



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE  
AMBIENTAL DA COSTA OESTE DA  
REGIÃO DO SALGADO PARAENSE**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentada por:**

**TATIANA CHAGAS PRATA**

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Aline Maria Meiguins de Lima (UFPA)**

**BELÉM – PARÁ**

**2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE  
AMBIENTAL DA COSTA OESTE DA  
REGIÃO DO SALGADO PARAENSE**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentada por:**

**TATIANA CHAGAS PRATA**

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Aline Maria Meiguins de Lima (UFPA)**

**BELÉM – PARÁ**

**2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

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

---

P912a Prata, Tatiana Chagas

Avaliação da vulnerabilidade ambiental da costa Oeste da região do Salgado Paraense / Tatiana Chagas Prata. — 2020. xii, 50 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Vulnerabilidade ambiental. 2. Geoprocessamento. 3. Meio ambiente. I. Título.

CDD 558.115

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Faculdade de Geologia**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE  
AMBIENTAL DA COSTA OESTE DA  
REGIÃO DO SALGADO PARAENSE**

Trabalho apresentada por:

**TATIANA CHAGAS PRATA**

Como requisito parcial à obtenção de Grau de Geólogo.

Data de aprovação: 29 / 01 / 2020

Banca examinadora:

Prof.ª Dr.ª Aline Maria Meiguins de Lima  
(Orientadora – UFPA)

Prof. Dr. Fabio Henrique Garcia Domingos  
(Membro – UFPA)

Msc. Marcos Ronielly da Silva Santos  
(Membro – UFPA)

Dedico este trabalho aos meus  
pais, por todo amor e atenção.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais, Helber e Leila por todo carinho, apoio, amor e atenção. Estou aqui por que tenho vocês ao meu lado.

Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (IG/UFGPA), instituição responsável pela minha formação acadêmica; A todos os professores, técnicos e monitores que tive na Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará (FAGEO/UFGPA), por todo o aprendizado durante as atividades de campo e laboratório; e a todos que de alguma forma fizeram parte da minha formação.

A minha orientadora, professora Dr<sup>a</sup>. Aline Maria Meiguins de Lima, a qual considero uma amiga, que me orienta das diversas formas possíveis desde meados do curso, obrigada pelo incentivo, atenção, ensinamentos e conversas.

A Clayton Alves, pelo apoio, pela compressão e por acreditar quando eu queria desistir. A todos meus amigos e a Isabela Lima pelo companheirismo no início dessa jornada.

Ao CNPq pela concessão de minha primeira bolsa de iniciação científica pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), e ao Programa de Educação Tutorial, em especial ao Grupo PET- Geologia e a Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rosemery da Silva Nascimento, pelas oportunidades valiosas que favoreceram meu crescimento profissional e pessoal.

## RESUMO

Objetivou-se, por meio do presente estudo, elaborar uma carta de vulnerabilidade ambiental da Zona Costeira oeste do Salgado Paraense considerando os processos costeiros naturais e os de influência antrópica que interferem no equilíbrio desta região. O crescente aumento de áreas desmatadas e a expansão da ocupação desordenada indicam a necessidade de estudos acerca das áreas mais vulneráveis a impactos ambientais potenciais, no auxílio ao planejamento regional. Utilizaram-se ferramentas de geoprocessamento para a análise do comportamento do terreno a partir da integração de diversas informações especializadas na forma de mapas e cartas temáticos (geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso e ocupação da terra), em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). A distribuição das diferentes classes de vulnerabilidade foi determinada a partir de modelamentos por álgebra de mapas, nos quais foram adotados a atribuição dos pesos relativos entre os temas para analisar quantitativamente o quanto cada variável influencia a susceptibilidade a um impacto ambiental, por meio da metodologia do Processo Analítico Hierárquico (AHP) e o cruzamento dos diferentes mapas e cartas temáticos por álgebra de mapas. Além da carta de vulnerabilidade ambiental, também foram elaboradas as cartas de cobertura vegetal, de uso e ocupação da terra e de geomorfologia, a fim de avaliar as características do terreno com maior e menor susceptibilidade às modificações. Por fim, os resultados obtidos demonstram que cerca de 28,5% da área corresponde a áreas de vulnerabilidade muito alta a alta. Estas classes estão associadas solos rasos, áreas de maior dissecação, declividade e principalmente, a ocupações e atividades antrópicas significativas, como a concentração de áreas urbanas e a extração de areia. Essas áreas acarretam a atenção prioritária visando à determinação de medidas adequadas para o desenvolvimento sustentável e a reestruturação dos ambientes da região, buscando minimizar e evitar os impactos ambientais a fim de reduzir perdas ambientais, sócias e econômicas.

Palavras-chave: Vulnerabilidade Ambiental. Geoprocessamento. Álgebra de mapas. Zona Costeira.

## ABSTRACT

The objective of the present study was to elaborate a chart of environmental vulnerability of the West Coastal Zone of Salgado Paraense considering the natural coastal processes and those of anthropic influence that interfere in the balance of this region. The growing increase in deforested areas and the expansion of disorderly occupation indicate the need for studies on the areas most vulnerable to potential environmental impacts, in order to assist regional planning. Geoprocessing tools were used to analyze the behavior of the terrain from the integration of various specialized information in the form of thematic maps (geology, geomorphology, pedology, vegetation and land use and occupation), in a Geographic Information System (GIS). The distribution of the different classes of vulnerability was determined from modeling by map algebra, in which the allocation of relative weights between themes was adopted to quantitatively analyze how much each variable influences susceptibility to an environmental impact, using the methodology of the Hierarchical Analytical Process (AHP) and the crossing of different maps and thematic maps by map algebra. In addition to the letter of environmental vulnerability, letters of vegetation cover, land use and occupation and geomorphology were also prepared in order to assess the characteristics of the land with greater and less susceptibility to changes. Finally, the results obtained show that about 28.5% of the area corresponds to very high to high vulnerability classes. These classes are associated with shallow soils, areas of greater dissection, declivity and mainly with significant human activities, such as the concentration of urban areas and the extraction of sand. These areas call for priority attention in order to determine appropriate measures for sustainable development and the restructuring of the region's environments, seeking to minimize and avoid environmental impacts in order to reduce environmental, social and economic losses.

Word-keys: Environmental Vulnerability. Geoprocessing. Map algebra. Coast zones

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora.....	5
Figura 2 - Associações tectônicas das plataformas do Pará e Bragantina e bacias associadas. Fonte: Vasquez, <i>et al.</i> (2008).....	6
Figura 3 - Mapa litoestratigrafico da Zona Costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora. ....	7
Figura 4 - Propostas de Rossetti e Góes (2004), Rossetti (2006) para a Sucessão ou Sistema Pirabas/Barreiras. Fonte: Adaptado de Vasquez, <i>et al.</i> (2008).....	9
Figura 5 - Mapa hipsométrico da Zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora.....	10
Figura 6 - Unidades Geomorfológicas do estado do Pará. Fonte: Elaborado pela autora .....	11
Figura 7 - Domínios Geomorfológicos do estado do Pará. Fonte: Dantas e Teixeira (2013)..	12
Figura 8 - Mapa pedológico da Zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora.....	14
Figura 9 - Fluxograma com as etapas metodológicas para a elaboração da carta de vulnerabilidade ambiental. Fonte: Elaborado pela autora .....	17
Figura 10 - Carta de uso e ocupação da terra dos municípios da zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora.....	28
Figura 11 - Área percentual das classes de uso e ocupação da terra zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora .....	29
Figura 12 - Área de extração de areia no município de São Caetano de Odivelas. Fonte: Autora.....	30
Figura 13 - Carta de vegetação dos municípios da zona costeira oeste do Salgado Paraense.	31
Figura 14 - Carta de geomorfologia da Zona Costeira Oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora. ....	34
Figura 15 - Imagem característica os canais de planície fluvio-marinha, Furo da Laura em Vigia-PA. Fonte: Autora.....	36
Figura 16 - Temas utilizados para compor a carta derivada reclassificados em função dos diferentes pesos/ classe de vulnerabilidade ambiental. Fonte: Elaborado pela autora .....	37
Figura 17 - Área (em % e km <sup>2</sup> ) das classes de vulnerabilidade ambiental da zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora.....	40

Figura 18 - Carta de vulnerabilidade ambiental da zona costeira oeste do Salgado Paraense.

