9%, sendo este valor ocorrido no setor central. Entretanto, este setor já apresenta alterações com a criação de condomínios de luxo, considerando a presença local da especulação imobiliária para a construção de novos empreendimentos.

As áreas litorâneas da Região Metropolitana do Recife passam por uma série de processos urbanísticos, gerando conflitos que estão relacionados ao uso e ocupação do solo. A falta de políticas públicas que estabelecessem ocupações ordenadas ao longo dos ambientes nas proximidades da capital pernambucana vêm gerando sérios conflitos ambientais (Xavier, 2002).

Casos como as praias de piedade, onde a vulnerabilidade à erosão costeira já alcança índices elevados, bem como a praia do Paiva que já passa pelo interesse imobiliário local, devem ser apresentados através da proposta metodológicas que proporcionem análises referentes a suscetibilidade nestes cenários.

Ribeiro et al. (2013) afirma que o presente método é um procedimento rápido e de baixo custo para a avaliação do cenário costeiro com potencial vulnerabilidade, sendo possível aplica-lo a gestão costeira em diversas escalas objetivando possíveis intervenções em meios que se apresentam como vulneráveis aos indicadores propostos.

Para Cooper e Mc Laughlin (1998), a classificação da costa em níveis de vulnerabilidade e risco permite o estabelecimento de diretrizes, o que diz respeito a gestão costeira, sendo necessário estabelecer limites e critérios para a observação dos fenômenos que potencializam a erosão e regressão da linha de costa.

O presente método demonstrou ser de simples aplicabilidade e capaz de ser adaptado para áreas que possuem menores acervos de dados pretéritos ou ambientes passíveis de ausência de dados temporais em relação a avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira, sendo esta uma vantagem da metodologia proposta. Entretanto outros métodos podem ser aplicados, incluindo a inserção de pesos específicos para determinados indicadores. Neste estudo, todos os indicadores recebem a mesma consideração para a proposta metodológica apresentada no presente trabalho.

Como sugere Sousa, et al., 2011 o aumento do nível de complexidade das estimativas, com a interseção de outros indicadores relacionados à dados de onda, transporte de sedimentos, dados socioeconômicos e dados orbitais, pode apresentar-se como um modelo para áreas de interferência antrópica como é o caso específico da praia de Piedade, inserida em um ambiente urbano de alta densidade demográfica (IBGE, 2010).

Além desses fatores a escolha da escala, precisão e métodos, quando escolhidos de maneira errônea, podem negligenciar importantes detalhes relacionados a este tipo de abordagem. Mudanças na paisagem e uso de ocupação do solo são geoindicadores classificados como antrópicos, portanto devem estar relacionados a urbanização e as

consequências que estes fatores podem acarretar para o ambiente costeiro (Neves e Muehe, 2008 e Fernandez et al., 2013).

Segundo Bush et al. (1999) a análise dos geoindicadores pode fornecer resultados eficientes para implementar ferramentas de gestão visualizando uma avaliação emergencial a cerca da potencialização natural de risco e de perigos, podendo atuar como suplemento à auditoria ambiental que já ocorre em longo prazo, ou para a avaliação inicial costeira de países em desenvolvimento.

No contexto do presente trabalho a proposta de Sousa et al. (2011) através da geração dos mapas em ambientes de sistemas de informações geográficas, obtenção dos dados de vulnerabilidade através de imagens de satélite e a análise dos geoindicadores foram observadas como uma melhor possibilidade de avaliação conjunta das praias de Piedade e do Paiva.

2.6 CONCLUSÃO

A avaliação da vulnerabilidade a erosão costeira nas praias de Piedade e do Paiva apresentaram resultados divergentes devido aos indicadores encontrados nestas duas áreas da Região Metropolitana do Recife. Onde os fatores de destaque se caracterizam com a presença de intensas áreas de urbanização nos três setores da praia do Pidade que contrastam com cenários de áreas de manguezais e vegetação arbustiva nos setores central e sul da praia de Paiva.

Um aspecto a se destacar para os cenários do setor norte da praia do Paiva é o Pontal que apresenta um intenso aporte sedimentar oriundos do Rio Jaboatão, além da fixação destes pela presença de vegetação de mangue evidenciada nesta área. O que traduz a importância de avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores previamente descritos, comparando com a descrição de outros autores a cerca da mesma área estudada.

A metodologia é baseada na identificação de feições destacadas através de imagens de satélite de alta resolução. Estas feições são responsáveis por figurar as áreas estudadas evidenciando áreas com potenciais estados de erosão ou proteção dos ambientes costeiros. Em áreas de grande intensidade urbana os graus de erosão serão maiores que praias que apresentam pouca urbanização, bem como a presença de vegetação auxiliará na proteção costeira.

No entanto é possível observar que a metodologia utilizada neste trabalho sugere a presença de mais materiais como por exemplo: dados de altura de maré e onda, topografia do

perfil praial e batimetria. Pois a implementação destes dados qualificarão a análise da vulnerabilidade à erosão costeira devido aos dados *in situ* validando a análise através do sensoriamento remoto orbital.

Outro fator a ser considerado pela metodologia, é o auxílio para áreas que carecem de dados, como o litoral a costa de Pernambuco, podendo ser aplicadas, também, para praias que estão em estados emergenciais, como eram os setores da praia de Piedade antes da enchente concluída no ano de 2013 pela prefeitura de Jaboatão dos Guararapes, realizada ao longo de toda a orla do município perfazendo um total de 5,8 km de extensão.

As problemáticas que surgem em ambientes afetados pela erosão costeira, estão nas residências localizadas no pós-praia e nas atividades ligadas ao turismo nestes ambientes, levando em consideração os aspectos visuais causados por estruturas rígidas de engenharia costeira, devido a falta de segurança para os banhistas.

Os dados de vulnerabilidade apresentados neste trabalho mostram a necessidade de tomadas de medidas preventivas para a redução de prejuízos causados pela erosão costeira, como o aumento de distância das áreas urbanas em relação as praias e a plantação de vegetação de restinga ou gramíneas.

A utilização destas medidas devem condizer com os aspectos locais, tendo o auxílio de especialistas que desenvolvam estudos locais mais profundos na tentativa de otimização das áreas com potenciais erosivos através do evidenciamento dos fatores que correspondem para a realidade das praias locais.

USO DE GEOINDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROÇÃO COSTEIRA ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

3.1 INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros exercem uma importante função dentro da perspectiva sócio-econômica devido a sua presença como importante fonte de recursos. Estes são caracterizados por seus aspectos de sensibilidade ecossistêmica e fisiográfica, estando sobre influência continental e oceânica (Emrich e Cutter, 2011).

Em virtude de sua localização, o ambiente praial torna-se bastante dinâmico, sendo notável as alterações temporais que lá ocorrem impulsionados pelas modelações de forças naturais (eventos climáticos, marés astronômicas e correntes costeiras) (Bosom e Jimenez, 2010).

Além destes fatores, questões antrópicas vêm ganhando relevância nos cenários costeiros. No crescente demográfico em todo o mundo, o valor paisagístico potencializou a urbanização nas cidades litorâneas de países em desenvolvimento, contribuindo para a descaracterização do ambiente praial, submetidos a processos erosivos. (Begger e Iams, 1996).

As alterações nas proximidades das áreas costeiras aceleram a erosão tornando-as vulneráveis, trazendo consigo diversos impactos como alterações no balanço sedimentar e, por consequente, retrogradação da linha de costa. Na tentativa de minimizar estas problemáticas, têm-se estruturas rígidas com o propósito de proteger as infraestruturas urbanas dos danos causados pelos processos erosivos, (Klein et al., 2003).

A vulnerabilidade à erosão costeira apresenta-se como um arranjo de variáveis que destacam uma maior susceptibilidade em relação a incidência de um evento, fenômeno, ou de uma ação de potencial destrutivo (Gouldby e Samuels, 2005).

Neste sentido vários são os indicadores que caracterizam a vulnerabilidade à erosão costeira, segundo Bush et al. (1999) os principais são a morfologia de praia, posição da linha

de costa, configuração das dunas, exposição à onda, distância da foz de rios, elevação do terreno, estrutura costeiras, percentual de ocupação e permeabilidade do solo.

A avaliação vulnerabilidade é essencial para identificar e reconhecer os fatores que potencializam a erosão ou caracterizam a proteção dos ambientes costeiros. Para isso é preciso uma série de dados que incluam tanto as perspectivas naturais como as antrópicas (Bosom e Jimenez, 2010).

Atualmente, vários são as metodologias que compreendem a avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira, podendo utilizar como referências os trabalhos de Bush (1999), Nicholls e Klein (2005), Birkmann (2007), Dominguez (2008) e Martins (2015) devido a sua aplicabilidade em diversas praias ao redor do mundo.

A utilização de informações geográficas obtidas a partir de técnicas de sensoriamento remoto está em evidência no tocante ao estudo da vulnerabilidade à erosão costeira, sendo utilizada como fonte de observações temporais, capaz de otimizar tempo e custos, podendo ser aplicada em diversas escalas (Amaro, Santos e Souto, 2012).

Os objetivos deste capítulo são: (i) analisar a influência antrópica em ambientes costeiros urbanos como potencial indicador a vulnerabilidade à erosão; (ii) Observar e quantificar a influência da proximidade de estuários sobre a vulnerabilidade à erosão costeira (iii) verificar a importância de áreas preservadas nas áreas costeiras em relação a vulnerabilidade.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

3.2.1 Litoral Pernambucano

O litoral do Estado de Pernambuco possui uma extensão de 187 km, estendendo-se desde o município de Goiana (Litoral Norte), no limite do estado da Paraíba, até o município de São José da Coroa Grande (Litoral Sul), limite com o estado de Alagoas. Apresenta 13 municípios em sua totalidade (Goiana, Ilha de Itamaracá, Igarassu, Paulista, Olinda, Recife, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Sirinhaém, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande) que estão subdivididos em 3 setores (Litoral Norte, Núcleo Metropolitano e Litoral Sul) (Figura 1).

Segundo Manso et al. (2012) 43,8% da população pernambucana ocupa as áreas costeiras, que representam apenas 4% do território do Estado de Pernambuco, onde boa parte

está concentrada em áreas urbanas, como descrito na Tabela 1, apresentando uma intensa densidade demográfica.

3.2.2 Clima

Devido a sua localização, o litoral pernambucano apresenta clima tropical úmido com chuvas de inverno antecipadas no outono, tendo clima As' (pseudo tropical) a partir da classificação de Koppen (1948) Demonstrando um regime pluviométrico de chuvas bem distribuídas ao longo do ano com médias de 2000 mm (Litoral Norte), 2458 mm (Núcleo Metropolitano) e 2400 mm (Litoral Sul) e temperaturas médias que oscilam entre 24°C nos meses de Julho e Agosto (meses mais frios) e 27°C em fevereiro (mês mais quente) (SRHE, 2002).

3.2.3 Vegetação

A vegetação do litoral pernambucano, caracteriza-se de maneira original pelo Bioma da Mata Atlântica que se encontra, em sua totalidade, fragmentada pelo grau de ruptura paisagístico. Atualmente essa vegetação apresenta-se protegida em alguns trechos do litoral, mais especificamente em Unidades de Conservação, como por exemplo a APA de Santa Cruz no Litoral Norte, APA Aldeia-Beberibe no Núcleo Metropolitano e a APA de Guadalupe no Litoral Sul (Câmara, 1991; Ranta et al., 1998; CPRH, 2012).

3.2.4 Geologia

A faixa costeira do Estado de Pernambuco é descrita a partir de uma sequência de acumulo de sedimentos na bacia Pernambuco/Paraíba e na Bacia Cabo, localizadas ao Norte e ao Sul do lineamento Pernambuco, respectivamente. Segundo Moraes (1928), este ambiente é formado pelos sedimentos holocênicos e pelos afloramentos da formação barreiras ou das formações cretáceas repousadas sobre o embasamento formado por rochas do cristalino da província Borborema.



Figura 3. 1 Mapa de localização dos municípios costeiros do estado de Pernambuco divididos por setores (CPRH, 2012). Sistema de Coordenadas Geográficas Datum: SIRGAS 2000. Fonte: O Autor

Segundo Dominguez et al. (1990) os terraços marinhos no litoral pernambucano apresentam dois tipos de conjuntos de terraços arenosos com características marinhas. O primeiro conjunto apresenta terraços mais altos com altitudes de 7 a 11 m acima do nível do mar, encontrando em alguns afloramentos vestígios de antigas cristas de cordões litorâneos.

O segundo conjunto difere-se a partir da descrição em altitudes que variam entre 1 e 5 m acima do nível do mar atual, encontrado continuamente ao longo da costa. Conforme Carvalho e Coutinho (1979) estes terraços são associados a transgressão Flandriana, tendo uma idade holocênica.

Ao longo de toda a costa são observados depósitos do período quaternário, além de depósitos da formação barreiras nas cidades de Itamaracá, Igarassu e Siranhém, também são encontradas Caúla, 1974). Rochas Efusivas nas proximidades da praia de Gaibú no Cabo de Santo Agostinho (Dominguez et al. (1990).

3.2.5 Urbanização

Historicamente a zona costeira do estado de Pernambuco foi alvo de atividades antrópicas que permeavam os movimentos populacionais, como a economia local. Precisamente as cidades de Olinda e Recife lideraram a iniciativa da utilização do litoral, que trouxe consigo um padrão descontínuo no povoamento da orla dos municípios costeiros.

A utilização da orla como local de moradia, veio a ser potencializada a partir da década de 1970. Desde então, esta zona tem sido alvo de intensa procura e elevada especulação imobiliária. A situação se agravou na década de 1990 onde a concentração populacional passou a girar em torno de 44% do valor total estadual no litoral pernambucano (Manso et al., 2012).

De acordo com o IBGE (2010) os municípios mais adensados são os presentes no núcleo metropolitano, que são Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes, entretanto Igarassu, Paulista (setor norte), e Cabo de Santo Agostinho (setor sul) já apresentam densidades demográficas acima de 300 hab/km² (Tabela x), sendo as áreas mais ocupadas as que estão nas proximidades da orla das respectivas cidades.

Tabela 3. 1 Dados populacionais dos municípios costeiros do estado de Pernambuco. Fonte: IBGE/Censo 2010.

Município/Setor	Área km²	População Residente			Densidade Demográfica a hab/km²
		Total	Urbana	Rural	
Litoral Norte					
1. Goiana	445,814	75644	58025	17619	150,72
2. Igarassu	305,560	102021	93931	8090	333,88
3. Ilha de Itamaracá	66,684	21884	16993	4891	327,05
4. Paulista	97,312	300466	300466	0	308,76
Núcleo Metropolitano					
1. Jaboatão dos Guararapes	258,694	644620	630595	14025	2.491,82
2. Olinda	41,681	377779	370332	7447	9.063,58
3. Recife	218,435	1537704	1537704	0	7.039,64
Litoral Sul					
1. Barreiros	233,380	40732	33982	6750	174,54
2. Cabo de Santo Agostinho	448,735	185025	167783	17242	412,33
3. Ipojuca	527,107	80637	59719	20918	152,98
4. São José da Coroa Grande	69,338	18180	13436	4744	262,19
5. Sirinhaém	374,611	40296	21484	18812	107,57
6. Tamandaré	214,307	20.715	15170	5545	96,66

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Como materiais foram utilizadas imagens de satélite dos anos de 2009, 2012 e 2014. A partir destas imagens foi possível detectar as feições litorâneas e continentais, baseando-se na metodologia de Bush (1999) e aplicações de Sousa et al. (2011), onde, em ambos os casos, o produto final é a elaboração de mapas temáticos dos indicadores ambientais e antrópicos.

As etapas para obtenção dos indicadores costeiros são: (i) importação de cenas de imagens de alta resolução cedidas pela CONDEPE/FIDEM e LACCOSTE/UFPE; (ii) seleção de partes das cenas e dos limites a serem estudados;; (iii) vetorização das imagens para análise; (iv) geração das camadas de informações para toda a costa; e (v) avaliação da vulnerabilidade costeira à erosão para os municípios litorâneos de através dos geoindicadores.

3.3.1 SELEÇÃO E IMPORTAÇÃO DE CENAS UTILIZADAS

Para a caracterização das áreas de estudos, foram elaborados mosaicos para a extração de informações que apresentassem compatibilidade informações paisagísticas, espectrais, geométricas e radiométricas das imagens. Todos os mosaicos foram gerados no software *QuantumGIS 2.8*. Estas cenas foram previamente tratadas e geradas como mostra a tabela 3.2.

Tabela 3. 2 Informações gerais dos satélites utilizados no processamento de dados. Fonte: www.digitalglobe.com e www.geoeye.com

Cenas dos Municípios	Resolução				Satélite		Fonte
	Geométrica RGB	PAN	Radiométrica RGB	PAN	Espectral RGB	PAN	
Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca					450-520 (az)		
Jaboatão dos Guararapes e Recife	2.44m	0.75m	11 bit	11 bit	520-600 (vd)	450-900	QuickBird 2
Igarassu e Paulista Olinda					630-690 (vm)		Laccoste/UFPE
					450-520 (az)		
Ilha de Itamaracá	1.5m	0.50m	11 bit	11 bit	520-600 (vd)	450-900	World View 2
					630-690 (vm)		
					450-520 (az)		
Sirinhaém, Barreiros, Tamandaré e São José da Coroa Grande, Goiana	4.5m	1.0m	11 bit	11 bit	520-600 (vd)	450-900	Geo Eye 2 Condepe/Fiden
					630-690 (vm)		

3.3.2 VETORIZAÇÃO DE IMAGENS

A obtenção sensata de objetos é possível por meio de uma homogeneização prévia dos cenários propostos para análise. Os objetos de imagens iniciais são selecionados para o fornecimento de informações das quais são criadas bordas para uma representatividade cartográfica correta correspondente com os erros permitidos (Baatz e Mimler, 2002).

Para o presente estudo foram gerados a partir da criação de bordas a partir da vetorização paralela ao arquivo raster (Figura 3.2 a) (vetorização das imagens). Para todas as imagens propostos das imagens dos municípios litorâneos (setores Norte, Núcleo Metropolitano e Sul) foram criados arquivos tipo *shapefile* no software *QGIS 2.8 (Open Source)* a partir da identificação e criação da cartografia temática por meio dos geoindicadores que serão descritos na próxima sessão.