Fonte: Elaborado pela autora ..... 41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Chave de interpretação para as classes de uso e ocupação da terra. ....	18
Tabela 1 ( <i>cont.</i> ) - Chave de interpretação para as classes de uso e ocupação da terra. ....	19
Tabela 2 - Chave de interpretação para as classes de vegetação. ....	19
Tabela 2 ( <i>cont.</i> ) - Chave de interpretação para as classes de vegetação.....	20
Tabela 3 - Características das imagens RapidEye utilizadas. ....	21
Tabela 4 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos litológicos da área. ....	23
Tabela 5 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos de solos. ....	23
Tabela 6 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos de vegetação. ....	23
Tabela 7 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos de geomorfologia. ....	24
Tabela 8 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos de uso e ocupação da terra. ....	24
Tabela 9 - Classes e Graus na determinação da vulnerabilidade utilizados no trabalho. ....	25
Tabela 10 - Exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP. Observa-se pela parte superior direita que todos os elementos-linha são mais dominantes do que os elementos coluna. Lê-se: A é 5 vezes mais dominante do que B e 6 vezes mais.....	26
Tabela 11 - Escala de comparação das variáveis. ....	26
Tabela 12 - Valores do Índice Randômico (IR) para matrizes de diferentes ordens n. ....	27
Tabela 13 - Matriz de comparação dos critérios para a análise da vulnerabilidade ambiental. ....	38
Tabela 14 - Matriz normalizada e determinação dos pesos para cada tema. ....	38

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 VULNERABILIDADE AMBIENTAL.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 <b>Objetivo geral</b> .....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 JUSTIFICATIVA.....	4
<b>2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	5
2.1 LOCALIZAÇÃO.....	5
2.2 GEOLOGIA.....	6
2.3 GEOMORFOLOGIA REGIONAL.....	10
2.4 PEDOLOGIA.....	13
2.5 CLIMA.....	15
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	17
3.1 CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E DE VEGETAÇÃO.....	17
3.2 CARTA DE GEOMORFOLOGIA.....	20
3.3 TRABALHO DE CAMPO.....	22
3.4 CARTA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL.....	22
3.4.1 <b>Processo Analítico Hierárquico (AHP)</b> .....	25
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	27
4.1 CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	27
4.2 CARTA DE VEGETAÇÃO.....	30
4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	33
4.3.1 <b>Unidade Geomorfológica Tabuleiros Paraenses</b> .....	35
4.3.2 <b>Unidade Geomorfológica Litoral de Mangues e Rias</b> .....	35
4.4 CARTA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL.....	37

<b>4.4.1</b>	<b>Ponderação de pesos entre os mapas temáticos a partir da técnica AHP.....</b>	<b>38</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Análise das classes de vulnerabilidade ambiental .....</b>	<b>40</b>
<b>4.5</b>	<b>DIRETRIZES GEOAMBIENTAIS PARA PROTEÇÃO DA ZONA COSTEIRA DO SALGADO PARAENSE .....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A preservação dos ecossistemas costeiros é de extrema importância, tendo em vista o seu potencial ecológico e ambiental, assim como, o seu interesse para o desenvolvimento socioeconômico. Agressões antrópicas, como ocupação desordenada e uso indevido do solo, podem gerar modificações nos processos associados a estes sistemas. O estudo destes e suas variações, sejam por causas naturais ou por influência das ações antrópicas frente à ocupação das zonas costeiras, têm orientado as decisões necessárias e intervenções adequadas, visando à redução dos impactos ambientais e proteção dessas áreas.

No Estado do Pará cerca de 43% da população reside na zona costeira, ao longo do qual se alternam diversos ecossistemas importantes do ponto de vista ecológico (Boulhosa 2006). A planície costeira estudada encontra-se localizada no maior e mais bem preservado ambiente tropical do planeta, a Região Amazônica, mais especificamente ao longo da costa de manguezais do nordeste do Estado do Pará, que engloba os municípios Curuçá, São Caetano de Odivelas, Vigia e São João da Ponta, nos quais estão inseridos áreas de preservação ambiental que corresponde a Reservas Extrativistas (RESEX).

Os ambientes podem apresentar diferentes susceptibilidades às mudanças, tanto naturais quanto antrópicas. Determinar o grau desta susceptibilidade é determinar o quanto este ambiente é vulnerável a tais mudanças. A determinação das vulnerabilidades pode ser determinada por diversos índices, sendo adotado nesta pesquisa o índice de vulnerabilidade ambiental, que é obtido do cruzamento das unidades geoambientais: geologia, geomorfologia, vegetação, solo e uso e ocupação da terra. Este índice se refere à vulnerabilidade do meio ambiente em relação às mudanças antrópicas (Crepani *et al.* 2001, Grigio 2003).

A determinação da vulnerabilidade ambiental das zonas costeiras é de significativa importância, uma vez que, a análise da vulnerabilidade de uma região permite identificar e avaliar espacialmente áreas de maior susceptibilidade a mudanças, assim como reconhecer as causas das modificações, permitindo a determinação de medidas adequadas para o desenvolvimento sustentável e a reestruturação dos ambientes da região, buscando minimizar e evitar os impactos ambientais causados por atividades naturais ou antrópicas (Boori & Amaro 2011a, Oliveira 2017).

Além disso, a análise da vulnerabilidade ambiental fornece produtos para a elaboração do zoneamento ecológico-econômico (ZEE), regulamentado pelo decreto nº 4.297/2002, constitui um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, e tem como objetivo

viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a proteção ambiental.

### 1.1. VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Tagliani (2003) define o conceito de vulnerabilidade ambiental como a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um potencial impacto ocasionado por qualquer tipo de uso antrópico. Para Grigio (2003) a vulnerabilidade natural objetiva demonstrar a intensidade da susceptibilidade do ambiente – tendência de receber impressões, modificações ou adquirir qualidades diferentes da que já tinha – levando-se em consideração os fatores geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação; enquanto a vulnerabilidade ambiental refere-se à susceptibilidade do ambiente frente às pressões antrópicas.

Assim a vulnerabilidade natural considera as relações dos fatores físicos (condições geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de cobertura vegetal natural), e desconsidera uma influência do homem como condicionante das vulnerabilidades. A inserção de uma avaliação de uso e ocupação do solo no sistema atribui um peso considerável na ponderação das vulnerabilidades, indicando um processo de análise “ambiental” e não somente “natural” Oliveira (2011).

Ademais, Ross (1994) argumenta que se deve realizar um estudo integrado dos elementos componentes do estrato geográfico que dão suporte à vida animal e ao homem. Segundo o autor, esta análise integrada permite obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais, resultando na carta síntese de Fragilidade/Vulnerabilidade Ambiental. Sobre isso, o estudo da fragilidade ambiental parte do enfoque sobre a importância da dinâmica na natureza e das interações inerentes aos seus processos de resposta entre os elementos componentes do sistema.

Neste sentido, considerando os processos erosivos, o objetivo do mapeamento da fragilidade ambiental é representar o conhecimento do comportamento atual do terreno em relação às respostas aos processos erosivos, distinguindo as áreas onde os riscos de erosão são mais baixos, favorecendo então, determinados tipos de atividades; e também, aquelas áreas mais frágeis, ou seja, mais susceptíveis aos processos erosivos, onde são exigidas ações tecnicamente mais adequadas a essas condições (Spörl 2007).

Egler (1996) ao tratar do risco ambiental na zona costeira, ressalta que em nível local, a vulnerabilidade dos sistemas ambientais só pode ser minimizada por meio de uma participação efetiva da comunidade e dos órgãos públicos estaduais e, principalmente,

municipais na adoção de medidas que evitem o desmatamento indiscriminado de mangues e encostas, a obstrução dos canais fluviais e lagunares, bem como a adoção de medidas preventivas para evitar a ação erosiva do mar, principalmente em áreas urbana.

Nessa perspectiva, Spörl (2007) revela que os estudos relativos à fragilidade dos ambientes são de significativa importância para o planejamento ambiental, pois se trata de um instrumento cujo objetivo é identificar e analisar os ambientes em função de seus diferentes níveis de susceptibilidade, proporcionando assim, uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território.

No presente trabalho, os indicadores ambientais utilizados para a análise da vulnerabilidade estão de acordo com o proposto por Crepani, *et al.* (2001), Nascimento e Dominguez (2009) e Oliveira (2011). O primeiro autor apresenta uma proposta metodológica para a elaboração de mapas de vulnerabilidade natural à perda de solo com o objetivo de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia a partir da média aritmética simples de mapas temáticos do meio físico (mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, cobertura vegetal e intensidade pluviométrica), os quais são classificados de acordo com o grau de vulnerabilidade de cada unidade territorial baseada nos processos de morfogênese e pedogênese, esta metodologia foi desenvolvida com base no conceito de Ecodinâmica (Tricart 1977).

Nascimento e Dominguez (2009), realizaram um mapeamento da vulnerabilidade ambiental dos municípios de Belmonte e Canavieiras/BA a partir de integrações das características geológicas, de solos, declividade, uso da terra e vegetação, atribuindo, para cada feição valores de 1 (menos vulnerável) a 5 (mais vulnerável). A atribuição destes valores teve como critérios os estabelecidos por Crepani *et al.* (1996), Tagliani (2002), Nascimento & Dominguez (2005), entre outros.

Oliveira (2011) adaptou a metodologia de Crepani *et al.* (2001), inserindo, também, a variável antrópica “uso e cobertura da terra” e adotando “pesos” que indicavam a importância de cada tema para identificar as vulnerabilidades ambientais no litoral sul do Estado do Rio Grande do Norte. As classes de vulnerabilidade ambiental foram determinadas a partir de modelamentos por álgebra de mapas, de acordo com o grau de vulnerabilidade de cada unidade territorial nos processos de morfogênese e pedogênese.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo principal avaliar a vulnerabilidade ambiental da costa oeste do Salgado Paraense considerando os processos costeiros naturais e os de influência antrópica que interferem no planejamento da gestão costeira.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar o cenário geomorfológico de uma porção da costa oeste do Salgado Paraense;
- Elaborar carta de uso e ocupação da terra dos municípios que constituem a área de estudo;
- Elaborar a carta de vulnerabilidade ambiental considerando a pressão sobre as unidades de maior sensibilidade a influência antrópica.

## 1.3. JUSTIFICATIVA

O ambiente estuarino corresponde a um espaço geográfico, de interface entre o continente e o oceano. São ambientes de fundamental importância para o desenvolvimento socioeconômico, bem como na manutenção da biodiversidade da fauna e da flora. Trata-se de um ecossistema de alta complexidade e vulnerabilidade à influência do homem (Miranda *et al.* 2002).

As Zonas Costeiras vêm passando por um acelerado processo de uso e apropriação do solo cuja relação entre a sua forte instabilidade natural e a intensa ocupação não planejada tem transformando a sua dinâmica natural e criando espaço de vulnerabilidade ambiental (Silva 2013). Assim, os ambientes podem ser mais ou menos susceptíveis às mudanças, sejam elas naturais ou antrópicas. Quantificar o grau dessa susceptibilidade é determinar o quanto o ambiente é vulnerável a essas mudanças, e por meio dessa quantificação estabelecer medidas de reparo e proteção, fornecendo subsídios à gestão do território (Oliveira 2017).

Este trabalho justifica-se por contribuir para o entendimento da vulnerabilidade ambiental do oeste da região do Salgado Paraense, gerando produtos que podem auxiliar a gestão costeira integrada da região.

## 2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada na porção oeste da microrregião do Salgado Paraense, Região localizada no nordeste do Estado do Pará. A área compreende a Zona Costeira da região, com uma área de aproximadamente 1.716,6 km<sup>2</sup>, que engloba a porção territorial dos municípios de Curuçá, São Caetano de Odivelas, Vigia e São João da Ponta, em sua totalidade. Nesta área estão inseridas as Reservas Extrativistas (RESEX): Mãe Grande de Curuçá, São João da Ponta e Mocapajuba.

O limite geográfico compreende a latitude 0°46'26,231"S e 1°0'14,118"S, e longitude 47°51'13,162"W e 48°7'19,857"W. Como vias de acesso à área de estudo, as principais são as rodovias estaduais PA-140, PA-375, PA-136 e PA-318, assim como as estradas vicinais destes municípios (Figura 1).