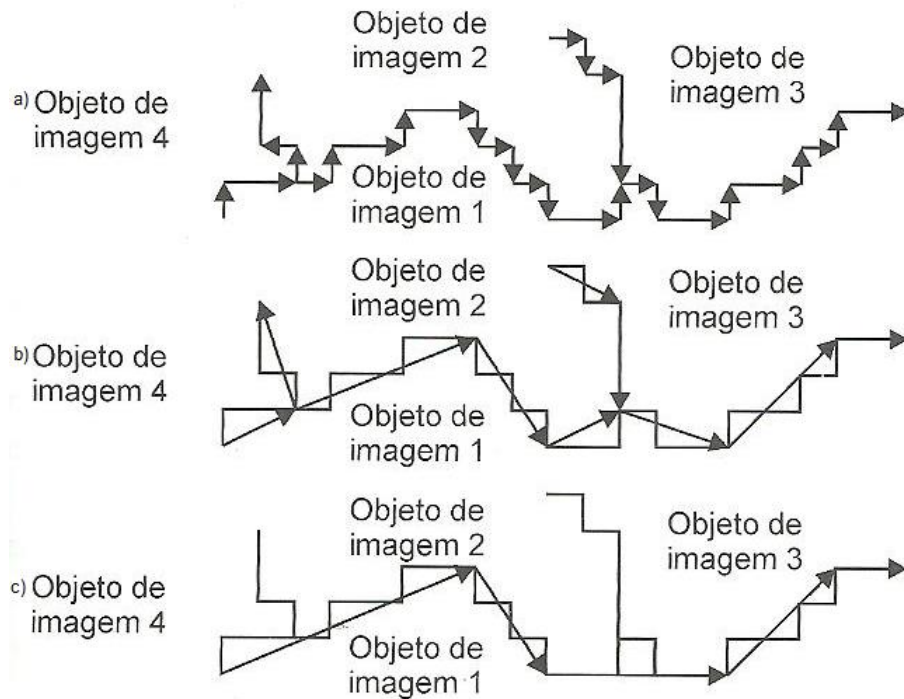


Figura 3. 2 Passos de vetorização: a) vetores paralelos ao raster; b) bordas idealmente retas considerando a estrutura topológica; c) bordas de formas generalizadas sem consideração da estrutura topológica (Baatz e Mimler, 2002).

3.3.3 CARTOGRAFIA COSTEIRA E GEOINDICADORES

Os bancos de dados espaciais podem ser considerados conjuntos de informações capazes de serem processadas e gerarem documentação cartográfica para avaliação de recursos (Burrough, 1986).

Tendo em vista o auxílio das tecnologias da geoinformação, foi criado um banco de dados capaz de avaliar, em escala regional, a presença de diferentes feições que estão na interface do continente e do oceano para o estado de Pernambuco (tabela 6) . Para tanto é necessário a definição de cada geoindicador bem como a sua interferência em relação a potencialização ou redução da vulnerabilidade à erosão costeira, como descrito a seguir:

1. Urbanização: Os cenários de urbanização nos ambientes costeiros estão, geralmente, ligados a alterações na dinâmica natural do processo de transporte e deposição de sedimentos. Altos níveis de urbanização acarretam processos erosivos acentuados e, como consequência, causam desequilíbrio sedimentar local (Klein et al., 2003). Baixos níveis de urbanização caracterizam residências de pequeno porte. Níveis de urbanização moderados são descritos neste trabalho como pequenos edifícios. Níveis de urbanização elevados descrevem intensamente ocupadas, com grandes edifícios e adensamento populacional.

2. A vegetação nos ambientes costeiros é um indicador de estabilidade em áreas adjacentes a praia, pois funciona como retentora de sedimentos. Além disso, quando arbórea com copas altas e bem desenvolvidas, indica estabilidade de uma área com pedogênese avançada, em quanto que a vegetação com raízes expostas e árvores inclinadas sugerem processo de erosão em curso (Souza e Luna, 2008).

3. Um dos processos causadores da erosão costeira por interferência antrópica é a **vegetação agrícola**, pois, a perda de vegetação natural, como manguezais, restinga e Mata Atlântica, causam modificações na retenção dos sedimentos arenosos (Pires, Craveiro e Antunes, 2012).

4.Viveiros: De acordo com Moraes et al. (2008) a morfodinâmica costeira nas regiões de desembocaduras dos rios está subordinada aos regimes de vazão fluvial. Mudanças de fluxo relacionadas a atividades consumidoras de água, a exemplo da carcinicultura e piscicultura, além da irrigação, podem alterar o fluxo de sedimentos a ponto de interferir na dinâmica praial.

5. Praia: Este é o indicador mais importante para compreensão dos processos dinâmicos da linha de costa. A morfologia costeira é o fator resultante de processos hidrodinâmicos, geológicos e climatológicos, podendo ocorrer em escalas espaciais e temporais, na ordem de metros a quilômetros e segundos a séculos. (Menezes, 2008).

6. Recifes (Algálico/Coralíneo/Arenito) Manso et al. (2012) afirma que uma importante feição condicionante para o processo de erosão costeira é a presença ou ausência de Recifes,

sejam eles Algálicos, Coralíneos ou Arenosos, as quais podem estar associadas na formação de feições geomorfológicas características, como tômbolos ou baías.

9. Bancos de Areia são depósitos sedimentares frequentemente encontrados em mares e lagos. Também são descritos como elevações de fundos submarinos, tipicamente encontrados em plataformas continentais ou nas proximidades de uma Ilha (Suguiu, 2003). O acúmulo de sedimentos na foz de estuários e deltas está constantemente sendo retrabalhados na forma de bancos arenosos. No entanto, algumas destas feições aumentam a medida que o trabalho de erosão é contínuo, devido a correntes que impedem a deposição de material sedimentar ao longo da face de praia (Besnard, 1950).

11. Segundo Melby e Kobayashi (2011) **estruturas rígidas**, tais como muros de contenção e enrocamentos, estão associadas a perda de sedimentos na face de praia, tendo como objetivo amenizar o impacto das ondas de alta energia alterando a dinâmica sedimentar local fixando a linha de costa.

12. As construções de **áreas portuárias** alteram a hidrodinâmica local, proporcionando abrigos a embarcações, trazendo consigo impactos ambientais positivos e negativos, principalmente nas áreas costeiras próximas tais como manguezais e estuários, podendo acarretar um acúmulo de sedimentos ou ações erosivas ao longo da costa (Magini et al., 2011).

3.3.4 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE

Segundo Bush et al. (1999) Sousa et al. (2011) os subambientes costeiros são resultantes dos processos físicos e antrópicos integrados, através de agentes patogênicos que estão em constantes alterações. Devido a isso, o índice de vulnerabilidade avaliará cada geoindicador de maneira individual conforme previamente descrito, de acordo com sua presença atuando como agente protetor ou agente erosivo.

O presente índice é um resumo dos indicadores (tabela 3.3), dada pela avaliação a vulnerabilidade sendo os valores numéricos encontrados entre 0 a 1,9 considerado como muito baixa, de 2 a 3,9 baixa, 4 a 5,9 média, 6 a 7,9 alta e de 8 a 10 muito alta. Sendo assim, a análise proposta foi realizada em três setores (Norte, Núcleo Metropolitano e Sul) pré-determinados através dos indicadores específicos de cada setor.

Tabela 3. 3 Geoindicadores utilizados para avaliação da vulnerabilidade a erosão costeira

Índice	Variáveis	Indicadores	Pesos	V. Baixa	V. Mod. Baixa	V. Moderada	V. Mod. Alta	V. Alta	
Antrópico		Baixa Urbanização	1	Ausência	0,1- 2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%	
		Urbanização Moderada	2	Ausência	0,1- 2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%	
		Urbanização Intensa	3	Ausência	0,1- 2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%	
		Vegetação Agrícola	1	Ausência	0,1- 2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%	
		Viveiros	1	Ausência	0,1- 2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%	
		Áreas Portuárias	3	Ausência	0,1- 2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%	
		Vegetação Arbustiva	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%	
		Vegetação Arbórea	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%	
		Estruturas Rígidas	1	Ausência	0,1- 2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%	
		Bancos de Areia	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%	
Ambiental		Praia	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%	
		Recifes (Algálicos/Coralíneos/Arenito)	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%	
Valoração					0	2.5	5	7.5	10

Considerando os valores em m^2 transformados em valores percentuais de cada geoindicador atribui-se um valor numérico baseado nas amostras para cada variável e no potencial à vulnerabilidade: 0 = muito baixa; 2,5 = baixa; 5 = média; 7,5 = alta; e 10 = muito alta. Os mesmos são organizados em planilhas que alimentam a base de dados para o modelo numérico observados através da seguinte equação:

$$I = \left(\frac{1}{n_v}\right) \cdot \sum_v \cdot \left(\frac{1}{n_i}\right) \cdot \sum_i x_i \quad eq. 3.1$$

Os resultados obtidos através do banco de dados acerca da vulnerabilidade costeira são aplicados na equação 3 que resulta no índice (I), de acordo com os 10 parâmetros de entrada do modelo.

Onde n_v é o número de variáveis, n_i o número de indicadores de uma determinada variável e x_i é a soma dos indicadores. Somando as variáveis e realizando a média aritmética dos indicadores, obtendo-se o valor do índice proposto.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o processamento de vetorização das imagens de satélite de alta resolução foram verificados dados que contribuíram para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira ao longo de toda a costa do estado de pernambuco.

O município de Goiana apresentou o índice de vulnerabilidade à erosão costeira classificado em 5,2; Ilha de Itamaracá com 4,7; Igarassu 4,4, apresentando média vulnerabilidade enquanto o município de Paulista obteve valor de 6,4 entendido com vulnerabilidade alta.

Para o núcleo metropolitano cidades de Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes apresentaram respectivamente 6,6, 6,9 e 6,9 (alta vulnerabilidade), necessitando atividades de gestão que objetivem a redução de interferência antrópica nestes ambientes.

O índice da vulnerabilidade a erosão costeira para os municípios do litoral sul do estado de Pernambuco foram: Cabo de Santo Agostinho = 4; Ipojuca = 5,4; Sirinhaém = 5,4; Tamandaré = 5,6; Barreiros = 4,7; e São José da Coroa Grande 4,6. De maneira que a



Figura 3. 3 Análise da Vulnerabilidade à erosão Costeira no Estado de Pernambuco. Sistemas de Coordenadas Geográficas. Datum: Sirgas 2000. Base de Dados IBGE. Fonte: O Autor.

Tabela 3. 4 Valores dos geoindicadores avaliados em m²

Municípios	Praia	B. Urb.	I. Urb.	M.Urb.	V. Agrícola	V. Arbustiva	Recifes	Banco de Areia	Viveiros	E. Rígidas	Portos	V. Árborea	Total
Goiana	3971.88	558779.5	0	8454.49	247460.83	0	0	0	10114.64	0	0	211775.47	1040556.79
Ilha de Itamaracá	10907.97	23252.3	69562.14	20590.01	8794.72	38889.5	3020.53	6296.63	8737.12	0	0	261582.71	451633.63
Igarassu	733.39	2695.28	0	1077.8	9994.97	21.83	118.06	221.67	0	0	0	115879.89	130742.89
Paulista	6048.72	0	2000025.7	117.24	1043.07	15458.15	10396.39	0	0	7162.71	0	1130017.8	3170269.78
Olinda	2410.22	2099.9	227073.69	2368.01	331.24	12186.85	0	59.44	0	1902.86	0	9663.01	258095.22
Recife	13426.27	16.6	499167.42			3792.69	4345.14		5402.48	647.17	981.89	217145.94	744925.6
Joaboatão dos Guararapes	13969.3	0	350248.52	98759.15	10695.52	18940.22	14829.46	0	0	104.35	0	4591.57	512138.09
Cabo de Santo Agostinho	14082.03	0	0	75065.36	28858.02		9336.56	0	0	0	0	248873.39	376215.36
Ipojuca	183441.3	49477.74	0	7522.94	507640.35	807.29	21773.43	5162.83	0	880.38	52261.8	422611.98	1251580.03
Sirinhaém	4147.95	12075.66	0	10439.17	259367.96	895.23	11947.83	0	2777.03	0	0	10607.67	312258.5
Tamandaré	5110.93	676.43	0	43427.29	432225.07	822.43	1976.04	0	0	0	0	17143.02	501381.21
Barreiros	6457.23	0	0	245.41	157588.82	644.01	6970.81	4417.81	0	0	0	37168.59	213492.68
São José da Coroa Grande	2799.72	4292.05	0	29747.83	174074.14	0	19565.29	0	1963.6	0	0	60788.2	293230.83

Tabela 3. 5 Valores percentuais dos geoindicadores

Municípios	Praia	B. Urb.	I. Urb.	M.Urb.	V. Agrícola	V. Arbustiva	Recifes	Bancos de Areia	Viveiros	E. Rígidas	Portos	V. Árborea
Goiana	0,4%	53,7%	-	0,8%	23,8%	-	-	-	0,9%	-	-	20,4%
Ilha de Itamaracá	2,4%	5,2%	15,4%	4,6%	1,9%	8,5%	0,9%	1,3%	1,9%	-	-	57,9%
Igarassu	0,7%	2,1%	-	0,8%	7,6%	-	0,1%	0,2%	-	-	-	88,5%
Paulista	0,2%	-	63,2%	-	-	0,5%	0,3%	-	-	0,2%	-	35,6%
Olinda	0,9%	0,8%	87,9%	0,9%	0,2%	4,8%	-	-	-	0,8%	-	3,7%
Recife	1,8%	-	67,0%	-	-	0,4%	0,6%	-	0,8%	0,1%	0,1%	29,2%
Joaboatão dos Guararapes	2,7%	-	68,3%	19,3%	2,0%	3,7%	2,9%	-	-	0,1%	-	1,0%
Cabo de Santo Agostinho	5,5%	-	-	19,9%	7,9%	-	2,3%	-	-	-	-	64,4%
Ipojuca	14,7%	3,9%	-	0,6%	40,6%	0,1%	1,7%	0,41%	-	0,1%	4,2%	33,7%
Sirinhaém	1,3%	3,9%	-	3,4%	83,1%	0,2%	3,8%	-	0,9%	-	-	3,4%
Tamandaré	1,0%	0,1%	-	8,7%	86,2%	0,2%	0,4%	-	-	-	-	3,4%
Barreiros	3,0%	2,1%	-	0,1%	73,0%	0,3%	3,3%	2,1%	0	-	-	16,1%
São José da Coroa Grande	1,0%	1,5%	-	10,1%	59,1%	-	6,9%	-	0,7%	-	-	20,7%

Tabela 3. 6 Valoração dos geoindicadores atribuído aos pesos para o índice de vulnerabilidade

Municípios	Praia	B. Urb.	M.Urb	I. Urb	V. Agrícola	V. Arbustiva	Recifes	Banco de Areia	Viveiros	E. Rígidas	Portos	V. Árborea	Índice
Goiana	10	7,5	2,5	0	7,5	10	10	10	0	0	0	2,5	5,2
Ilha de Itamaracá	7,5	5	5	5	2,5	5	10	7,5	2,5	0	0	2,5	4,7
Igarassu	10	5	2,5	0	2,5	10	10	10	0	0	0	0	4,4
Paulista	10	2,5	0	10	0	10	10	10	0	2,5	0	2,5	6,4
Olinda	10	0	2,5	10	2,5	5	10	10	0	2,5	0	5	6,6
Recife Joaboatão dos	7,5	0	0	10	0	10	10	10	2,5	2,5	2,5	2,5	6,9
Guararapes Cabo de Santo	7,5	0	5	10	2,5	5	5	10	0	2,5	0	7,5	6,9
Agostinho	7,5	0	5	0	2,5	10	7,5	10	0	0	0	0	4
Ipojuca	5	5	2,5	0	7,5	10	7,5	10	0	2,5	5	2,5	5,4
Sirinhaém	7,5	5	5	0	10	10	5	10	0	0	0	7,5	5,4
Tamandaré	7,5	2,5	5	2,5	10	10	10	10	0	0	0	7,5	5,6
Barreiros São José da Coroa	7,5	2,5	2,5	0	10	10	5	7,5	0	0	0	5	4,7
Grande	7,5	2,5	0	5	7,5	10	5	10	0	0	0	2,5	4,6

caracterização da vulnerabilidade a erosão costeira para os municípios do litoral sul foram classificados com média vulnerabilidade.

Maiores detalhes sobre a classificação são possíveis observar a partir das tabelas 3.4, 3.5 e 3.6. Bem como o mapa de vulnerabilidade obtido a partir dos indicadores ambientais e antrópicos (figura 3.3).

Os dados descritos no próximo item são de característica regionalizada, como o objetivo proposto ao trabalho.

3.4.1 LITORAL NORTE

A análise realizada no litoral norte do estado de Pernambuco corresponde aos municípios de Goiana, Ilha de Itamaracá, Igarassu e Paulista. De acordo com os dados avaliados a partir das feições geradas em ambientes de Sistema de Informação Geográfica, foi constatado que 53,7% do município de Goiana, 5,2% do município da Ilha de Itamaracá e 2,1% do município de Igarassu representam baixa urbanização.

Em relação a urbanização moderada os valores percentuais correspondem a 0,8%, 4,6% e 0,8% dos municípios de Goiana, Ilha de Itamaracá e Igarassu respectivamente. Enquanto o município de Paulista se destacou de urbanização intensa com valores de 63,2%. Esta avaliação considera a interferência antrópica em relação a substituição dos ambientes naturais por áreas de residência, condomínios e grandes prédios.

Um outro destaque em relação a interferência antrópica neste setor é a Ilha de Itamaracá, que conta com uma intensa urbanização em áreas próximas a linha de costa, apresentando 327 hab/km². Este município tem sido alvo de especulações imobiliárias, a respeito ao uso de ocupação do solo para atividades de veraneio.

Estas áreas, além de comprometer a vegetação local também podem alterar o fluxo hidrodinâmico para áreas adjacentes, bem como a dinâmica sedimentar, comprometendo a o aporte sedimentar de bancos de areia e do ambiente praial (Moraes et al., 2008).

Um grave problema enfrentado neste setor são as áreas de cultivo de cana de açúcar e outras culturas agrícolas, chegando aos limites da linha de costa. Como possível ver na figura 4, especificamente no município de Goiana a retirada de vegetação natural, como Manguezais, Restinga e Mata Atlântica do ambiente costeiro são fatores responsáveis pelas mudanças morfológicas como retrações na linha de costa (França e Souza Filho, 2003).