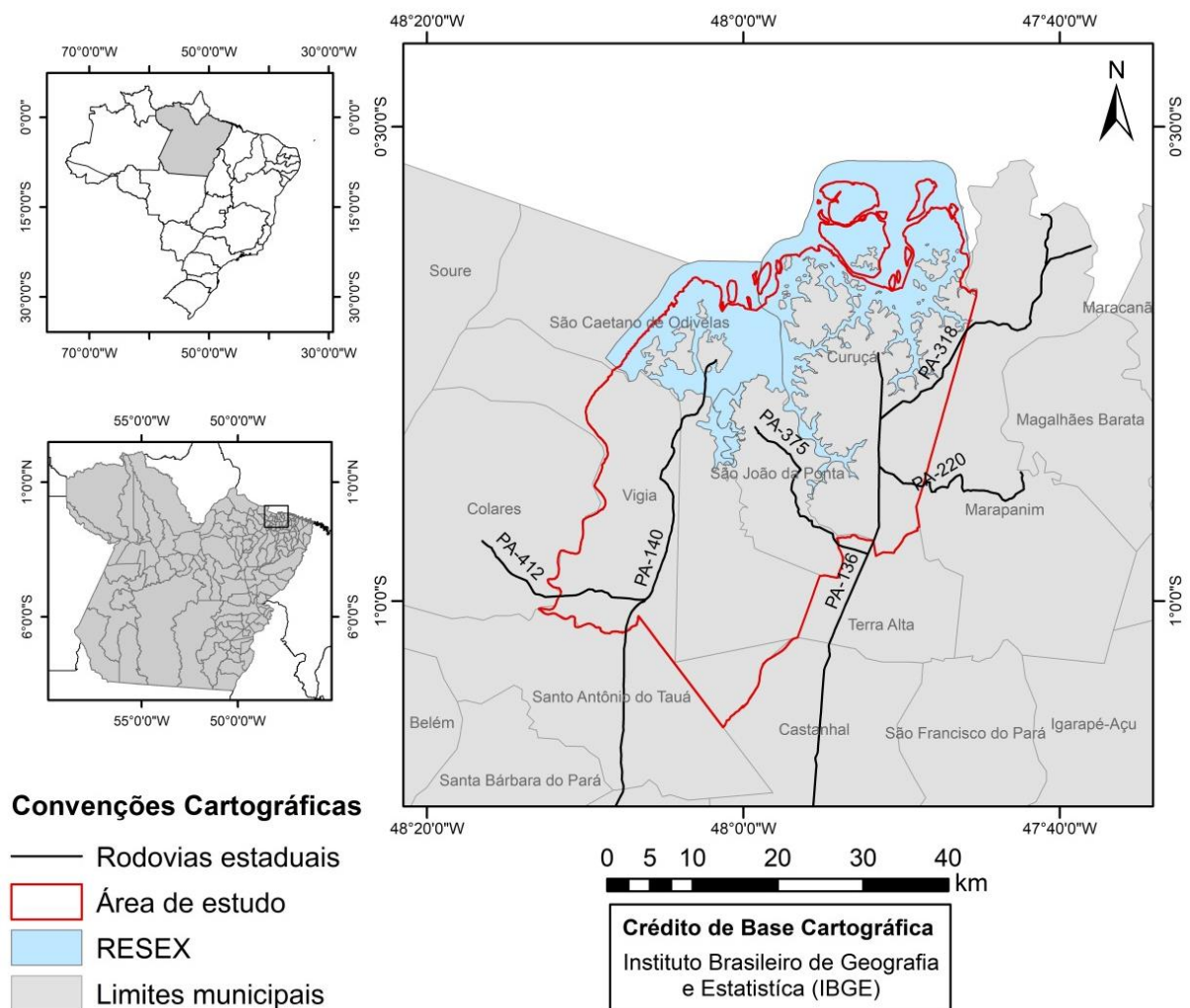


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pela autora

## 2.2. GEOLOGIA

A área de estudo está inserida no contexto tectônico das Plataformas do Pará e Bragantina, que são porções do embasamento que permaneceram tectonicamente estáveis (Rossetti 2006). Vasquez *et al.* (2008) sugeriram a existência de pequenas fossas na plataforma e identificaram uma depressão maior orientada segundo NNW-SSE, denominada Graben ou Fossa Vigia-Castanhal (Figura 2), a qual atravessa a Plataforma Bragantina e a Plataforma do Pará.

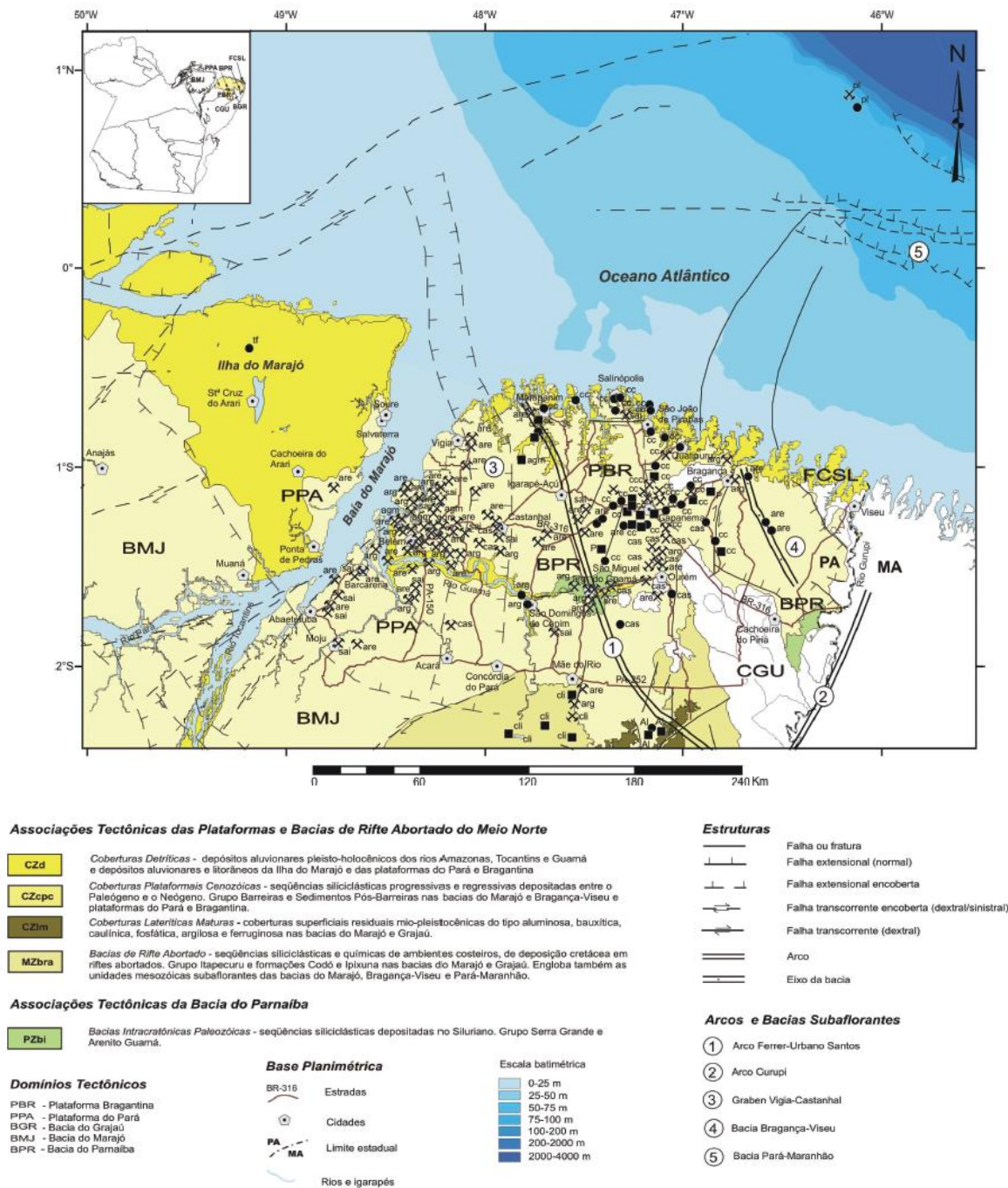


Figura 2 - Associações tectônicas das plataformas do Pará e Bragantina e bacias associadas. Fonte: Vasquez, *et al.* (2008).

O quadro geológico dos depósitos ocorrentes no nordeste do Estado do Pará é representado por depósitos oligo-miocênicos (Formação Pirabas e Grupo Barreiras) e quaternários (Pós-Barreiras e depósitos holocênicos) que recobrem a maior parte do NE do Estado do Pará (Figura 3). No entanto, segundo Araújo e Tancredi (2014) a Formação Pirabas, do Mioceno Inferior, não aflora na área.