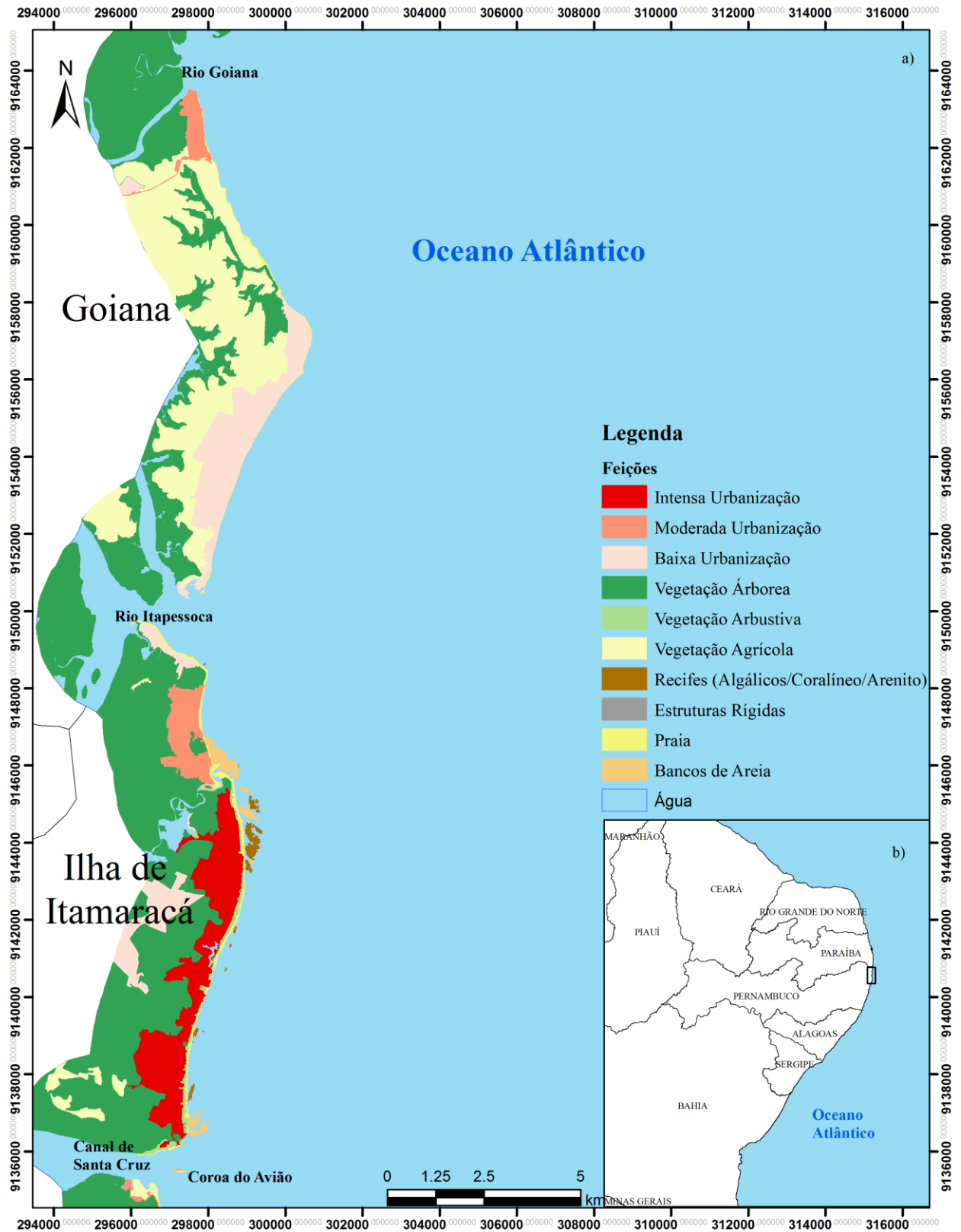


Figura 3. 4 Mapa dos Geoindicadores dos Municípios de Goiana e Ilha de Itamaracá. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.

Apesar destes fatores, o litoral Norte conta com algumas unidades de conservação. De acordo com a CPRH (2010), estas unidades são: APA de Santa Cruz, RPPN Fazenda Tabatinga, APA Estuarina do Rio Goiana e Megaó, APA Estuarina do Rio Itapessoca, APA Estuarina do Rio Jaguaribe, Refúgio de Vida Silvestre da Mata de Santa Cruz, Refúgio de Vida Silvestre da Mata do Engenho São João, Refúgio de Vida Silvestre da Mata de Jaguaribe, Refúgio de Vida Silvestre Mata Engenho Macaxeira, Refúgio de Vida Silvestre Mata Lanço dos Cações.

As unidades de conservação, bem como outras áreas vegetadas do litoral norte do estado de Pernambuco são responsáveis por 56,5% de vegetação densa encontrada, com destaque para o município de Igarassu com 88,5% dos municípios analisados. Outras formas de vegetação encontradas na região apresentaram 2,9% de vegetação arbustiva, 24,3% de Vegetação Agrícola sendo estes destacados no município de Goiana por 23,8%.

A retirada de vegetação natural para o manejo de viveiros é algo presente bastante comum ao longo dos municípios do litoral norte do estado de Pernambuco, devido ao processo de manejo e uso do solo. Neste setor foram identificadas áreas com viveiros nas porções setentrionais dos municípios de Goiana com 0,9% e da Ilha de Itamaracá com 1,9%.

A perda de faixa de praia acarretou a necessidade de fontes alternativas de proteção costeira, como a utilização de estruturas rígidas no município de Paulista, que neste caso representou 0,2% da do município analisado. A utilização destas estruturas, surge com o objetivo de fixar a linha de costa afim de reduzir danos nas áreas urbanizadas próximas. As estruturas rígidas também são utilizadas na tentativa de minimização de impactos de ondas de alta energia (Melby e Kobayashi 2011).

A orla do município de Paulista é alvo problemas devido a ocupação desordenada na região de pós-praia. Oliveira et al. (2012) destacaram que após as obras de aterro hidráulico para a recuperação da faixa de praia, foram iniciados projetos para a urbanização da orla, onde ocasionalmente ocorreram pontos de colapso em estruturas. Nas intervenções realizadas destaca-se uma ausência de harmonia entre as condições de dinâmica sedimentar local e as áreas destinadas para infraestruturas urbanas.

No município de Paulista as estruturas rígidas contam com mais de 3 km de extensão, como observa-se na figura 5. Estas obras foram realizadas na tentativa de trazer melhorias

aos usuários da praia do Janga. Entretanto os resultados não foram condizentes com as expectativas (Oliveira et al., 2012).

Alguns ambientes do litoral norte do estado de Pernambuco se destacam pela presença de recifes, totalizando 0,53% da área total. Segundo Dominguez et al. (1990), estes são classificados como Recifes de Corais e Algas Coralíneas.

A presença dos Recifes de Corais e Algas Coralíneas são encontrados nas porções centrais e norte dos municípios de Itamaracá (figura 4) e Paulista (figura 5) distribuídos em linhas paralelas à costa, em alguns casos com mais de 1 km de extensão. No município de Igarassu também é encontrada a presença destes recifes, mas de maneira reduzida, se comparado as demais áreas do Litoral Norte.

Os recifes observados na porção norte do município de Paulista estão associados diretamente a com a proteção de sedimentos arenosos nas praias Nossa Senhora do Ó e Maria Farinha, onde a orla demonstra claro acúmulo ao longo da linha de costa (Manso et al, 2012) (Martins, 2015).

Observa-se na figura 4, a existência de áreas de bancos de areia no município de Ilha de Itamaracá, tanto próximos a desembocadura dos rios como na plataforma interna. Na porção Nordeste da Ilha de Itamaracá é possível observar a migração de bancos de areia em direção a faixa de praia, onde para o trecho analisado os bancos de areia perfazem uma área de 1,3%.

As praias ocupam uma estreita faixa em alguns pontos dos municípios de Goiana (0,4%), Igarassu (0,7%) e Paulista (0,2%), podendo verificar ambientes com baixos percentuais de áreas de praia, não sendo possível visualizar a faixa nas escalas projetadas para ambos os mapas do litoral norte (figuras 3.4 e 3.5). Os maiores valores foram encontrados no município da Ilha de Itamaracá, com 2,4% de área de praia.

Classificando o índice de vulnerabilidade à erosão costeira através dos geoindicadores como descrito por Bush (1999), os resultados foram gerados por município, visando avaliar a vulnerabilidade em escala regional.

Tais índices refletiram bem a presença antrópica local, e sua influência nos elevados índices de vulnerabilidade à erosão costeira, tendo como destaque o município de Paulista, que já não possui pós-praia, cedendo lugar a estruturas rígidas.

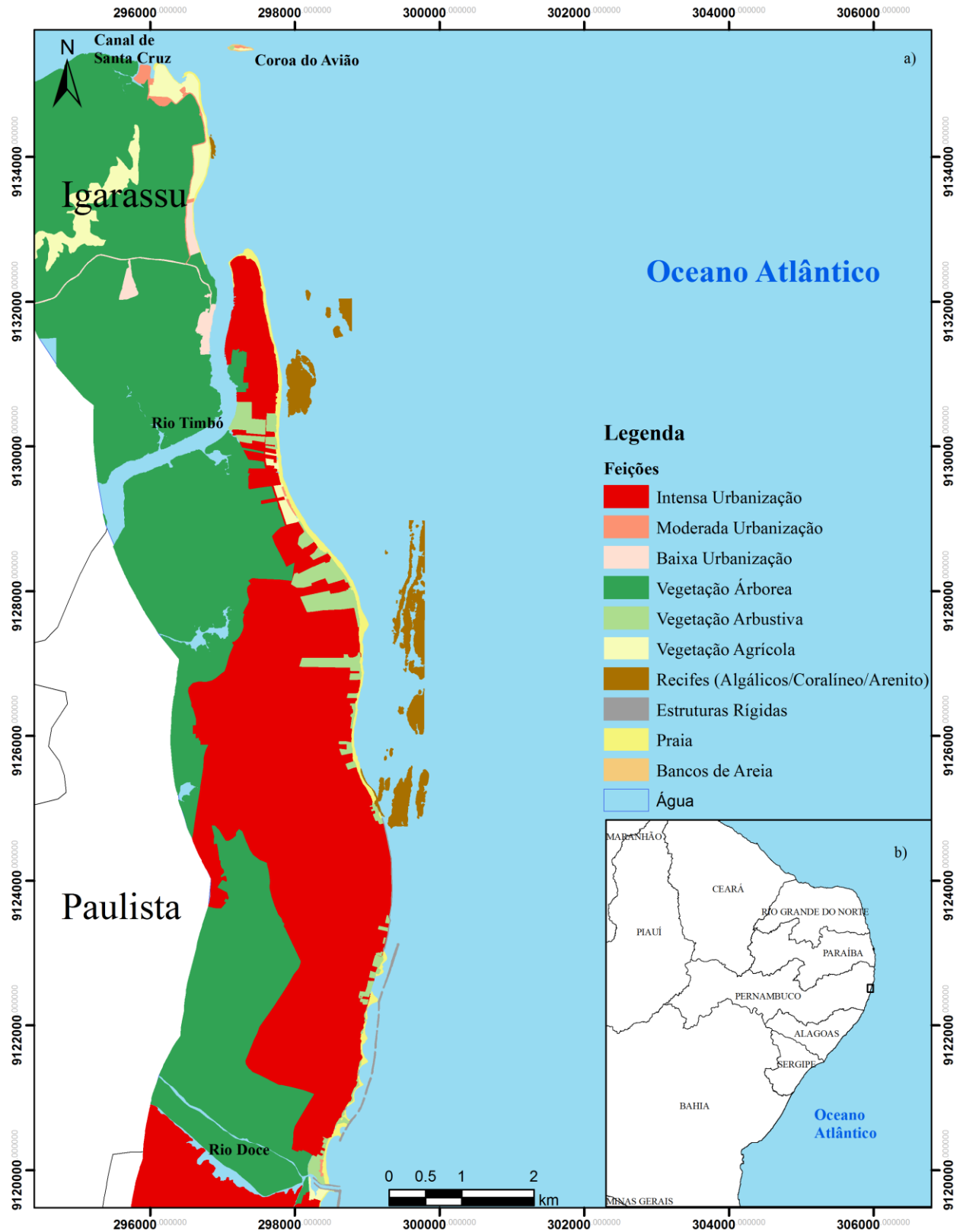


Figura 3. 5 Mapa dos Geoindicadores do municípios de Paulista e Igarassu. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.

3.4.2 NÚCLEO METROPOLITANO

O núcleo metropolitano do litoral pernambucano é constituído por três municípios costeiros (Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes). Esta região apresenta o maior contingente populacional, que de acordo com o IBGE (2010) totalizam 2.560.103 de habitantes em uma área de 518 km².

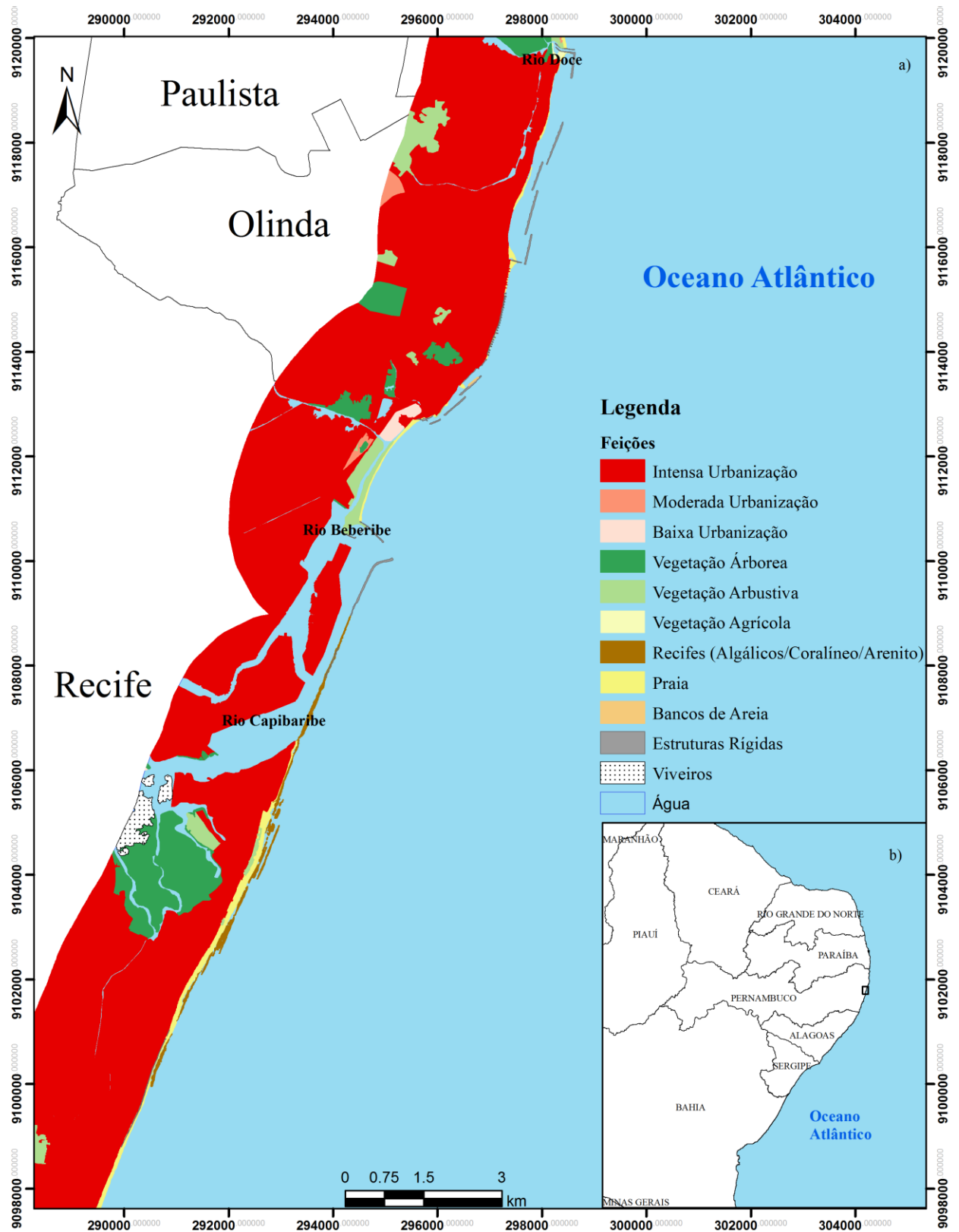
Ao longo deste setor são observados ambientes de intensa urbanização com valores percentuais elevados, sendo 87,9% de intensa urbanização para o município de Olinda, 67,0% para Recife e 68,3% para Jaboatão dos Guararapes. Este aspecto se relaciona com a instabilidade urbanística nestas regiões e consequentemente os constantes problemas decorrentes da urbanização desordenada sobre pós-praia, onde passaram a impedir a troca de sedimentos com os depósitos costeiros ali situados como destacado por Araújo et al. (2007); Costa et al. (2008); Malmman et al. 2010; e Malman et al. (2014).

Diferentemente do litoral norte, o núcleo metropolitano não demonstra presença de bancos de areia, pois estes não apresentam valores percentuais a serem considerados. Este fato se dá pelo baixo aporte de sedimentos nesta região que apresenta 4 estuários, sendo estes os estuários dos Rios Doce, Beberibe, Capibaribe e Jaboatão.

Um dos fatores que potencializa a erosão nesta região, além da intensa urbanização é a pouca contribuição dos rios no aporte sedimentar. Consequentemente, houveram reduções das áreas praias para os municípios avaliados que corresponderam a 0,9%, 1,8% e 2,7% para Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes respectivamente, observados nos mapas a seguir (figuras 3.6 e 3.7), onde nem todas as áreas das cidades de Recife e Olinda apresentam praias áreas de praia.

O histórico de erosões no núcleo metropolitano, promoveram a necessidade de ações dos governos locais para fins de proteção costeira. Um exemplo deste caso é o município de Jaboatão dos Guararapes que atualmente apresenta uma faixa de areia consideravelmente robusta, isto se deve a interferência da prefeitura local, que resultou no engordamento ocorrido no ano de 2013 para as praias de Piedade, Candeia e Barra de Jangada, que antes eram caracterizadas por forte erosão costeira e ausência de faixa de praia.

No ano de 2013 a cidade de Jaboatão dos Guararapes passou por uma obra de engorda em todas as praias locais, onde sedimentos eram dragados de uma jazida a 14 km do município e transportados até as praias locais reconstituindo 5,8 km de costa.



A engorda de praia é uma opção de recuperação nas orlas litorâneas, para isso, é necessário que os sedimentos transpostos apresentem características semelhantes aos sedimentos nativos, como aponta Medeiros et al. (2014). Dean (2002) afirma que o material a ser utilizado também deve ser livre de contaminantes e o mínimo de material na fração granulométrica correspondente a argila e silte, evitando assim perdas posteriores de sedimentos.

O município com cenário de erosão costeira mais crítico é Olinda, que possui 10,5 km de extensão, constituídos pelas praias de Del Chifre, Milagres, Carmo, São Francisco, Farol, Bairro Novo, Casa Caiada e Rio Doce (Costa, Pontes e Araújo, 2008). Boa parte da orla deste município apresenta estruturas rígidas que foram implementadas na tentativa de minimizar os impactos costeiros. Estas estruturas contabilizam 0,8% da área estudada, onde ao longo da costa é possível encontrar muros de contenção, molhes e espigões.

Conforme a descrição realizada por Martins (2015) praticamente toda a orla de Olinda não possui pós-praia mesmo na maré baixa além da fixação de estruturas rígidas de engenharia costeira, contabilizando um total de 38 espigões curtos.

Os primeiros registros de erosão costeira no Estado de Pernambuco foram evidenciados por Ferraz (1914), interligados a construção e ampliação do Porto do Recife, modificando as correntes litorâneas que atingem o município de Olinda, provocando alterações na dinâmica do transporte de sedimentos na região.

Além deste fator, o aterro de manguezais no Rio Beberibe, para a construção de edificações ao longo da década de 1960, também foi um fator inerente no aporte sedimentar da região (Manso, 2012). Caso semelhante os cenários de urbanização na cidade do Recife também foram responsáveis pelo aterro de áreas de manguezal no Rio Capibaribe.

As áreas de viveiros ocupam 0,8% e estão encontradas no estuário do Rio Capibaribe, na cidade de Recife, área vizinha ao parque dos manguezais, uma unidade de conservação que destaca-se pela vegetação arbórea de 29,2%.

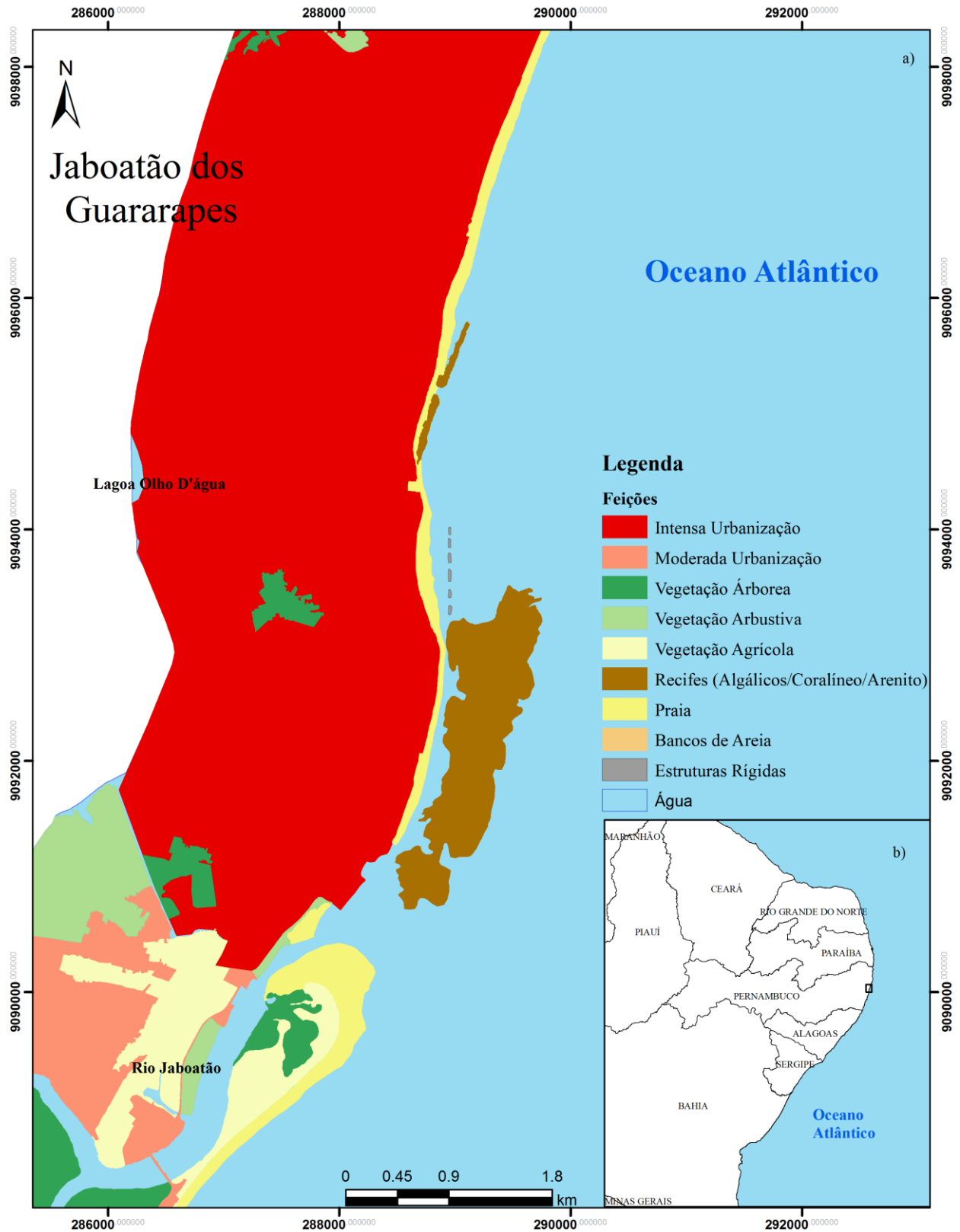


Figura 3. 7 Mapa dos Geoindicadores do Município de Jaboatão dos Guararapes. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.

Em contrapartida 2,9% do município de Jaboatão dos Guararapes são quantificados como Recifes de Corais e Algas Coralinas, sobretudo na região de Candeias e nas praias de Piedade. Na cidade do Recife estas feições são descritas na praia de Boa Viagem apresentando valores percentuais de 0,6%.

De acordo com Souza (2004) e Araújo (2008), os recifes ao longo das praias do Pina, Boa Viagem e Piedade ficam expostos durante a maré baixa resultando um conjunto de paisagens naturais, servindo como forte atrativo turístico, além de serem importantes agentes de proteção das praias locais em relação as ondas de alta energia.

Um outro fator a se levar em consideração é a presença de vegetação arbustiva que no município de Jaboatão dos Guararapes são encontrados 3,7% de área analisada, enquanto na cidade do Recife e Olinda são descritos por 0,4% e 4,8% de maneira respectiva, com pequenas propensões nas proximidades da orla (figuras 3.6 e 3.7). Este tipo de vegetação é encontrada nas praias do Pina, Boa Viagem (Recife) e Del Chifre (Olinda). Pires, Craveiro e Antunes (2012) afirmam que esta vegetação é responsável pela fixação de sedimentos nas áreas próximas a praia.

Um exemplo da referência supracitada é praia de Del Chifre. Como afirma Martins (2015) em Olinda esta é a única praia preservada na região, sendo uma estreita barreira entre o mar e o Rio Beberibe, entretanto, nesta área são encontradas algumas comunidades que caracterizam uma baixa ocupação no uso solo, além de uma faixa de vegetação rasteira (figura 3.6).

Diferente deste cenário as raízes expostas dos coqueiros evidenciam a presença de intensas atividades erosivas locais, no entanto vegetação de agrícola foi observada com valores de 0,2% para Olinda e 2,0% para o município de Jaboatão dos Guararapes.

A vulnerabilidade para este setor foi classificada como sendo Alto Grau de vulnerabilidade à erosão costeira nas três cidades do núcleo metropolitano, visto a presença inerente de ocupação antrópica em altos níveis de urbanização, incluindo áreas de pós-praia.

3.4.3 LITORAL SUL

O litoral sul do Estado de Pernambuco é onde mais se caracteriza a presença de praias preservadas e poucos ambientes de feições erosiva. O fato em destaque para esta ocorrência é a urbanização que ocorre de maneira intensa em nenhum dos municípios avaliados enquanto

os valores destacados de urbanização estão em 19,9% para o litoral do Cabo de Santo Agostinho, 10,1% para São José da Coroa Grande e 8,7% para Tamandaré

Em virtude da baixa urbanização o município de Barreiros se destaca pelos baixos percentuais urbanos com 2,1% de baixa urbanização e 0,1% de moderada urbanização (figura 3.11). Diferentemente de outros municípios do litoral sul do estado de Pernambuco, o município de Barreiros ainda não conta com edificações nas áreas próximas ao ambiente costeiro, como prédios, grandes residências e rede de serviços.

Entretanto os municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca já se caracterizam pelo uso e ocupação do solo ao longo do litoral. A presença de hotéis luxuosos, pousadas e residências já é um fator em destaque devido a especulação imobiliária local, o que já caracteriza cenários erosivos nas áreas de ambos os municípios, como aponta Manso et al (2012).

Segundo a descrição de Martins (2015), o turismo nas áreas litorâneas do estado de Pernambuco apresenta grande potencial econômico, e que sem dúvida este fator representa uma ameaça significativa para o ambiente praial, bem como para o próprio aspecto financeiro, sendo necessário a implementação de programas de planejamento afim de obter um controle do uso dos recursos costeiros.

De acordo com o IBGE (2010), os municípios do litoral sul do Estado de Pernambuco demonstram baixas densidades demográficas ao longo dos territórios municipais, a exceção está para o município do Cabo de Santo Agostinho que possui 412,33 hab/km² destacado por ter a maior densidade demográfica fora do núcleo metropolitano, outra cidade que se destaca é o município de São José da Coroa Grande, pois sua densidade demográfica é de 262,19 hab/km².

Outras áreas de influência antrópica, mas de baixa e média vulnerabilidade são visualizadas nos municípios de Sirinhaém, Tamandaré, onde as feições urbanas ocorrem de maneira dispersas ao longo dos limites municipais e do ambiente costeiro, diferente do caso supracitado do município de São José da Coroa Grande que existe uma concentração populacional nas proximidades das áreas costeiras.

Além da urbanização, um outro aspecto de interferência antrópica supracitado como geoindicador e mapeado através das imagens de satélite de alta resolução, foi a presença do Porto de Suape, entre os municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, ocupando 4,2% da área total estudada.

O Porto do Suape foi construído em um complexo estuarino na desembocadura do Rio Ipojuca e atualmente possui uma área de 13.500 hectares. A partir de 2000 o Porto de Suape entrou em uma nova fase de desenvolvimento econômico local, trazendo consigo uma série de investimentos, ocasionando uma mudança local de áreas de características rurais para um ambiente industrial (Rabelo, 2015).

A ampliação do Complexo Industrial Portuário de Suape consolidou esta área como um dos principais pólos de desenvolvimento do Estado de Pernambuco e do Brasil, sendo ponto atrativo na atração e fixação de capital, provocando alterações nas relações ecossistêmicas e geográficas locais como a perda da vegetação nativa (Barros e Silveira 2010).

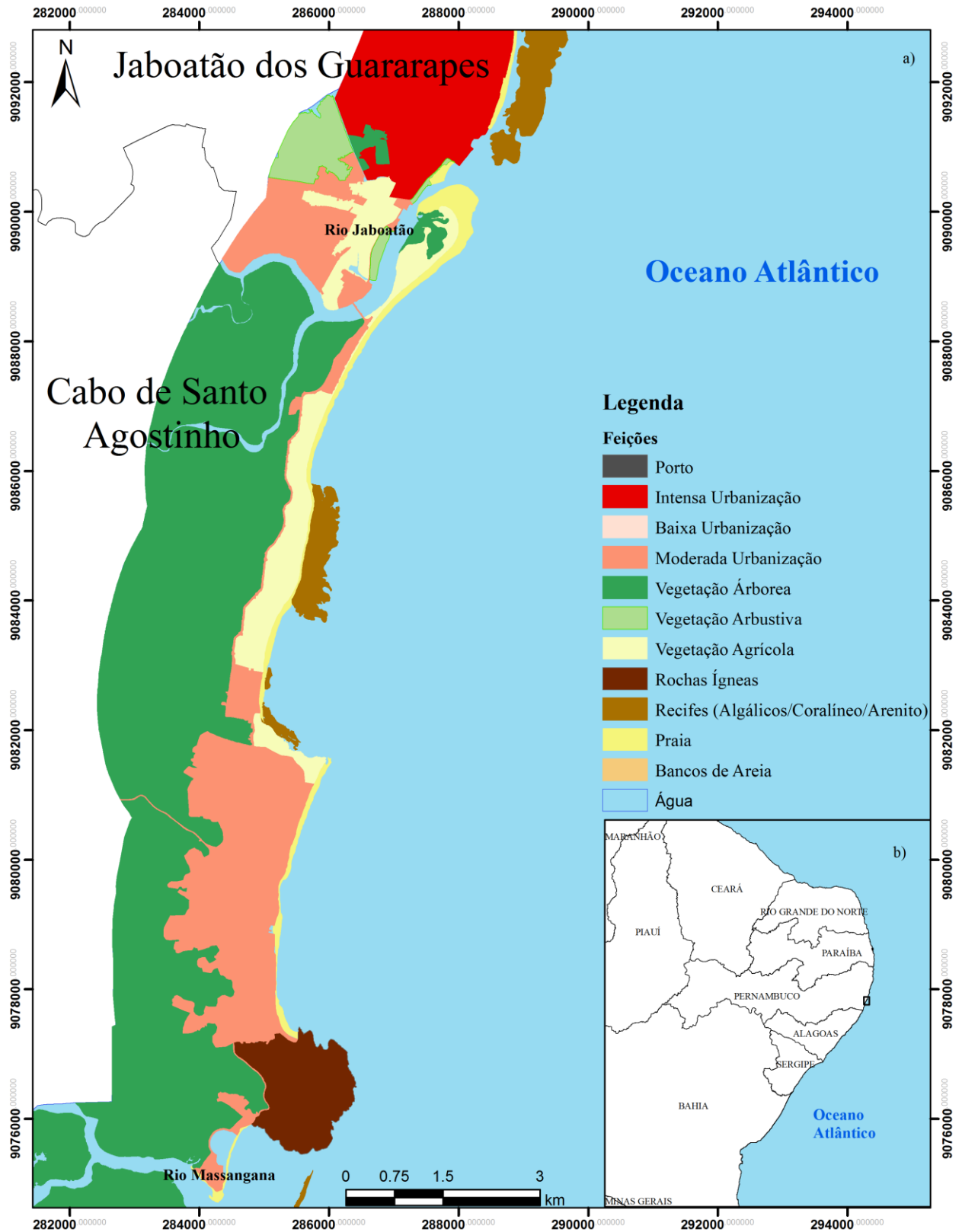


Figura 3. 8 Mapa dos Geoindicadores do Município de Cabo de Santo Agostinho. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.

O fator da vegetação na análise da vulnerabilidade à erosão costeira para o Litoral Sul pernambucano é identificado com áreas de vegetação agrícola entre 40,6% a 86,2% para os municípios de Ipojuca, Sirinhaém, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande, enquanto o Cabo de Santo Agostinho apresentou 7,9% de valor percentual agrícola.

Os cenários de ocupação agrícola para o litoral sul representa um fator histórico local, pois boa parte desta vegetação é caracterizada pela vegetação da Cana de Açúcar como consequência da retirada de vegetação de mata atlântica e de manguezais, evidenciados nos mapas gerados (figuras 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11).

Boa parte das áreas preservadas do Litoral Sul estão em áreas de Unidades de Conservação estaduais, como a APA de Guadalupe, APA Estuarina dos Rios Sirinhaém e Maracaípe, APA estuarina do Rio Formoso, APA Estuarina do Rio Carro Quebrado e APA Estuarina do Rio UNA, sendo responsáveis pela proteção dos ecossistemas de Mangue, Mata Atlântica e Restinga (CPRH, 2012). Os valores percentuais de vegetação arbórea estão entre 16,1% e 64,4% para os municípios de Barreiros e Cabo de Santo Agostinho, enquanto Barreiros e Tamandaré 3,4%.

Souza e Luna (2008) retratam que os processos erosivos costeiros são resultantes das constantes alterações provocadas em estuários ao longo de décadas, conversão das áreas de restingas, mata atlântica e manguezais em áreas agrícolas, construções residenciais, pousadas e estruturas de potencial uso turístico.

Batista et al. (2008) afirma que as áreas de mangue são fundamentais na dinâmica costeira, pois este ecossistema atua como estabilizador da costa devido a fixação de sedimentos através de suas raízes. Entretanto como consequência da retirada do mangue nas áreas de estuário, apresentam quadros de erosão marinha potencializados, pois este ecossistema contribui para a progradação geomorfológica fornecendo mecanismos adicionais na retenção de sedimentos.

Em diversos pontos do litoral do Estado de Pernambuco são encontrados manguezais, que atuam com regimes de maré, os depósitos destes ambientes compreendem materiais argilo-siltosos com muita matéria orgânica, com restos de madeira e conchas (Dominguez et al., 1990).

Estas áreas de vegetação preservadas estão muito próximas de ambientes agrícolas, não apenas no cultivo de culturas, mas também com a presença de viveiros, que contabilizam 0,9% para o município de Sirinhaém e 0,7% para o município de São José da Coroa Grande. Mesmo apresentando um percentual baixo, é possível observar estas áreas nos mapas (figuras

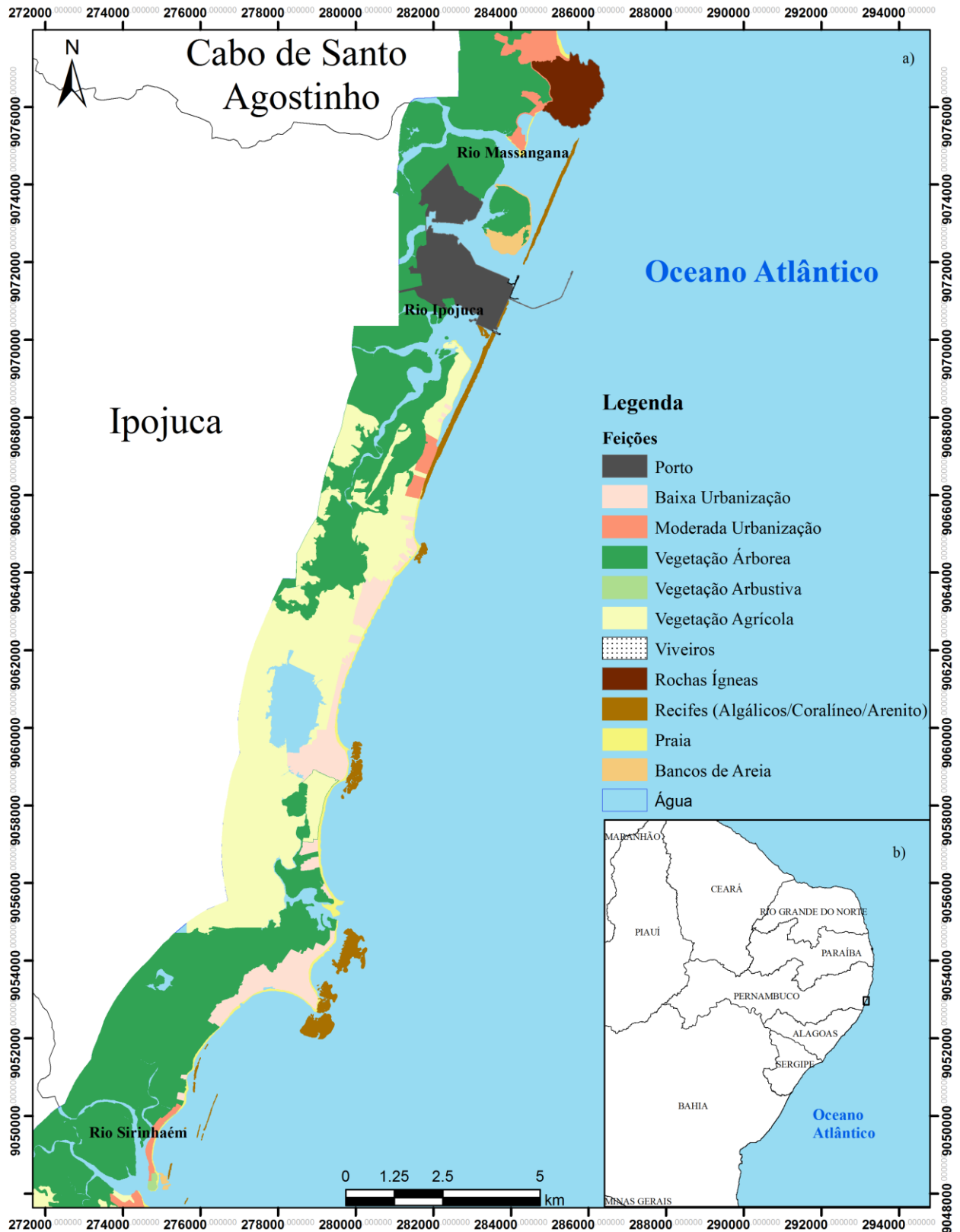


Figura 3. 9 Mapa dos Geoindicadores do Município de Ipojuca. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.