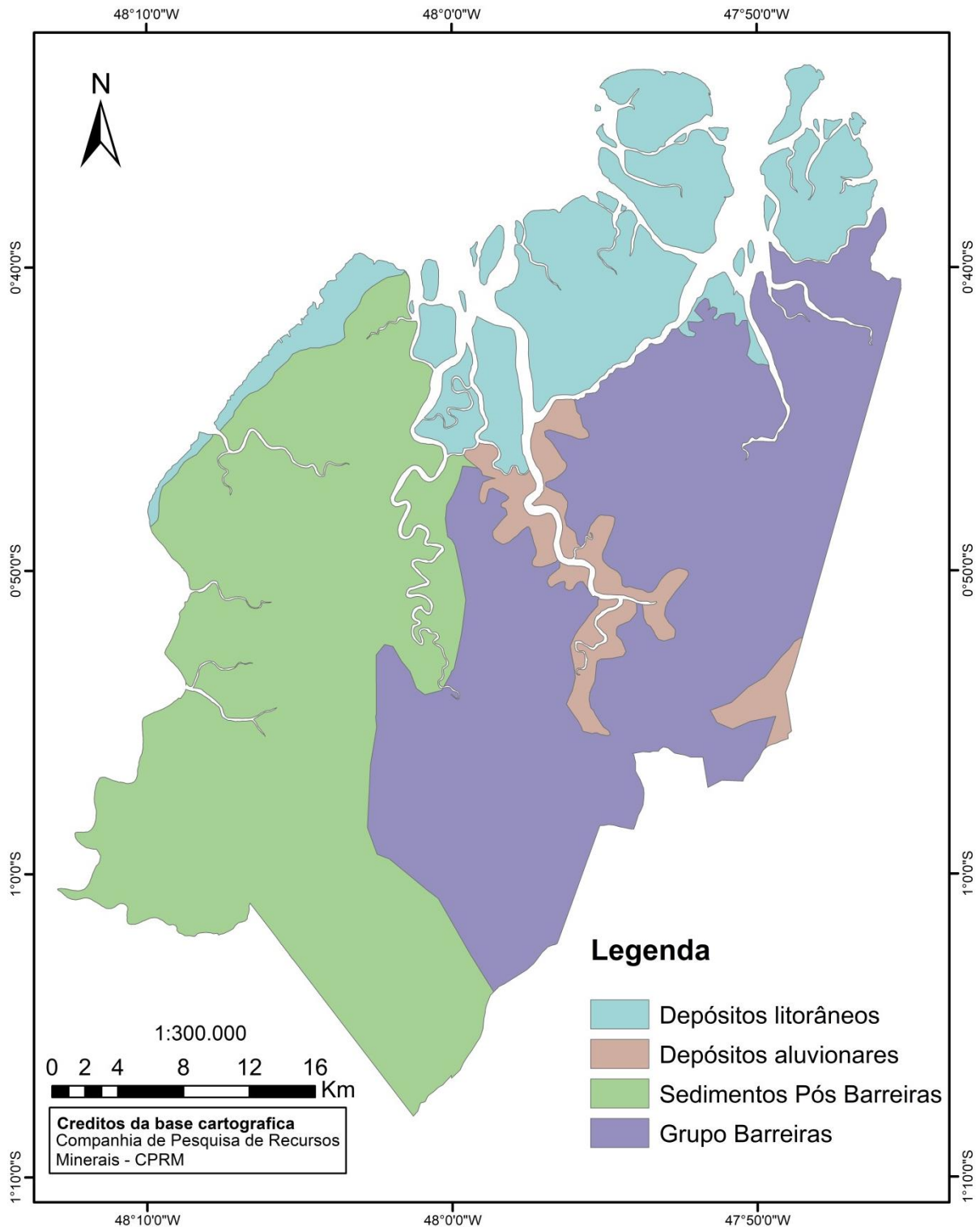


Figura 3 - Mapa litoestratigráfico da Zona Costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora.

Foi adotada a proposta de Rossetti e Góes (2004 *apud* Vasquez *et al.* 2008) e Rossetti (2006) para o Grupo Barreiras, na qual as formações Pirabas e Barreiras formam uma sucessão geneticamente relacionada, ligada ao desenvolvimento de uma mesma sequência deposicional, que resultou na gradação de estratos carbonáticos-siliciclásticos (Formação Pirabas/Barreiras Inferior) para totalmente siliciclásticos (Barreiras Médio/Superior).

Assim, o Grupo Barreiras é caracterizado por rochas carbonáticas e siliciclásticas, com ambientes deposicionais variando entre ambiente marinho transicional e plataformar durante o Meso a Neomioceno, aflora na área em profundidades que variam de 10 até 60 m (Rossetti 2006; Araújo e Tancredi 2014). As fácies carbonárias (Formação Pirabas) são formadas por biocalciritos, biocalcarenitos, margas, calcilitos, brohermitos e folhelhos verdes e negros (Góes, *et al.* 1990), de variado conteúdoossilífero, incluem tipos de invertebrados, representados por equinodermas, gastrópodes, foraminíferos, ostracodes, bivalves, briozoários, algas e raras calcíferas (Rossetti 2006). A grande maioria das fácies carbonáticas e mista teve origem entre ambientes marinho transicional e plataformar, e seu arranjo evidencia uma superposição de fácies progressivamente mais costeiras (Rossetti 2006).

As fácies siliciclásticas (Formação Barreiras) são formadas por argilitos, arenitos quartzosos, depósitos heterolíticos e, menos comumente, conglomerados. Os argilitos são geralmente laminados, e podem conter restos vegetais e piritização; os arenitos em geral são estratificados, ambos registraram influência de maré. Já os conglomerados são sustentados por uma matriz areno-argilosa. Diferente da fácies carbonática, a fácies siliciclástica é carente em fósseis, mas bastante rica em icnofósseis, que se constituem em elementos auxiliares na caracterização paleoambiental. Essas fácies são atribuídas à depósitos vários ambientes litorâneos dominados por correntes de maré (Rossetti 2006).

Rossetti e Góes (2004 *apud* Vasquez, *et al.* 2008) e Rossetti (2006) admitem que a sedimentação do grupo ocorreu num sistemas de vales estuarinos encaixados em zonas de falhas, resultantes do conjunto de aspectos eustáticos e reativação tectônica. Adotam uma deposição das formações Pirabas/Barreiras Inferior (Neoligoceno ao Eomioceno), seguida de uma discordância (início do Mesomioceno) e posterior sedimentação da Formação Barreiras Média/Superior (Mesomioceno) (Figura 4).

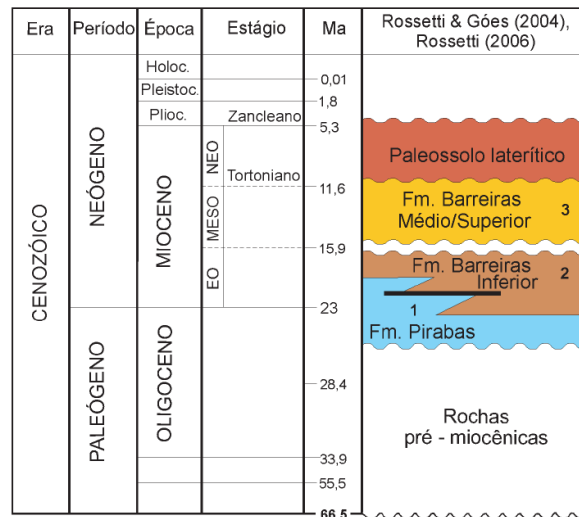


Figura 4 - Propostas de Rossetti e Góes (2004), Rossetti (2006) para a Sucessão ou Sistema Pirabas/Barreiras.  
Fonte: Adaptado de Vasquez, *et al.* (2008).

Os Sedimentos Pós-Barreiras recobrem discordantemente a sucessão Pirabas/Barreiras e horizontes de perfis das Coberturas Lateríticas Imaturas, são depósitos arenosos consolidados e semi-consolidados (Vasquez *et al.* 2008). São compostos por areias com granulometria fina a média, contendo alguma fração argila, além de clastos milimétricos de quartzo dispostos aleatoriamente (Farias *et al.* 1992 *apud* Vasquez, *et al.* 2008).

Para Rossetti (2004 *apud* Vasquez, *et al.* 2008), a deposição desses sedimentos ocorreu em dois episódios. No primeiro, depositou-se o Pós-Barreiras I, diretamente sobre a discordância erosiva do topo dos depósitos miocênicos. O qual está recoberto, em discordância erosiva, pelos depósitos Pós-Barreiras II. Segundo Tatumi *et al.* (2007), estima-se que os Sedimentos Pós-Barreiras depositou-se continuamente desde o final do Pleistoceno até o Holoceno médio a tardio.

Os depósitos recentes são marcados por Depósitos Aluvionares, sedimentos clásticos inconsolidados relacionados às planícies aluvionares atuais dos principais cursos d'água, que constituem depósitos de canais e de planícies de inundação, constituídos por sedimentos arenosos a argilosos, com níveis de cascalho e matéria orgânica, inconsolidados a semi-consolidados; e Depósitos Litorâneos, depósitos sedimentares de praias, dunas costeiras, manguezais e pântanos salinos, que constituem a planície costeira do Estado, estes depósitos são essencialmente arenosos quando associados a depósitos de praias e dunas, e predominantemente pelíticos, com grande contribuição de matéria orgânica, quando constituem os depósitos de manguezais e pântanos salinos (Vasquez *et al.* 2008).