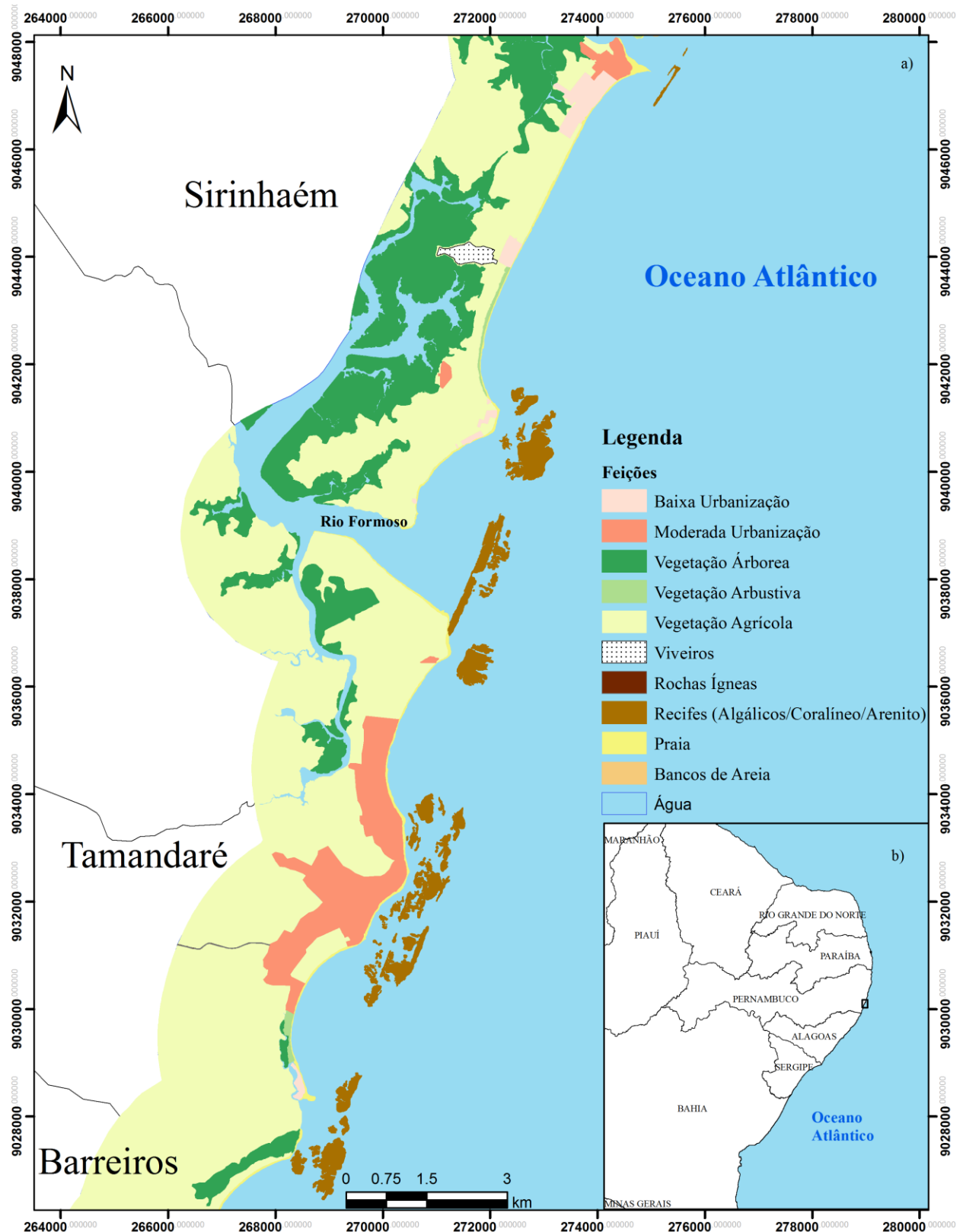


Figura 3. 10 Mapa dos Geoindicadores dos Municípios de Sirinhaém e Tamandaré. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.

3.10 e 3.11), que estas áreas são resultados de alterações dos ambientes locais e estão muito próximas a orla marítima dos municípios de Sirinhaém e São José da Coroa Grande.

Os principais problemas causados pelos viveiros estão relacionados com a remoção de manguezais e o lançamento de efluentes nos estuários. Estudos anteriores na área estuarina, descrevem mudanças significativas, através de elevadas cargas de sedimentos finos avançando cerca de 5 km na plataforma (Morais et al., 2005). Fato somado ao desenvolvimento local agrícola e implementação de atividades turísticas nas regiões.

Alterações na da dinâmica sedimentar local podem interferir diretamente no aspecto da morfodinâmica costeira, devido a diferenciação característica dos sedimentos depositados nas praias que sofrem a influência dos viveiros nestes municípios, causando no ambiente costeiro (Morais et al., 2008).

A área de praia foi calculada no sistema de informações geográficas entre 1,0% e 14,7% para o total analisado, sendo observada a presença de bancos de areia para 0,4% para o município de Ipojuca e 2,1% para o município de Barreiros. Outras áreas são descritas por Araújo et al. (2007) que verificam a presença de áreas com potencial sedimentação, como o Pontal do Paiva, no Cabo de Santo Agostinho e a praia de Várzea do Una em São José da Coroa Grande.

Áreas de acumulo sedimentar apresentam um forte potencial de preservação natural, tendo sua dinâmica ajustada as condições de uso e ocupação de solo, que são favoráveis a preservação dos ambientes praias (Malmman et al. 2010 e Malman et al. 2014), protegidos em algumas áreas pela presença dos recifes que contabilizam entre 0,4% e 6,9% dos cenários realizados nos ambientes de SIG.

Dominguez et al. (2010) classifica os recifes do litoral sul do Estado de Pernambuco como, recifes de corais e algas coralíneas, recifes de corais e algas coralíneas submersas e recifes praias com destaque para a presença de extensas faixas de praia, como é o caso do município de Ipojuca nas proximidades da desembocadura do Rio Ipojuca.

Além da presença de recifes que se encontram a faixa de areia praial, a presença de granito (2,4%) é identificada nas cidades do Cabo de Santo Agostinho e Barreiros, que constitui o embasamento cristalino do Pré-Cambriano Indiviso conforme a descrição realizada por Dominguez et al. (2010).

Martins (2015) e Araújo et al. (2007) descrevem de maneira semelhante a vulnerabilidade para este setor, divergindo nas praias de Enseadas dos Corais (Cabo de Santo Agostinho) e praia de São José da Coroa Grande estando no município com o mesmo nome.

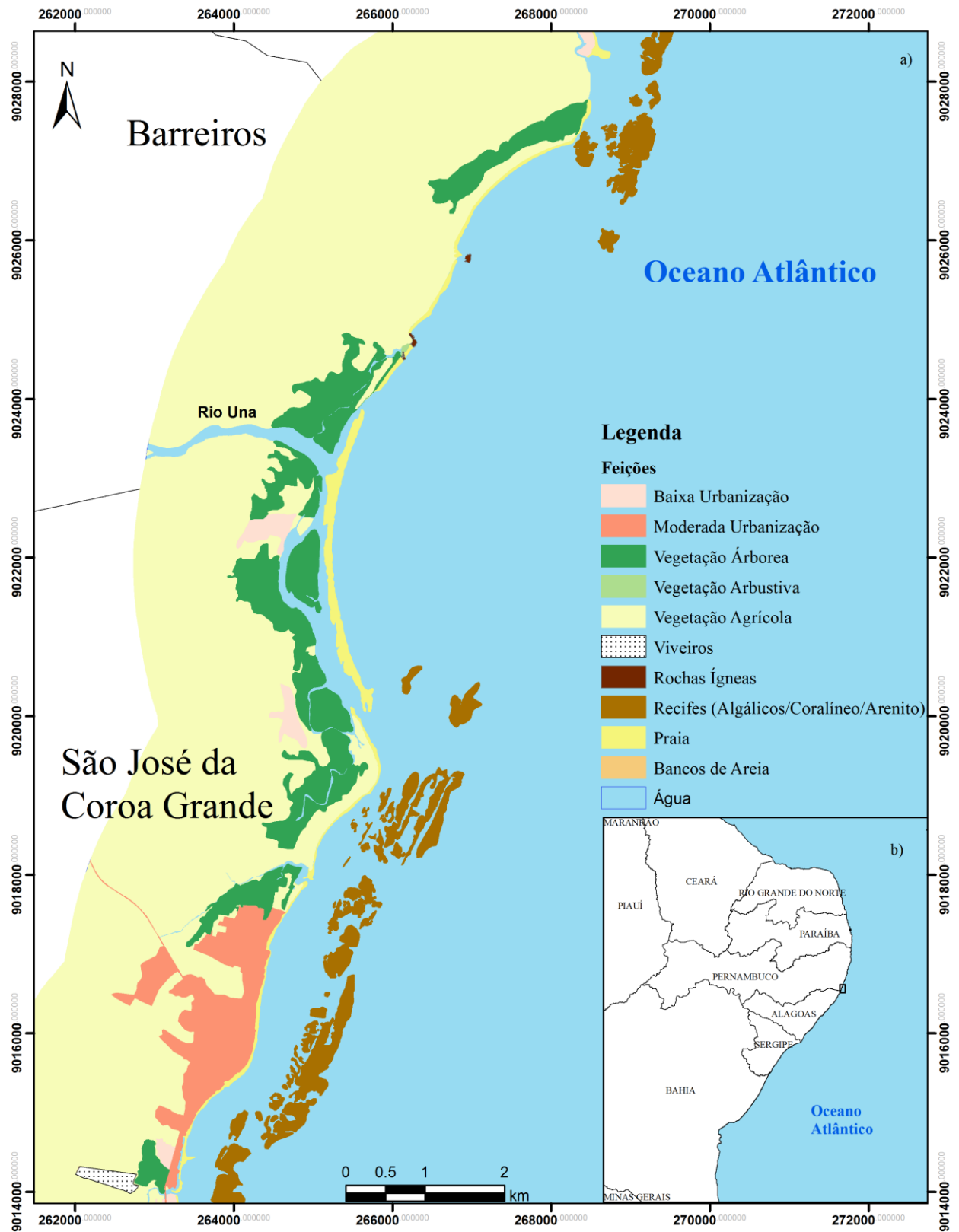


Figura 3. 11 Mapa dos Geoindicadores dos Municípios de Barreiros e São José da Coroa Grande . Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S. Fonte: O Autor.

Caracterizando os aspectos em referência aos pontos de erosão e vulnerabilidade a presença antrópica como fator potencial, como descrito ao longo do trabalho.

3.5 CONCLUSÕES

O presente estudo foi desenvolvido através de dados orbitais e técnicas de geoprocessamento e estatística, o que possibilitou a caracterização geral da vulnerabilidade à erosão costeira no estado de Pernambuco, analisando a influência dos geoindicadores nos litorais norte, núcleo metropolitano e sul.

Os principais resultados mostraram que a influência antrópica foi o principal fator condicionante na identificação e quantificação dos índices nos diferentes cenários. O núcleo metropolitano, apresenta elevada taxa de urbanização e adensamento populacional nas áreas costeiras, tendo sua maior intensidade no município de Olinda, onde verifica-se ausência de praia ao longo da orla, sendo estas áreas substituídas por estruturas de engenharia rígida.

Um grave problema histórico é a ocupação desordenada entre outros motivos. Nove cidades da Região Metropolitana do Recife são municípios costeiros, que ao longo do tempo vem aumentando sua população através da fixação de residências de pequeno porte, mas sobretudo em edifícios de grande porte.

Os resultados descritos neste trabalho destacam elevados índices vulnerabilidade à erosão costeira, pois a ocupação desordenada nas áreas do pós-praia e próximas a linha de costa como as áreas das praias de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, onde a costa foi intensamente urbanizada e atualmente sofre devido aos processos erosivos, não apresentando áreas preservadas ou protegidas sendo consideradas áreas preocupantes.

Em relação aos setores norte e sul foram verificados substituições da vegetação nativa (Manguezais, Mata Atlântica e Restinga) por vegetação agrícola e coqueiros. Este fato ocorre pelo histórico de uso e ocupação do solo nestas regiões. Atualmente o uso de solo para fins agrícolas é o maior problema do litoral sul do estado de Pernambuco.

Municípios como Sirinhaém, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande não apresentam influência urbanística, mas grandes áreas agrícolas que caracterizam a substituição da vegetação local, como supracitado. Entretanto, o litoral norte destaca o município da Ilha de Itamaracá por ter o menor valor no índice proposto, o que se deve pela presença da diversidade paisagística local, aumentando a quantidade de variáveis para a análise proposta.

Um aspecto de suma importância observada neste estudo, baseado em outros autores, é a correspondência da proteção de sedimentos costeiros através da presença de recifes algálicos, coralíneos e de arenito, sendo entendido como uma barreira natural, protegendo a costa das ondas de alta energia.

A metodologia utilizada neste trabalho se mostrou satisfatória de acordo com a escala utilizada para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira ao longo dos 187 km de praias. Os resultados de extração de objetos a partir da vetorização mostram-se promissores, no entanto este não é o único método proeminente capaz de avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira podendo-se aumentar a eficiência.

Este método pode ser uma eficiente ferramenta no auxílio a gestão costeira em escala regional, tendo em vista a otimização do tempo em relação a aquisição de dados que possam auxiliar a tomada de decisões na avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira, bem como a criação de materiais que possam ser disponibilizados a sociedade com o intuito de desenvolver a educação ambiental para as áreas costeiras. A utilização dos Sistemas de Informação Geográficas mostra-se útil e ágil na integração de informações espaciais para medidas operacionais e emergenciais.

A análise da vulnerabilidade à erosão costeira no estado de Pernambuco carece de mais avaliações, sobretudo em diferentes escalas temporais, na tentativa de tomada de melhores decisões e de conhecimento dos cenários que acarretam a potencialização da perda de áreas de praia sob diversos fatores.

Uma sugestão para trabalhos futuros é a classificação automática dos geoindicadores através do uso de imagens de alta resolução, analisando escalas locais, proporcionando maiores precisões nos dados analisados em setores.

CAPÍTULO 4

USO DE GEOINDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EROÇÃO COSTEIRA NA PRAIA DO FORTE ORANGE (ILHA DE ITAMARACÁ-PE).

4.1 INTRODUÇÃO

A erosão costeira é considerado um problema identificado em inúmeras costas urbanizadas e não urbanizadas ao redor do mundo. De acordo com Komar (1998) este processo ocorre quando o balanço sedimentar de um determinado ambiente se torna negativo ao longo do tempo. Em diversos cenários, este evento trata-se de um processo natural potencializado pela interferência de diversos fatores, onde a interferência antrópica é um dos elementos mais destacado em estudos relacionados a análise da vulnerabilidade a erosão costeira.

Os resultados dos processos erosivos são diversos, como exemplo a perda de patrimônios públicos e privado. Assim, este problema, em diversos casos, requer o auxílio político através da criação de medidas de intervenção e proteção costeira no intuito de minimizar os danos ocorridos (Dean, 2002).

A partir da necessidade da análise da vulnerabilidade à erosão costeira, diversos estudos têm sido realizados para a obtenção de dados que evidenciem os problemas nos espaços litorâneos afim de subsidiarem órgãos governamentais na gestão costeira trazendo consequentes melhoria nestas áreas.

Neste aspecto, diversas características socioeconômicas e naturais são qualificadas como influência potencial nos ambientes costeiros responsáveis pelas mudanças geomorfológicas. Tais mudanças fundamentam-se em um conjunto de transformações provocadas por uma série de processos naturais e antrópicos que atuam em diversas escalas temporais.

A estimativa da vulnerabilidade à erosão costeira ocorre a partir da interação de processos conjuntos, como eventos climáticos catastróficos, processos de maré, ações de ondas, ocupação indevida, deslocamento da linha de costa e retirada de vegetação nativa.

De acordo com Mazzer et al. (2008) a vulnerabilidade à erosão costeira é descrita como um arranjo de atribuições ou variáveis que identificam áreas com maior fragilidade,

fraqueza, passividade ou susceptibilidade em relação a incidência de um evento de potencial destrutivo, seja caracterizado como antrópico ou natural.

O uso dos geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira acarreta em si a possibilidade de conjecturar fatores que potencializam os cenários atuais da zona costeira, pois de maneira geral os geoindicadores estão relacionados ao uso e ocupação do solo, neste caso, em áreas próximas ao litoral.

Para a realização da identificação da vulnerabilidade à erosão costeira é necessário identificar e medir os elementos que contribuem para eventos de natureza antrópica e social, além de medidas mitigadoras de prevenção a danos que possam acarretar a perda áreas costeiras ou reduzam a capacidade de recuperação dos ambientes que ali se encontram (Bush, 1999).

O objetivo deste capítulo é avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira na praia do Forte Orange (Ilha de Itamaracá) através de métodos semi-automáticos com o uso de dados orientados à região, através dos geoindicadores. Também se objetiva realizar um estudo sobre os potenciais fatores de erosão costeira nesta região da Ilha de Itamaracá (Almeida e Manso, 2011.)

4.2. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido na praia do Forte Orange (Figura) , localizada no município da Ilha de Itamaracá no estado de Pernambuco, pertencendo a região metropolitana do Recife denominada também de litoral norte, a partir da classificação proposta pela SRHE(2002), sendo esta uma área de grande atrativo turístico, devido as belezas naturais apresentadas ao longo do ambiente praial.