### 2.3. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está inserida nas unidades geomorfológicas Litoral de Mangues e Rias e Tabuleiros Paraenses, conforme a classificação taxonômica do relevo do IBGE (2009). Com base em Dantas e Teixeira (2013), a variabilidade das feições geomorfológicas corresponde a um conjunto de feições deposicionais de origens fluvial, marinha e lacustre, e tabuleiros de baixa amplitude de relevo. A amplitude de relevo na área de estudo chega a 65 m (Figura 5).

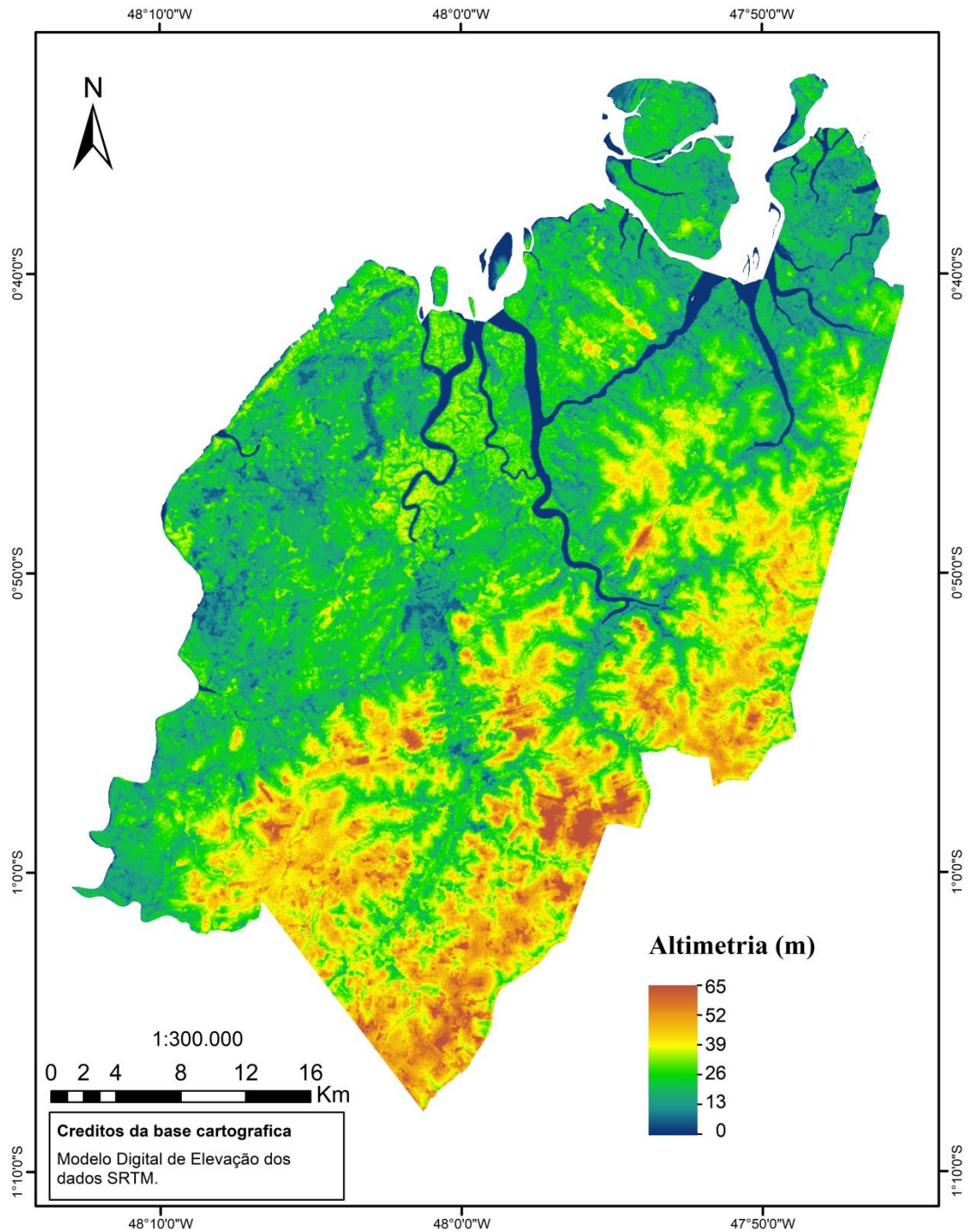


Figura 5 - Mapa hipsométrico da Zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo IBGE (2019) o Litoral de Mangues e Rias é formado por uma faixa de sedimentos holocênicos que acompanha a linha de costa, na direção geral NW-SE, envolvendo também uma série de ilhas, baías e canais; onde destacam-se (Figura 6):