4.2.1 Clima

Devido a sua localização geográfica, o clima característico para este ambiente se aplica como tropical, com temperaturas elevadas e umidade relativa do ar constante, caracterizando o clima do tipo As', com temperaturas acima de 18°C, com estações secas no

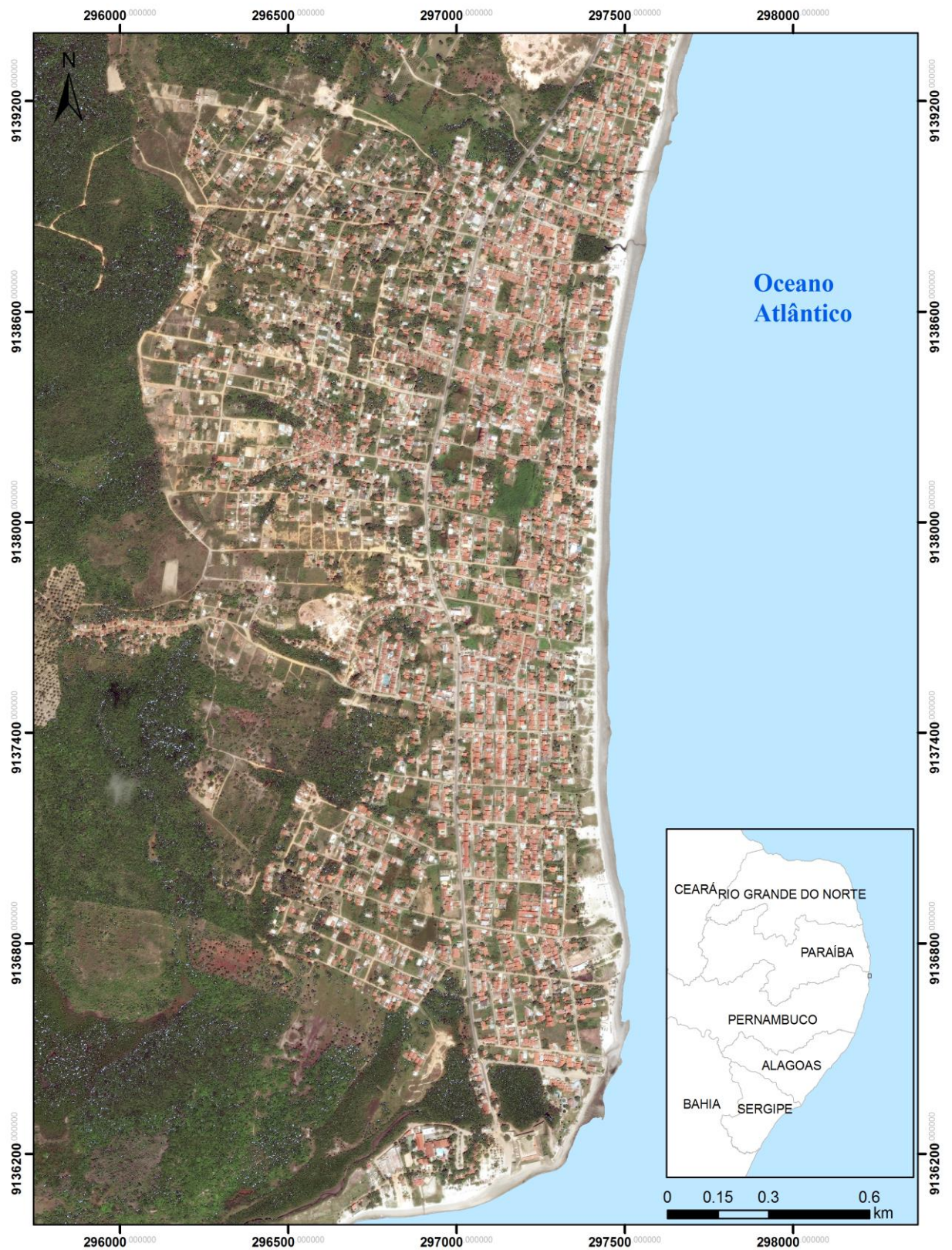


Figura 4. 1 Mapa de Localização da praia do Forte Orange – Ilha de Itamaracá Sistemas de Coordenadas UTM. Datum: Sirgas 2000. Fuso 25 S. Fonte: O Autor.

verão e chuvas constantes nos meses de março a agosto de acordo com a classificação de Koppen. De acordo com Lacerda (1994) o município da Ilha de Itamaracá é identificada pelos períodos de estiagem (setembro a fevereiro) e chuvosos (março a agosto), destacando maiores valores de precipitação. A precipitação média é superior a mm/m, podendo atingir 400 mm/mês, tendo a taxa de evaporação inferior a precipitação, havendo um balanço anual positivo (Montes, 1996).

4.2.2 Vegetação

A vegetação da Ilha de Itamaracá originalmente corresponde a vegetação de Mata Atlântica. Entretanto, o histórico de ocupação dessa região demonstra a substituição deste tipo de cobertura por cultivo de coqueiros, restando apenas os remanescentes de Mata Atlântica, alguns protegidos por unidades de conservação como as APAs de Santa Cruz e Estuarina do Rio Jaguaribe, além dos Refúgios de Vida Silvestre da Mata de Santa Cruz e da Mata de Jaguaribe e Reserva Ecológica da Macaxeira.

Além dos remanescentes de Mata Atlântica, a vegetação do ecossistema de manguezal se encontra de maneira bem expressiva, ocupando aproximadamente 36 km² às margens do canal de Santa Cruz (Medeiros e Kjerfve, 1993).

4.2.3 Geologia

De acordo com a o município da Ilha de Itamaracá está localizado geologicamente na província da Borborema, tendo a sua constituição formada por litotipos da Formação Gramame, depósitos Flúvio-Marinhos e o Grupo Barreiras.

Estes sedimentos são classificados como recentes e abrangem depósitos fluviais, de brejos, de mangue, de pântano e depósitos de praia atuais, além de terraços marinhos, pontais e recifes. São formados por sedimentos quaternários de origem fluvial, marinha ou fluviomarina, estando diretamente ligados as oscilações do nível do mar ao longo deste período geológico (Barros, 2000).

Outros depósitos encontrados no município da Ilha de Itamaracá são os aluviais ou aluviões, compostos de areias, cascalhos e argilas de origem continental. Estes sedimentos foram transportados e depositados ao longo dos canais. Nas planícies de inundação são

predominantes as areias finas e as argilas, enquanto as areias grossas e os cascalhos dominam nos depósitos de canal (Almeida e Manso, 2011).

4.2.4 Urbanização

Segundo o Censo Demográfico de 2010, a população residente na Ilha de Itamaracá é de 21.884 habitantes, tendo 16.993 habitantes na zona urbana e apenas 4.891 na zona rural, se caracterizando como um dos menores contingentes populacionais da zona litorânea do estado de Pernambuco, entretanto, apresenta uma densidade demográfica de 327,05 hab/km².

De acordo com Assis (2003), durante o período de alta estação (setembro a março) a população flutuante chega a 50 mil habitantes, ocasionando uma sobrecarga da infraestrutura existente. Neste aspecto a relação populacional da Ilha de Itamaracá está vinculada ao turismo de segunda residência e ao pendular comercial, bem como o turismo de massas através de excursões realizadas durante os fins de semana.

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliação da área de estudo proposta no presente capítulo, foi utilizado um recorte da imagem do satélite *WorldView 2* do ano de 2014, correspondendo a área do Forte Orange na Ilha de Itamaracá com as atribuições descritas a seguir: resolução espacial de 0,50 m, resolução espectral 450-520μ para a banda azul, 520-600μ no comprimento da banda verde, 630-690 μ para a banda vermelha e 450-900 μ no modo pancromático. A resolução radiométrica da imagem é de 11 bits. A imagem foi cedida pelo Laboratório de Cartografia Costeira (LACCOST-UFPE).

Também foram analisadas fotografias aéreas oblíquas dos anos de 2011 e 2014, tais imagens foram gentilmente cedidas pela CPRH e utilizadas para a validação externa dos dados afim de atribuir melhor confiabilidade nas discussões acerca da vulnerabilidade à erosão costeira na praia do Forte Orange na Ilha de Itamaracá.

4.3.1 MÁXIMO VEROSSIMILHANÇA

O método proposto para este capítulo, baseia-se na ponderação de distâncias médias dos níveis digitais das classes, através de parâmetros estatísticos será estabelecido a

probabilidade de um pixel pertencer ou não a uma determinada classe, levando em consideração a distribuição espectral.

De acordo com Richards e Jia (2006) o uso do algoritmo de máxima verossimilhança, supervisionado destaca-se pela utilização do mesmo em diversos trabalhos científicos. O processo deste algoritmo se caracteriza pelo exercício de abrangência da variância e covariância dos padrões associados às classes de interesse no processo de classificação.

Nesta classificação os pixels são coletados a partir da seleção de regiões homogêneas contíguas da imagem. Além das informações espectrais (média, desvio, padrão, máximo e mínimo) as imagens possuem um grande quantitativo de atributos adicionais que podem ser utilizados no processo de classificação.

Como plataforma de tratamento de dados utilizou-se o programa *ArcGIS 9.3*, sob a licença do laboratório de Oceanografia Geológica da Universidade Federal de Pernambuco (Labogeo-UFPE). A extensão é denominada *Image Classification* foi utilizada através do classificador *Interactive Supervised Classification*. O processo de coleta se baseou nos geoindicadores continentais descritos por Bush (1999) e Sousa (2011).

Para a aplicabilidade do método e classificação da imagem *WorldView 2* foram coletados 193.982 pixels de 0,50 m, observados a partir da janela *Training Sample Manager*, afim de obter uma melhor acurácia nos resultados desejados conforme a descrição de Walter (2004).

Tabela 4. 1 Quantitativo de pixels coletados para a classificação

Nome da Classe/Geoindicadores	Quantidade de Pixels Coletados
Vegetação Densa	46192
Pós-Praia e Face de Praia	25055
Residências	8363
Vegetação Rasteira	55564
Solo Impermeável	9548
Terraços de Praia	29401
Solo Exposto	19859
Total	193982

4.3.2 GEOINDICADORES

O processo de interpretação visual classificou todos os pixels em 7 classes distintas: Pós-Praia e Face de Praia, Terraço de Maré Baixa, Solo Impermeável, Residências, Vegetação Rasteira, Vegetação Densa e Solo Exposto, estes indicadores foram previamente selecionados, (tabela).

Na presente proposta de avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira na praia do Forte Orange na Ilha de Itamaracá-PE, foram observados 7 geoindicadores identificados a partir da interpretação da imagem *WorldView 2* como descrita na seção de materiais e métodos. Para a construção do índice estes indicadores serão descritos a seguir:

1. Praia: A face de praia se caracteriza por ser o acúmulo de sedimentos soltos, não consolidados, que variam de tamanho, sendo estes muito finos, arenosos, formados por seixos e ocasionalmente rochosos. Este é o principal indicador a ser avaliado, pois é a feição que descreve de maneira quali-quantitativa o fator de vulnerabilidade à erosão na costa.

2. O Terraço de Maré Baixa é caracterizada por uma face de praia relativamente íngreme, a qual é conectada, no nível de baixa mar, a um terraço plano ou banco. As condições ideais para o desenvolvimento desta feição morfológica incluem as partes mais extremas e protegidas de longas praias. Durante a premar as ondas de altura inferior a 1 metro ultrapassam a área do terraço, enquanto na baixamar, especialmente na de sizígia, o terraço é totalmente exposto, podendo apresentar um relevo de bancos e calhas dispostos paralelamente à praia (Calliari et al., 2003).

3. Estradas e Rodovias: A impermeabilização dos solos está associada diretamente a através de estradas e rodovias é algo bem característico de praias urbanas, sendo bastante comum a presença de áreas calçadas e asfaltadas na orla marítima. Este fator contribui para a potencialização da erosão costeira no que tange ao fluxo de sedimentos que passa a ter sua dinâmica comprometida (Tresca et al., 2014).

4. Solo Exposto: A identificação de áreas de solo exposto identifica a presença de solos permeáveis, entretanto, devido ao conhecimento prévio, as áreas expostas caracterizam retirada de vegetação nativa, o que significa a interferência antrópica para fins de exploração urbana. Áreas desta natureza são evidências de áreas particulares para construção posterior de edificações.

5. Residências: A presença de residências de segunda moradia é um fator predominante em ambientes de potencial turístico. Este aspecto se caracteriza pelo forte fator especulativo que

6. Vegetação Densa: A presença da vegetação densa no pós-praia está atribuída a fixação natural de sedimentos, reduzindo os efeitos da erosão costeira. A retirada desta vegetação

pode reduzir de maneira irreversível a capacidade à resiliência, causando intensas alterações nos serviços ecossistêmicos (Arrow et al., 1995).

7. Vegetação Arbustiva: A vegetação arbustiva oriunda dos ambientes praias são importantes aliados contra os processos de erosão costeira, impedindo a susceptibilidade do ambiente. De acordo com a Lei Federal 9605/98 a retirada desta vegetação é determinada como crime ambiental. Além da vegetação arbustiva nas zonas costeiras, a presença de cobertura vegetal, mesmo que de pequeno porte, como as gramíneas em ambientes residências são importantes nas recargas de aquíferos, estando associados à presença de unidades geológicas permeáveis, como os terraços arenosos marinhos, na zona costeira adjacente a costa.

4.3.2.1 Índice de Vulnerabilidade

Segundo Bush et al. (1999) Sousa et al. (2011) os setores dos ambientes costeiros são resultados dos processos físicos e antrópicos integrados, através de agentes patogênicos que estão em constantes alterações. Devido a isso o índice avaliará cada geoindicador de maneira individual e detalhada conforme descrito previamente, de acordo com sua presença atuando como agente protetor ou agente erosivo (Sousa et al., 2013).

O indicador apresentará seu potencial para a vulnerabilidade à erosão costeira (baixa, moderada ou alta). Considerando os valores em m² de cada geoindicador atribuindo um valor numérico baseado nas amostras para cada variável: 0 = baixa, 5 = moderada e 10 em alta vulnerabilidade. Os mesmos são organizados em planilhas que alimentam a base de dados para o modelo numérico observados através da seguinte equação:

$$I = \left(\frac{1}{n_v}\right) \cdot \sum_v \cdot \left(\frac{1}{n_i}\right) \cdot \sum_i x_i \quad eq. 4.1$$

Os resultados obtidos através do banco de dados acerca da vulnerabilidade costeira são aplicados na equação 3 que resulta no índice (I), de acordo com os 7 parâmetros de entrada do modelo.

Onde n_v é o número de variáveis, n_i o número de indicadores da determinada variável e x_i é a soma dos indicadores. Somando as variáveis e realizando a média aritmética dos indicadores, obtendo-se o valor do índice proposto.

O índice é um resumo dos indicadores (tabela 2.3), dada pela avaliação a vulnerabilidade sendo os valores numéricos encontrados entre 0 a 2,9 considerado como baixa vulnerabilidade, de 3 a 6,9 vulnerabilidade moderada e de 7 a 10 alta vulnerabilidade.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na revisão bibliográfica, dados orbitais cedidos pelo LACCOST/UFPE, e análise e fotografias áreas oblíquas e terrestres dos anos de 2011 e 2014 gentilmente cedidas pela CPRH, foi possível o mapeamento dos geoindicadores e a distribuição espacial ao longo da área de estudo.

O processamento de imagens orbitais de alta resolução espacial através da técnica de maximo verossimilhança auxiliou a classificação de 7 indicadores antrópicos e ambientais de acordo com a proposta de Bush (1999), sendo estes responsáveis de maneira direta e indireta pela caracterização dos cenários de erosão atuais na orla da praia do Forte Orange e seus arredores no município da Ilha de Itamaracá.

Como possível observar na tabela 10, os valores do pixel foram multiplicados por 0,25 m², convertidos e avaliados em uma área total de 5,98 km², onde os valores em porcentagem foram de 25,10% para vegetação densa, 41,40% de vegetação rasteira, 16,10% de áreas residenciais, 7,70% de solo exposto, 3,60% de áreas asfaltadas, 2,40% da face de praia e 3,70% das áreas correspondentes aos terraços de Maré Baixa.

Devido a integração da Ilha de Itamaracá à Região Metropolitana do Recife, além dos aspectos econômicos, as atividades de veraneio e turismo de segunda residência passaram a exercer um papel significativo, entretanto, ao fim dos anos de 90 houve uma queda na demanda de procura de áreas residências (Manso, 2003).

A vulnerabilidade na Praia do Forte Orange foi identificada como moderada, tendo o valor de 5,5 entretanto, é possível caracterizar ambientes preservados, como a área sul da praia, onde existe baixa interferência antrópica com residências e impermeabilização do solo, bom aporte sedimentar para a praia e uma presença massiva de vegetação de mangue.

Tabela 4. 2 Valores obtidos em m² e dados percentuais após a interpretação da imagem

Geoindicadores	Pixels	Área	Porcentagem
Vegetação Densa	6001196	15002,99	25.10%
Vegetação Rasteira	9905152	24762,88	41.40%
Residências	3881144	9702,86	16.10%
Solo Exposto	1836637	4591,59	7.70%
Asfalto	866021	2165,05	3.60%
Face de Praia	566056	1415,14	2.40%
Terraço de Maré Baixa	885741	2214,35	3.70%

Além deste fator, Albuquerque (2009) destaca a presença de pequenas dunas na região da orla, com uma largura de 20m sendo composta por areias finas. Nesta região a faixa do pós-praia tem uma largura de 25 a 30m com presença de berma e dunas recentes cobertas pela vegetação.

Um grande quantitativo de concentrações residenciais é visualizado na proximidade da praia (figura 4.4). Este fator se caracteriza de maneira natural para a região que passou por uma intensa ocupação ocorrida nestas áreas ao longo das décadas de 1980 e 1990, onde para esta área foi atribuída a identidade de turismo de segunda residência como descreve Assis (2003).

A atribuição dos aspectos socioeconômicos e ambientais, como queda de receita, desvalorização dos imóveis, aumento da violência e significativa deterioração ambiental da orla (despejo de esgotos, invasões em faixa de praia, desordenamento dos bares e barracas etc.) (CPRH, 2014).