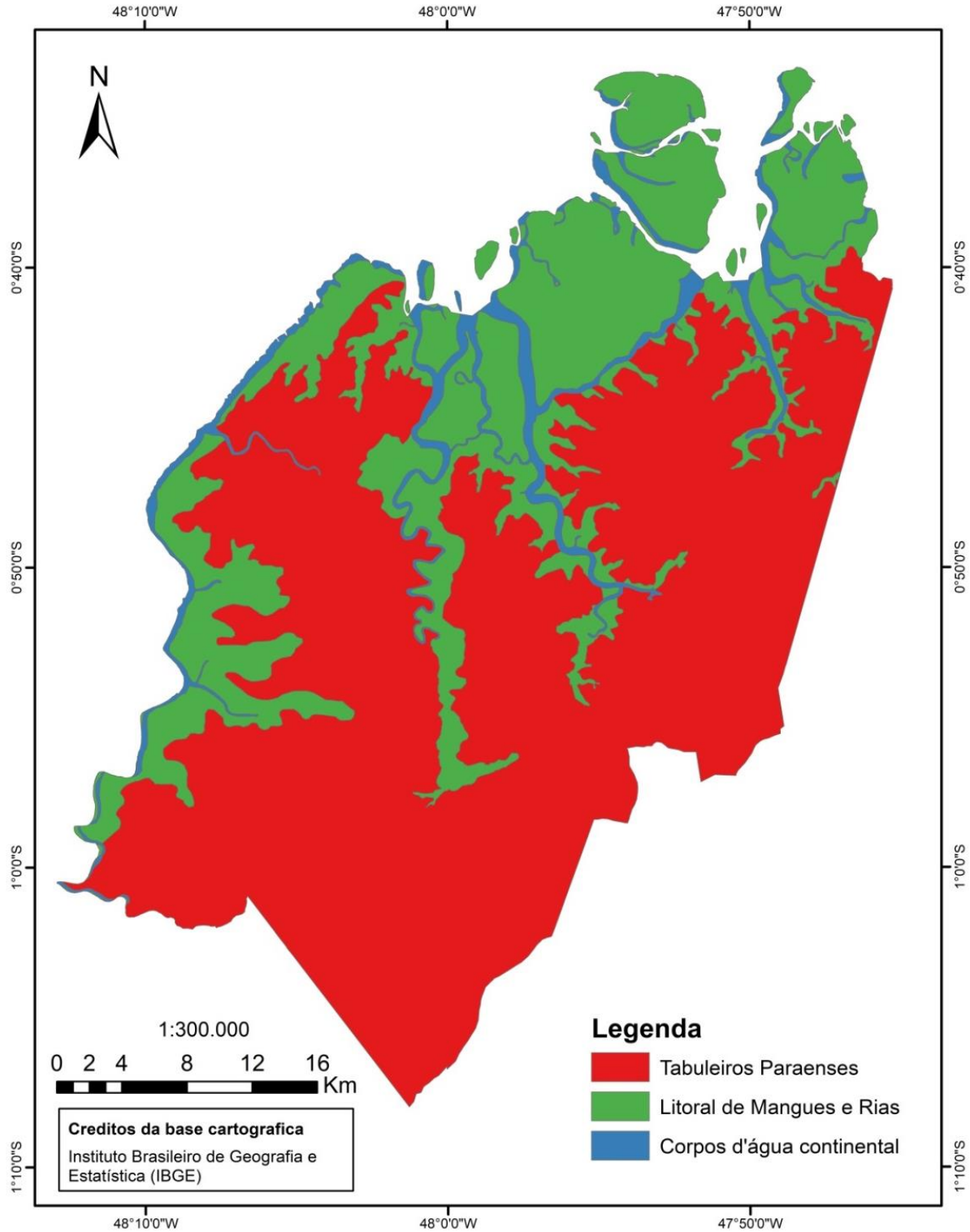


Figura 6 - Unidades Geomorfológicas do estado do Pará. Fonte: Elaborado pela autora

- (a) As planícies marinhas geralmente ocorrem nas extremidades dos setores das ilhas voltados para mar aberto; são caracterizadas por praias e restingas, compostas por material arenoso.
- (b) As planícies fluviomarinhas são constituídas por sedimentos vasosos e lamosos colonizados por vegetação de mangue.
- (c) Planos de terraços indicando oscilações do nível do mar, as quais resultaram em mudanças do nível de base da rede de drenagem, que geram fases de reentalhe dos vales e reesculturação dos modelados.

Os Tabuleiros Paraenses são constituídos por um relevo homogêneo, caracterizado por largas superfícies planas a suavemente dissecadas, com morfologia do tipo tabular (Figura 6). Apresenta áreas de superfície pediplanada, com planos retocados e modelados tabulares amplos. Os vales são muito rasos e largos, a sul ocorrem entalhes mais acentuados e vertentes mais abruptas com ravinas. Também há setores deprimidos com tendência a alagamentos. São esculpidos sobre os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras e solos tipo Latossolo Amarelo.

Já de acordo com Dantas e Teixeira (2013) a área corresponde a dois domínios geomorfológicos: A Planície Costeira do Nordeste do Pará e os Tabuleiros da Zona Bragantina (Figura 7).

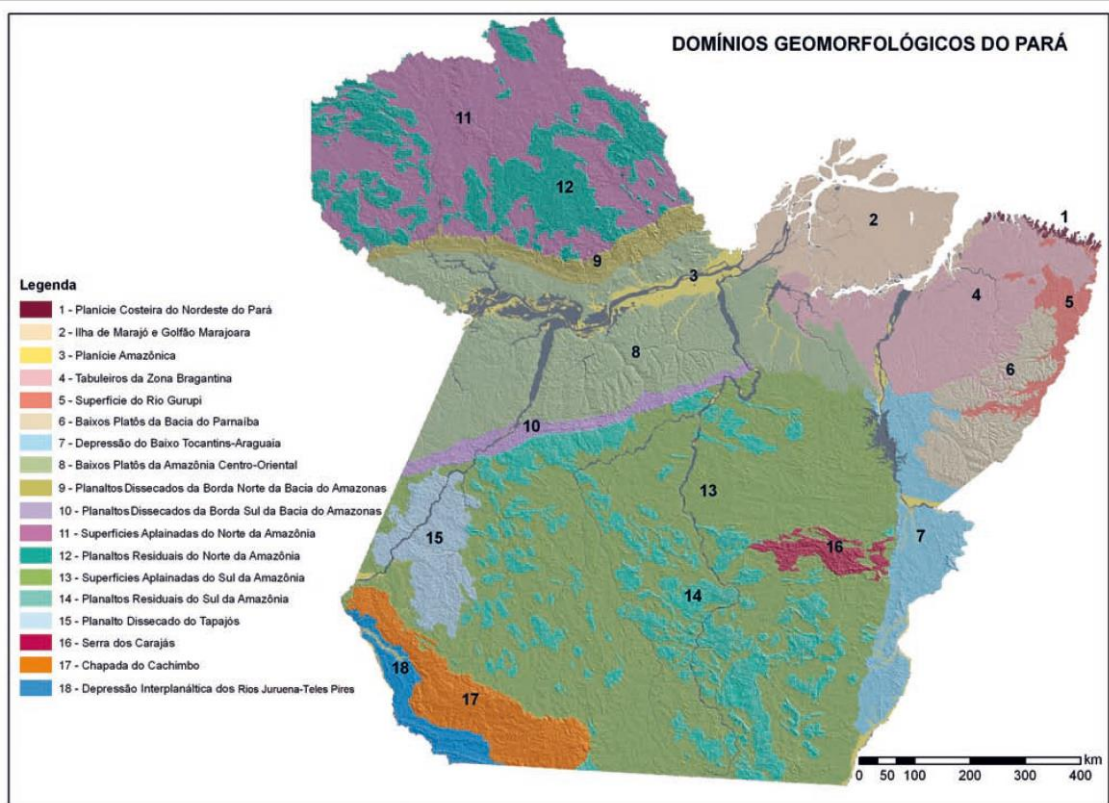


Figura 7 - Domínios Geomorfológicos do estado do Pará. Fonte: Dantas e Teixeira (2013).

A Planície Costeira do Nordeste do Pará está inserida entre a linha de costa e os tabuleiros costeiros embasados por rochas sedimentares terciárias (Grupo Barreiras e Formação Pirabas), geralmente delimitado por falésias. A unidade apresenta um conjunto de feições deposicionais de origens fluvial e marinha, dominada por ambiente de marés. Destaca-se, nesse contexto, um vasto domínio de terras baixas e inundáveis, com o recobrimento espraiado de formações pioneiras de interface entre os domínios continental e marinho, dominado por manguezais com o alinhamento da linha de costa que exhibe um conjunto de reentrâncias (“falsas rias”) (El-Robrini *et al.* 2006).

A região está sob a influência de grande variação de maré, da ordem de 5 a 6 m de oscilação diurna (Souza Filho e El-Robrini 1998), o que contribui para a elaboração de vastas zonas de deposição de sedimentos fluviomarinhas recobertos por mangues. Souza Filho e El-Robrini (1996 *apud* Dantas e Teixeira 2013), descrevem os seguintes ambientes nas planícies fluviomarinhas: planícies de intermaré, planícies salinas, estuários e planícies marinhas. França e Souza Filho (2006) caracterizaram os seguintes ambientes nas planícies aluviais, fluviolacustres e fluviomarinhas: Planícies marinhas, planícies fluviomarinhas, planícies de intermaré, coroas de lama e canais de maré.

Os Tabuleiros da Zona Bragantina consistem em uma extensa faixa de deposição do Grupo Barreiras ao longo da costa brasileira caracterizada por terras baixas, porém acima das cotas das cheias fluviais. O domínio é delimitado a oeste pelas planícies fluviais da baía do Guajará, e a norte é delimitado pela planície costeira paraense, por vezes, por falésias e paleofalésias. Esse domínio é representado por tabuleiros de baixa amplitude de relevo, a dissecação dessa área exhibe formas de relevo arredondadas – semelhantes a colinas amplas e suaves. Tal característica está relacionada ao ambiente deposicional de seu embasamento, formado pelo Grupo Barreiras e pelos sedimentos pós-Barreiras (frequentemente recoberta por cobertura detritico-laterítica), os quais foram gerados em ambiente marinho de plataforma rasa ou transicional.

#### 2.4. PEDOLOGIA

A carta de solos da área (Figura 8), gerado a partir da base vetorial do IBGE, mostra os diferentes tipos de solo de acordo com a nomenclatura e classificação de ordens proposta pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA 2018).