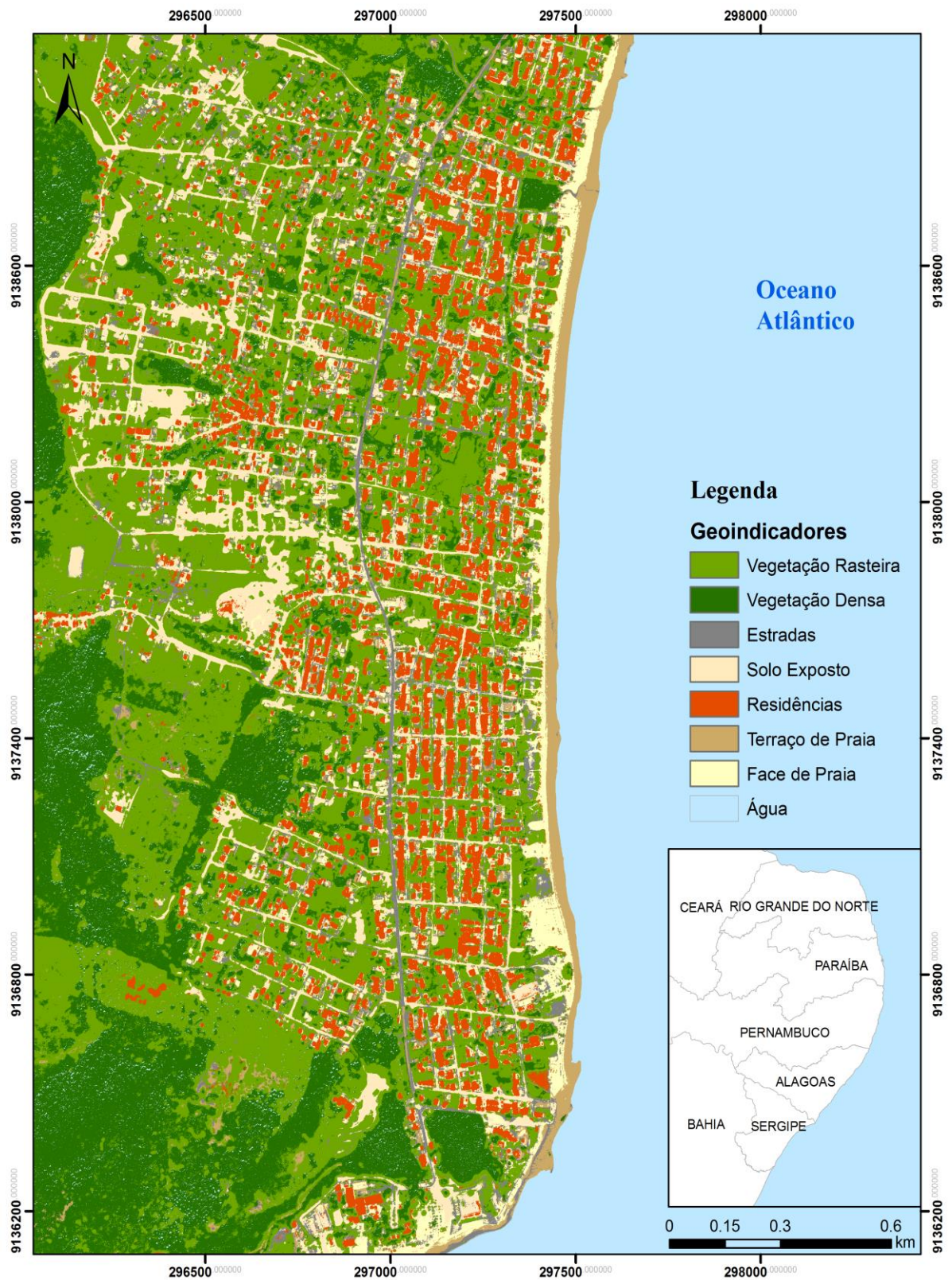


Figura 4. 2 Mapa dos Geoindicadores da praia do Forte Orange – Ilha de Itamaracá Sistemas de Coordenadas UTM. Datum: Sirgas 2000. Fuso 25 S. Fonte: O Autor.

Em contrapartida, a diversidade paisagística da Ilha e a saturação de algumas praias no litoral sul potencializam a expectativa de crescimento das atividades turísticas de forte apelo ambiental, mesmo atualmente apresentando serviços estagnados (CPRH, 2014).

Diversos problemas ambientais na Ilha de Itamaracá são descritos por Moraes (2000), Lima (2001), Costa (2002), Barreto, Araújo e Manso (2014) e Martins (2015), alguns citados são: intensificação da erosão costeira, perda de atrativos naturais e constante redução de áreas vegetadas locais. Entre outros fatores a ocupação antrópica é o que tem gerado maiores conflitos entre o uso urbano e o turismo de lazer.

Outro aspecto interessante é a variável referente ao solo exposto, que caracteriza a permeabilidade, onde se verifica a retirada da vegetação natural, que de acordo Medeiros e Kjerfve (1993) se distinguem entre Mata Atlântica e Mangue.

Em relação a análise da retirada de vegetação é longo o histórico de alterações da vegetação natural no litoral pernambucano devido a atividade de agricultura principalmente do cultivo da Cana-de-Açúcar e Coqueiros.

Cabe ressaltar que através da homogeneização qualificada no método proposto, as áreas de vegetação rasteira podem corresponder a áreas com presença de grama para ornamentação dos ambientes próximos as áreas residenciais. Em áreas próximas a região da orla esta vegetação é identificada como restinga, como possível observar ao sul da imagem de satélite classificada e na fotografia aérea (figura 4.4).

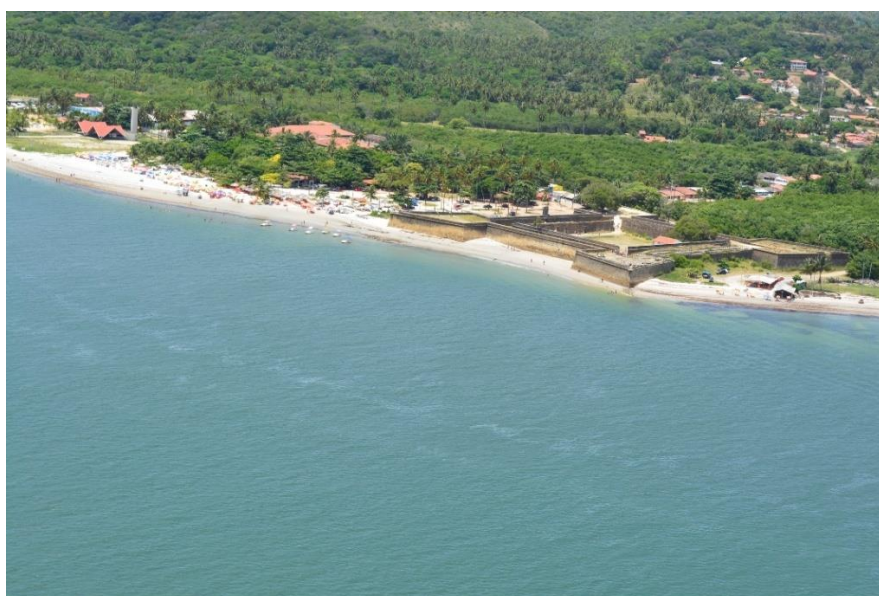


Figura 4. 3 Vista aérea do Forte Orange na Ilha de Itamaracá. Fonte: CPRH (2014)

Áreas de vegetação rasteira contribuem para a fixação de sedimentos nas proximidades dos ambientes praias e amenizam os impactos da urbanização criados a partir de áreas tidas como impermeáveis, como residências e estradas asfaltadas, pois este tipo de vegetação é tido como um agente natural de contribuição para o equilíbrio no balanço sedimentar dos ambientes costeiros.

Diferentemente da vegetação, os ambientes impermeáveis como estradas se constituem como um fator de potencial erosão devido a impossibilidade de trocas de sedimentos. De acordo com o método proposto, o solo impermeável foi destacado como o segundo menor valor entre os indicadores.



Figura 4. 4 Forte Orange e estruturas rígidas observadas em baixa mar. Fonte CPRH (2014)

De acordo com Silva e Koenig (1993), o ambiente deposicional praias apresenta constantes alterações devido aos processos erosivos e deposicionais. A interferência antrópica em áreas próximas ao ambiente costeiro é um fator de predominância, para alterações no balanço sedimentar e consequentemente mudanças paisagísticas.

O trecho de costa onde se localiza a praia do Forte Orange tem se mostrado como sendo uma área de instabilidade para o ambiente litorâneo da Ilha de Itamaracá. De acordo com Manso et al. (2012), o Canal de Santa Cruz é uma região de aporte sedimentar intenso, entretanto, esta característica não resulta um balanço equilibrado.

De acordo com Albuquerque (2009) e Martins (2015), alguns indicadores de erosão

são encontrados nas áreas próximas ao Forte Orange, como coqueiros caídos, raízes expostas e algumas barracas danificadas pela ação de ondas.

Áreas circunvizinhas ao Forte, como o projeto Peixe-Boi, também passam pelo problema da erosão costeira, onde uma área edificada foi observada em uma fotografia do ano de 2011 registrada pela CPRH. Esta edificação continha uma estrutura de proteção feita por troncos de coqueiros, entretanto, a edificação e o muro de contenção já não existiam no registro feito pelo mesmo órgão para o ano de 2014, devido aos processos erosivos.

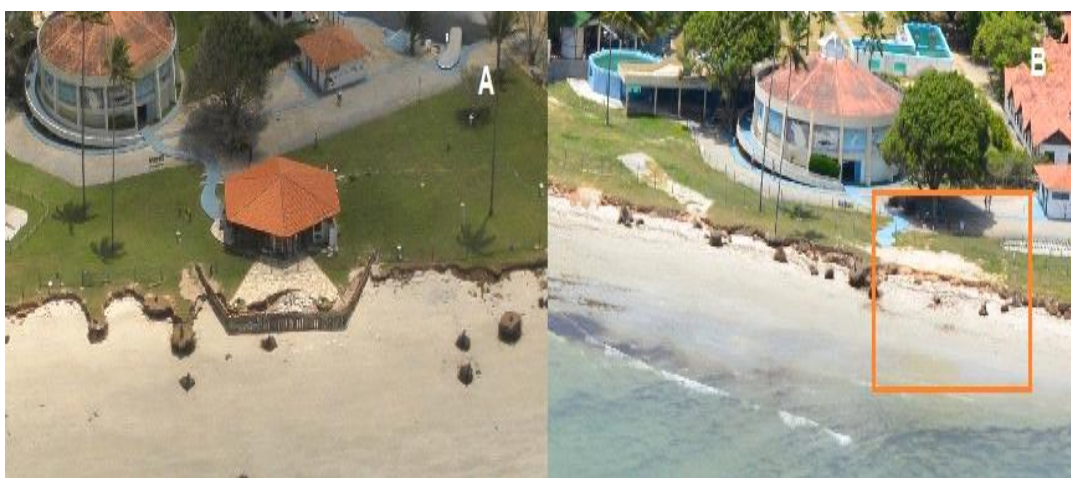


Figura 4.5 (a) Projeto Peixe Boi (2011); Figura 27 (b) Projeto Peixe Boi (2014) Fonte: CPRH (2014)

Neste sentido o uso e ocupação do solo na Praia do Forte Orange na Ilha de Itamaracá, desencadeou um processo de ocupação desordenada na região do pós-praia devido a presença de construções fixas. Estas ocupações em lugares inadequados contribuem fortemente para a potencialização da degradação do ambiente praial.

4.4 CONCLUSÃO

A avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira na região da Praia do Forte Orange foi realizada através da utilização dos geoindicadores. Estes foram quantificados avaliando as suas áreas, verificando a maior incidência e analisando a susceptibilidade dos ambientes observados.

De modo generalizado, as áreas circunvizinhas a praia do Forte Orange apresentam um moderado potencial a vulnerabilidade à erosão costeira, evidenciando a ausência do pós-praia, contendo apenas terraços de maré baixa em alguns pontos da área avaliada, sendo um aspecto de preocupação e necessidade de intervenção da gestão pública local.

Ao longo de quase toda a costa foram verificadas residências em áreas próximas a praia caracterizando retirada de vegetação nativa local, como as áreas de mata atlântica e mangue e vegetação de restinga. Entretanto, a porção sul estuarina da praia do Forte Orange, no município da Ilha de Itamaracá se destacou pela ausência de intervenção antrópica, sendo uma região preservada. Esta região se destaca por ser uma área de proximidade com o manguezal do canal de Santa Cruz, fonte principal de sedimentos para a formação das praia nesta região.

A utilização de dados de alta resolução utilizados na análise da vulnerabilidade à erosão costeira em ambientes com presença antrópica acentuada, apresenta-se como um eficiente método a ser utilizado em escala local, conforme o proposto. A validação de dados através de fotografias oblíquas e visitas técnicas nestas áreas são indispensáveis, além da revisão bibliográfica para áreas de potencial susceptibilidade.

Casos de interferência antrópica nos ambientes costeiros, como ao norte da praia do Forte Orange, são comuns ao longo do litoral brasileiro. Nestes casos, é necessário que métodos analíticos como imagens de satélites, fotografias aéreas ou oblíquas e dados de GPS sejam utilizados na identificação da erosão costeira.

O mapa de caracterização dos geoindicadores pode ser utilizado como uma excelente fonte na averiguação de áreas em potencial erosão. Estas áreas necessitam de uma melhor atenção do governo devido a utilização das áreas como residências, potencial econômico no que tange o turismo local e a perspectiva ambiental da região no espaço local que passa pela problemática da erosão costeira, perdendo espaço no ambiente praial.

Para o ambiente em estudo é necessário que haja um comprometimento do órgão gestor na aplicabilidade de leis específicas, sendo primordial a avaliação das residências situadas em áreas sob domínio da ação das ondas e das marés para fins de remoção devido ao risco eminente ao patrimônio físico.

Abordagens como as do presente trabalho permitem utilizar recursos que caracterizam uma melhor otimização do tempo. Os resultados obtidos destacam o sensoriamento remoto orbital como uma ferramenta útil e de ágil integração nas informações espaciais para medidas operacionais, além de abordagens específicas que proponham a interdisciplinaridade.

Os dados gerados em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas favorecem a criação de bancos de dados que auxiliam no desenvolvimento de novos cenários, afim de abordar uma maior diversidade de fatores que contribuam para avaliação de resultados, reduzindo a possibilidade de riscos de impactos ambientais negativos.

Outros fatores a serem considerados são as introduções de planos de informações em relação a progradação ou retração da linha de costa, gerando dados geomorfológicos capazes de caracterizar áreas de maior probabilidade à erosão costeira.

A proposta para o monitoramento ambiental, a ordenação da ocupação urbana através de um planejamento local prévio e a priorização de propostas devem ser apresentadas pela gestão local na tentativa de minimizar os impactos ocasionados pela erosão costeira. Estas ações devem ser tomadas a partir da análise de dados científicos integrados a gestão costeira para uma melhor eficiência.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

O presente estudo foi realizado através de técnicas de interpretação de imagens orbitais integrados a ambientes de sistemas de informações geográficas. Estes dados possibilitaram a caracterização geral do ambiente costeiro do estado de Pernambuco, avaliando a vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores.

A partir da análise de revisão bibliográfica aliado a geração de dados foram observados diversos cenários em diferentes escalas de estudos. Os resultados na identificação de ambientes suscetíveis ao longo do litoral pernambucano apontam para um futuro preocupante, caso não haja intervenção do governo, devido a interferência antrópica.

As ocupações desordenadas nas maiores cidades do litoral pernambucano evidenciaram variadas perspectivas acerca da vulnerabilidade à erosão costeira, além da perceptível diferença entre os diferentes setores visualizados pelas variações antrópicas e os ambientes preservados identificados ao longo deste estudo.

Mesmo as praias dos setores norte, núcleo metropolitano e sul, apresentarem valores quantitativos semelhantes, é necessário averiguar os valores percentuais das áreas para uma melhor compreensão dos resultados. Feições de intensa urbanização foram destacadas ao longo do núcleo metropolitano, entretanto, cidades como Jaboatão apresentam áreas de praia com valores percentuais maiores que outros locais do litoral pernambucano.

Os resultados apontaram para a vulnerabilidade à erosão costeira na maior parte do litoral pernambucano devido a interferência antrópica. Este fator se dá não apenas no aspecto das edificações pelo processo de verticalização, como ocorre no núcleo metropolitano, como também na utilização de ambientes próximos a praia que tiveram a substituição da vegetação natural pelo manejo agrícola.

Um dos grandes problemas visualizados ao longo do estudo foi a retirada de vegetação nativa nos ambientes costeiros. Áreas de mangue, mata atlântica e restinga foram substituídos por vegetação agrícola como coqueiros e cana-de-açúcar nos ambientes rurais e edificações ao longo das áreas de pós-praia.

Por apresentar belezas paisagísticas exuberantes, o litoral pernambucano sofre com ações antrópicas de larga escala em diversas praias ao longo do litoral, sendo necessário a

intervenção do estado afim de medidas mitigadoras que abordem perspectivas de proteção ambiental para a costa do estado.

Uma possível solução para a proteção dos ambientes costeiros que ainda não foram atingidos pelas mudanças antrópicas, é a criação de unidades de conservação de proteção integral ou de uso sustentável. Isto impossibilitaria a construção de edificações que possivelmente trariam a ocupação desordenada como decorrente nas cidades de maior economia do litoral pernambucano, evitando cenários futuros de erosão.

Outra possível solução para tais problemas seria a relocação da orla urbanizada, possibilitando a ampliação da praia, aumentando a área do solo permeável, contribuindo para a dinâmica sedimentar, além proteção da lençóis freáticos próximos a costa.

Os dados obtidos através deste trabalho verificaram que escalas locais apresentam melhores resultados de análise. A adequação de métodos de interpretação de imagens junto com maior variabilidade de indicadores podem acarretar informações capazes de apresentar um suporte técnico mais eficaz para fins de gestão costeira.

A análise da vulnerabilidade à erosão costeira demonstra necessidade de uma idealização de medidas preventivas no intuito de minimizar os prejuízos gerados pelos problemas ambientais caracterizados pela modificação das zonas litorâneas.

A empregabilidade de mapas de vulnerabilidade pode ser considerada de fácil aplicação e interpretação podendo ser adotados por empresas e órgãos gestores no auxílio e determinação de áreas vulneráveis a eventuais perdas de áreas costeiras, evidenciando ambientes em potencial erosão ao longo do litoral.

Os resultados obtidos revelam a utilidade dos Sistemas de Informações Geográficas para fins de estudos costeiros. Isso se deve a integração de informações espaciais na empregabilidade para casos emergenciais como a potencial perda de patrimônio pelo avanço das ondas e da maré em ambientes potenciais à erosão a partir do curto espaço de praia.

Com a metodologia proposta, foi verificada que escalas de maior precisão atribuem a capacidade de analisar melhores resultados. Isto se dá através da evidencia de maiores detalhes na identificação dos geoindicadores propostos em metodologia.

As discussões e conclusões deste trabalho propõem melhores análises em relação a vulnerabilidade à erosão costeira para o estado de Pernambuco, de forma a serem adotados dados para construção diversos bancos de dados informacionais que correspondam aos estudos realizados ao longo dos anos nas diversas praias do litoral pernambucano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, H. R. R. de C. e SCHULER, C.A. . Avaliação Da Morfodinâmica Praial No Município Do Cabo De Santo Agostinho ? Pe Através De Imagens Suborbitais E Orbitais De Alta Resolução Espacial. **Engenharia Ambiental**, v. 6, p. 38-54, 2009.
- ALBUQUERQUE, J. L., Caracterização morfodinâmica e vulnerabilidade à erosão do Litoral Leste da Ilha de Itamaracá – PE. **Dissertação** (Mestrado em Geociências) - Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 107p. Recife, 2015.
- ALMEIDA, T. L. M. ; MANSO, V. A. V. . Sedimentologia da Plataforma Interna Adjacente a Ilha de Itamaracá-PE. **Estudos Geológicos** (UFPE), v. 21, p. 135-152, 2011.
- AMARO, V.E.; SANTOS, M.S.T.; SOUTO, M.V.S. Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: **Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão**. 1ª Ed. Natal, Edição dos Autores, 118p. 2012.
- ARAÚJO. M. C. B., SOUZA, S. T., CHAGAS., BARBOSA., S. C. T., COSTA, MONICA F. COSTA. Análise da Ocupação Urbana das Praias de Pernambuco, Brasil **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v, 7, n. 2, p. 97-104, 2007.
- ARROW, K.; BOLIN, B.; COSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C. S.; JANSSON, B-O.; LEVIN, S.; MDLER, K-G.; PERRINGS, C. e PIMENTEL, D. (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. **Science**, v. 268, p. 520–521
- BARRETO, E. P. ; ARAÚJO, T. C. M. ; MANSO, V. A. V. . Análise crítica dos Estudos de Vulnerabilidade Geomorfológica a agentes diversos no litoral de PE - Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 07, p. 1028-1043, 2014.
- BAATZ, M., MIMLER, M. Bildobjekt-Primitive als BausteineExtraktion von Objekten of interest bzw. anthropogenen Objekten basierend auf der expliziten Kanteninformation von Bildobjekt-Primitiven. In: Blaschke, T. (Ed.), **GIS und Fernerkundung: Neue Sensoren – Innovative Methoden**. Wichmann Verlag, Heidelberg, p. 179-188, 2002.
- BARROS, H.M.; ESKINAZI-LEÇA E.; MACEDO S.J.; LIMA T.: **Gerenciamento Participativo de Estuários e Manguezais**. Editora Universitária da UFPE, Recife , p.07-38. 2000.
- BARROS. A. P. E SILVEIRA, K. A. A Produção Do Espaço Rural-Urbano E Seus Rebatimentos Nos Conflitos Socioambientais Na Área De Suape, Pernambuco – Brasil. **Cadernos Ceru**, Série 2, v. 21, n, 1, 2010.
- BARRETO, E. P. ; ARAÚJO, T. C. M. ; MANSO, V. A. V. . Análise Crítica Dos Estudos De Vulnerabilidade Geomorfológica A Agentes Diversos No Litoral De Pe - Brasil. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 07, p.1028-1043, 2014.
- BESNAD, W.Considerações gerais em torno da região lagunar de Cananéia-Iguape: **I. Bol. Inst. Paul. Oceanogr.** [online]., v.1, n.1, pp. 09-26, 1950.

BIRKMANN, J. Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications. **Environmental Hazards** v. 7, p. 20–31, 2007.

BOSOM E., JIMENEZ J. A. Storm-induced coastal hazard assessment at regional scale: application to Catalonia (NW Mediterranean) **Advances in Geosciences** v, 26, p. 83-87, 2010.

BORUFF, B. J., EMRICH, C. & CUTTER, S. L. 2005. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 5, p. 932-942.

BUSH, D.M.; NEAL, W.J.; YOUNG, R.S.; PILKEY, O.H. - Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, V. 42, N. 8, p. 647-670, 1999.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment**. Monographs on Soil and Resources Survey, Oxford Science Publications, N. 12 New York, 1986.

Calliari, L.J., Muehe, D., Hoefel, F.G. & Toldo Jr., E.E. **Morfodinâmica praial: uma breve revisão**. Revista Brasileira de Oceanografia, v. 50: 63-78, 2003.

CÂMARA, I. G. **Plano de Ação para a Mata Atlântica**. Fundação SOS Mata Atlântica. São Paulo, SP, p. 152, 1991

CARVALHO, R.F. & COUTINHO, P.N. Evolução da área da Lagoa Olhos-d'agua (Recife, PE). In: SIMP. REG. GEOL., 9, Natal. **Atas...** Natal, SBG. p. 180-201, 1979.

COOPER, J.A.G. AND MCLAUGHLIN, S.. Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis. **Journal of Coastal Research**, v. 14, n. 2, p. 512-524, 1998.

COSTA, J.A., 2002. Sedimentologia, hidrodinâmica e vulnerabilidade das praias no trecho entre a foz do Rio Mamucaba (Tamandaré – PE) e a foz do Rio Persinunga (São José da Coroa Grande – PE). Recife. **Dissertação** (Mestrado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco. 79p.

COSTA, M. B. S. F., PONTES, P. M. & ARAUJO, T. C. M. Monitoramento da Linha de Preamar das Praias de Olinda - PE (Brasil) como Ferramenta à Gestão Costeira. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 8, n. 2, p. 101-112, 2008.

CPRH (Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Pernambuco). 2012. **Unidades de Conservação** Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br>. Acesso em: 20 set. 2015.

DAL CIN, R. & SIMEONI U. A model for determinining the Classification, Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). **Journal of Coastal Research**, n. 10, v. 1, p. 19-29, 1994.

DEAN, R.G. **Beach Nourishment: theory and practice.**, World Scientific Publishing, Singapura, p.399, 2002.

DANIEL, H. Replenishment versus retreat: the cost of maintaining Delaware's beaches. **Ocean & Coastal Management**. n. 44, p. 84-104, 2001.

DEAN, R. G., **Coastal Processes With Engineering Applications**, Cambridge Univ. Press, New York. 2002.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; LEÃO, Z. M. A.N.; AZEVEDO, A. E. G. Geologia do quaternário costeiro do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 20, p. 208-215, 1990.

DOODY, J. P. Shoreline management – conservation, management or restoration? **National Coastal Consultants**, p. 407-419, 2001.

EMRICH C. T., CUTTER S. L. Social vulnerability to climate-sensitive hazards in the southern United States. **Weather and Climate Society**, v. 3, p. 193–208, 2011.

EULIE, D. O., WALSH, J. P., CARBETT, D. R. High-resolution analysis of shoreline change and application of balloon-based aerial photography, Albemarle-Pamlico estuarine system, North Caroline, USA. **Limnology and Oceanography: Methods**, v, 11 p. 151-160, 2013.

FERNANDEZ, D., ARNOTT R. D., BAUER B. O., WALKER, I. J., OLLERHEAD, J. Evaluation of the optimal resolution for characterizing the effect of beach surface moisture derived from remote sensing on aeolian transport Irene. **Journal of Coastal Research**, v. 65, 2013.

FRANÇA, C.. F., SOUZA FILHO., P. W. M., Compartimentação Morfológica Da Margem Leste Da Ilha De Marajó: Zona Costeira Dos Municípios De Soure E Salvaterra – Estado Do Pará. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n. 1, p. 33-42, 2006.

GONÇALVES, R. M. Modelagem de tendência a curto-prazo da linha de costa através de dados geodésicos temporais utilizando regressão linear, estimativa robusta e redes neurais artificiais. **Tese de Doutorado**, Programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 152p. 2010.

GONÇALVES, R. M.; AWANGE, J.; KRUEGER, C. P.; HECK, B.; COELHO, L. DOS S. A comparison between three short-term shoreline prediction models. **Ocean & Coastal Management**, v. 69, p. 102-110, 2012.

GONÇALVES, R. M. ; AWANGE,J. ; KRUEGER, C. P. . GNSS-based monitoring and mapping of shoreline position in support of planning and management of Matinhos/PR (Brazil). **Journal of Global Positioning Systems**, v. 11, p. 156-168, 2012.

GONÇALVES R. M. ; PACHECO A. D. P; TANAJURA, E. L. X. ; DA SILVA, L. M. Urbanização costeira e sombreamento na praia de Boa Viagem, Recife-PE, Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, v. 1, p. 241-255, 2013.

GOULDBY B. e SAMUELS P. Language of risk. Project definitions. Report T32-04-0, FLOODsite project, 2005.

GUERRA, N. C, MANSO V. DO A.V. 2004. Beachrocks (Recifes de Arenito). In:ESKINAZI-LEÇAE et. al. (Orgs.), **Oceanografia: um cenário tropical. Recife**, Bagaço, p. 109-130.

HANTSON, W., KOOISTRA L. & SLIM, P. A. Mapping invasive woody species in coastal dunes in the Netherlands: a remote sensing approach using LIDAR and high-resolution aerial photographs. Applied Vegetation Science. **International Association for Vegetation Science**, p.1-12, 2012

HARVEY, N., CLOUSTON, B. & CARVALHO, P. Improving Coastal Vulnerability Assessment Methodologies for Integrated Coastal Zone Management: an Approach from South Australia. **Australian Geographical Studies**, v. 37, p. 50-69, 1999.

IBGE 2010, **Censo demográfico** disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=260790&search=pernambuco>, acesso em março de 2015.

JEFFREY M. A AND KOBAYASHI N. Stone Armor Damage Initiation and Progression Based on the Maximum Wave Momentum Flux. **Journal of Coastal Research**, v. 27, p. 110-119, 2011.

KLEIN, R.J.T., NICHOLLS, R.J., THOMALLA, F. Resilience to natural hazards: how useful is this concept? **Environmental Hazards**, v. 5 n. 1-2, p. 35-45, 2003.

LACERDA, S. R., Variação diurna e sazonal do fitoplâncton no estuário do rio Paripe (Itamaracá, Pernambuco, Brasil). **Dissertação** de Mestrado, UFPE, Recife, 146p. 1994.

MAGINI, C., HARARI, J., ABESSA, D. M. S, Circulação recente de sedimentos costeiros nas praias de santos durante eventos de tempestades: dados para a gestão de impactos físicos costeiros. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 26, n. 4, p. 349-355, 2007.

MALLMANN, D. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à erosão. **Tropical Oceanography**, v. 38, n. 2, p. 129-151, 2010.

MALMANN, D. L. B. ; PEREIRA, P.S. ; NOGUEIRA, P. F. R. S. M. ; SANTOS, F. M. M. . Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de satélite pancromáticas. **Pesquisas em Geociências**, v. 41, p. 169-189, 2014.

MARTINS, K. Vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas através de indicadores em Pernambuco, Brasil., **Dissertação** (Mestrado em Oceanografia) - Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 107p. Recife, 2015.

MARQUES, J.S.J., RANGEL, T.P., BRITO, F.P.; ALMEIDA., M.G., SALOMÃO., M.S.M.B, GOBO, A.A.R., SOUZA-SANTOS, L.P. ARAÚJO-CASTRO, C.M V. M.F. COSTA 2 ,C.E.REZENDE. Geoquímica de Metais em Sedimentos da Zona Estuarina do

Complexo Industrial Porto de Suape, PE - Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada** v.11, n.4 p.379-387, 2011.

MANSO, V. DO A. V. et al. Pernambuco. In: MUEHE, D. (Ed.). . **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília, BR: Ministério do Meio Ambiente, p. 179–196. 2006.

MANSO, V. A. V.; Macedo, R. J. A. ; Silva, E. R. M. E. ; Pereira, N. S. ; Soares Junior, C. F. A. ; Arraes, M. ; Alves, F. P. Subsídios ao Gerenciamento Costeiro: Definição sa Zona Não Edificante da Praia do Porto (Pe) para uso e Ocupação da Orla. **Estudos Geológicos**, v. 22, p. 21-36, 2012.

MENDONCA, F. J. B. ; Gonçalves, Rodrigo Mikosz ; Awange, Joseph ; SILVA, L. M. ; GREGORIO, M. N. . TEMPORAL SHORELINE SERIES ANALYSIS USING GNSS. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, p. 701-719, 2014.

MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. R.; SOUZA, C. R. G. Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2, p. 278-294, 2008.

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

MENEZES, J. T. Balanço de Sedimento Arenosos da Enseada do Balneário Camburiú–SC. 2008. **Tese** (Doutorado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MAGINI, C.; GOMES, P. F.; VERÍSSIMO, C. U. V.; AGUIAR NETO, A. B. Avaliação Ambiental da Praia do Futuro, município de Fortaleza, Ceará. **Revista de Geologia**, v. 20, n. 1, p. 91-88, 2007.

MORAES, L.J. Estudos geológicos do Estado de Pernambuco. Rio de Janeiro, **Serv. Geol. Min. Brasil**. 57p. 1928.

MEDEIROS, C.; B. KJERFVE; M. ARAÚJO & S. NEUMANN-LEITÃO. 2001. **The Itamaracá Estuarine Ecosystem, Brazil**, p.71-81. In: U. SEELINGER, B. & KJERFVE (Eds.). Ecological Studies, 144. Coastal Marine Ecosystems of Latin America, Berlin, Springer-Verlag, 360p.

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. 82, p.61-76, 2008.

M. JEFFREY A AND KOBAYASHI N. 2011. Stone Armor Damage Initiation and Progression Based on the Maximum Wave Momentum Flux. **Journal of Coastal Research**, v. 27, p. 110 – 119, 2011.

MONTES, M. J. F., Variação nictemeral do fitoplâncton e parâmetros hidrológicos no Canal de Santa Cruz, Ilha de Itamaracá, PE. Recife, UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Biológica, 174p, 1996.

MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 35-44, 2001

NASCIMENTO D.M.C. & DOMINGUEZ J.M.L. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, p. 395-408, 2009.

NEVES, C.F, D. MUEHE, G.O.M. - Coastal Mamagement and Sea Levei Rise in Recife, Brazil - **Anais... IX Coastal Zone Management Conference, ASCE, EUA. 1991.**

NEVES, C. F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade impactos e adaptações às mudanças do clima: a zona costeira. In: **Parcerias Estratégicas – mudança doclima do Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação**. n.27, Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008.

NICHOLLS, R.J. AND KLEIN, R.J.T. Climate change and coastal management on Europe's coast in Vermaat, J.E. et al. (eds.). **Managing European Coasts: Past, Present and future**. Berlin: Springer-Verlag, p.199-225, 2005.

Nguyen, T., Bonetti, J., Rogers, K., Woodroffe. D. C., Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. **Ocean & Coastal Management** v. 123, p. 18-43, 2016.

OLIVEIRA, P. F. P.; SILVA, H. A.; SANTANA, N. M. G.; MANSO, V. A. V. Avaliação do Comportamento do Aterro Hidráulico da Praia do JangaPaulista/PE, decorrente da Dinâmica Praial e da Urbanização. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 2, p. 374-385, 2012.

PEREIRA, P.S. ; CALLIARI, L.J. ; HOLMAN, R. ; HOLLAND, K.T. ; GUEDES, R.M.C. ; AMORIN, C.K. ; Cavalcanti, P.G. . Video and field observations of wave attenuation in a muddy surf zone. **Marine Geology**, v. 279, p. 210-221, 2011.

PEREIRA, P.S. ; CALLIARI, L.J. ; GUEDES, R.M.C. ; SCHETTINI, C. A. F. Variabilidade temporal dos bancos arenosos da praia do Cassino (RS): uma análise através de imagens de vídeo. **Pesquisas em Geociências**, v. 39, p. 195-211, 2012.

PIRES, IVA., CRAVEIRO J., ANTUNES. O. Artificialização do solo e Vulnerabilidade Humana em duas zonas sujeitas a processos de erosão costeira: casos de estudo da Costa da Caparica e Espinho (Portugal). **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 3, 2012.

RAPOSEIRO, P.D. & FERREIRA, J. C. R. A análise da vulnerabilidade e do risco de inundação como ferramenta de apoio à gestão dos territórios litorais sob pressão urbana. **Pluris: Planejamento urbano regional integrado e sustentável**, p. 1-12, 2010.

RANTA, P.; BLON, T.; NIEMELÄ, J.; JOENSUU, E., SIITONEN, M. The fragmented Atlantic rain Forest of Brazil: size, shape and distribution of Forest fragments. **Biodiversity and Conservation** v. 7, p. 385-403, 1998.

RIBEIRO, J. S., SOUSA, P. H. G. O., VIEIRA, D. R., SIEGLE, E. Evolução da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia de Massaguaçu (SP), **Brasil Revista Da Gestão Costeira Integrada**, São Paulo, v. 13 n. 3 p. 253-265, 2013.

RICHARDS. J. A., JIA. X., **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Spring, 4.Ed, 2006

RUDORFF, F. M. & BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da ilha de Santa catarina. **Braz. J. Sci. Technol**, v. 14, n. 1, p. 9-20, 2010.

SILVA M. S, Morfoestratigrafia e evolução holocênica da Planície Costeira de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará. 1996. **Dissertação** (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 142p., 1996.

SILVA, I. G. e KOENING, M. L., Variação sazonal da densidade fitoplanctônica no estuário do rio Paripe, Itamaracá, Pernambuco, Brasil. **Arq. Biol. Technol.**,v. 4 p. 645-658., 1993,

SILVA, L. M. DA., GONÇALVES, R. M., LIRA, M. M. DA., PEREIRA, P. DE S., Modelagem Fuzzy aplicada na detecção da vulnerabilidade à erosão costeira. **Boletim De Ciências Geodésicas**, v. 19, n. 4, p. 746-764, 2013.

SOUSA, P.H.G.O.; SIEGLE, E.; TESSLER, M.G. Environmental and Anthropogenic Indicators for Coastal Risk Assessment at Massaguaçu Beach (SP) Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 319-323, 2011.

SOUZA, S. T de., A saúde das praias da Boa Viagem e do Pina, Recife (PE), Brasil , Brasil., **Dissertação** (Mestrado em Oceanografia) - Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 151p. Recife, 2004.

SOUZA, C. R. DE G., ; LUNA G. da C., Unidades quaternárias e vegetação nativa de planície costeira e baixa encosta da Serra do mar no litoral norte de São Paulo **Revista do Instituto Geológico**. v. 29 n. 1 São Paulo, 2008.

SUGIU, K., **Geologia Sedimentar**. Edgar Blucher, São Paulo, 395p., 2003

TANAJURA, E. L. X.; KRUEGER, C. P; GONÇALVES, R. M. Análise da acurácia dos métodos cinemáticos de posicionamento GPS em aplicações costeiras. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, p. 23-36, 2011.

TRESCA O, DOVER NP, COOK N, MAHARJAN C, POLYANSKIY MN, NAJMUDIN Z, SHKOLNIKOV P, POGORELSKY IET AL., Spectral Modification of Shock Accelerated Ions Using a Hydrodynamically Shaped Gas Target, **PHYSICAL REVIEW LETTERS**, v.115, 2015.