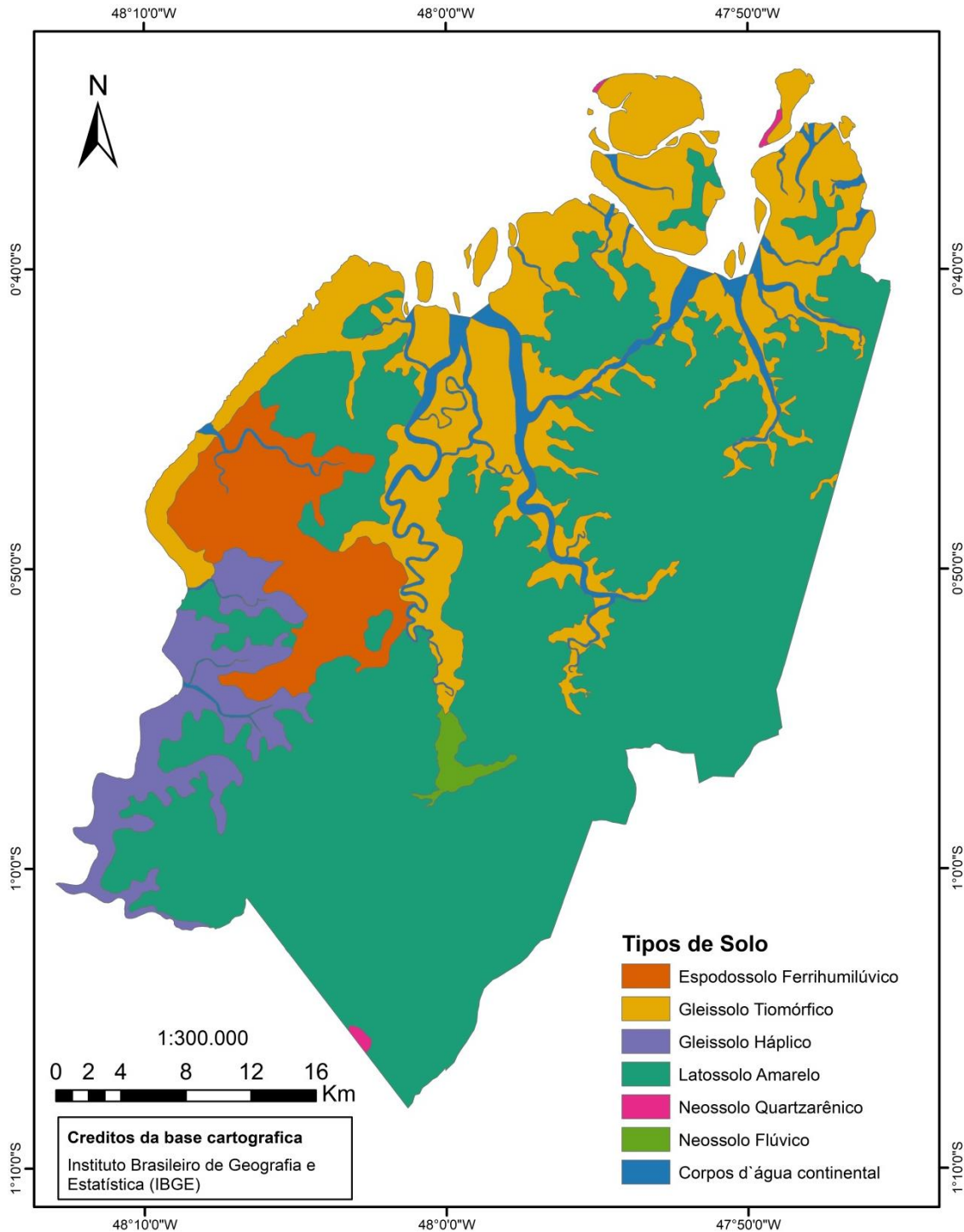


Figura 8 - Mapa pedológico da Zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta região, destaca-se o predomínio dos latossolos amarelos seguidas de gleissolo tiomórfico, espodossolo ferrihumilúvico, gleissolo háptico e em menor escala neossolo quartzarênico e neossolo flúvico (EMBRAPA 2018):

(a) Os latossolos amarelos em geral são solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, profundos e de boa drenagem, caracterizados por perfis homogêneos e em sua maioria de baixa fertilidade natural. São solos típicos regiões equatoriais e tropicais,

distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas.

(b) Os espodossolo ferrihumilúvico são solos de textura predominantemente arenosa, em geral são pobres em fertilidade, no entanto podem ocorrer altos teores de alumínio extraível. Ocorrem em relevo plano, suave ondulado, áreas de surgente, abaciamentos e depressões, regiões costeiras, em geral, estão associados à vegetação genericamente denominada de Restinga.

(c) Os gleissolos apresentam um sistema de drenagem restrito, são característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento. São solos formados principalmente a partir de sedimentos, estratificados ou não, e sujeitos a constante ou periódico excesso d'água. Comumente, desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões.

(d) Os neossolos são mais recentes e, comumente, possuem profundidades pouco expressivas quando comparados aos latossolos e espodossolos. São solos constituídos por material mineral ou por material orgânico que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos. O neossolo flúvico derivados de sedimentos aluviais argilosos, e os neossolos quartzarênicos são essencialmente quartzosos, tendo 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e praticamente ausência de minerais primários menos resistentes ao intemperismo.

## 2.5. CLIMA

O litoral do nordeste do Pará exibe um clima do tipo *Awa* isto é, um clima muito úmido, megatérmico, com deficiência de água moderadas nos períodos de julho a dezembro; onde a temperatura apresenta uma pequena variação anual, com média de 27°C, sendo, os valores mais elevados, observados nos meses de agosto a outubro, com valor máximo de 42°C; a pluviosidade é elevada, a média anual gira em torno de 2.500 mm/ano, há a existência de duas épocas distintas, uma chuvosa (dezembro a junho), e outra seca (julho a dezembro); a umidade relativa do ar apresenta-se sempre elevada durante todo o ano, variando entre 86 e 91%; e ventos alísios (velocidade máxima de 6,56 m/s, mínima de 5,03 m/s, e média de 5,92 m/s, nos períodos chuvosos os ventos podem atingir velocidades de até 7,9 m/s) possuem uma

direção preferencial NE, com variações para N e E, sendo os responsáveis pela formação de ondas, que retrabalham a costa, já que erodem e transportam os sedimentos nas diversas zonas das praias (El-Robrini, *et al.* 2006).

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordados os procedimentos metodológicos adotados para a caracterização das unidades de uso e ocupação da terra, vegetação, geomorfologia, assim como as classes de vulnerabilidade ambiental. O fluxograma da Figura 9 exemplifica as etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Figura 9 - Fluxograma com as etapas metodológicas para a elaboração da carta de vulnerabilidade ambiental.  
Fonte: Elaborado pela autora

Foi realizada o reconhecimento em campo da área de estudo, identificando (e georreferenciando) as principais formas de uso e cobertura da terra presentes, assim como validando as informações geradas pela cartografia elaborada, principalmente no relativo as formas de relevo e algumas informações sobre essa dinâmica. Este ocorreu durante no mês de dezembro, quando a maior parte dos cursos d'água interiores estavam com sua menor área alagada, possibilitando assim identificar a ocorrência de feições erosivas e deposicionais.

#### 3.1. CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E DE VEGETAÇÃO

Ambas as cartas se baseiam nos procedimentos metodológicos que utilizam imagens do satélite GeoEye, obtidas no aplicativo Google Earth. Na captura das imagens utilizou-se o próprio aplicativo Google Earth Pro, com a formação de mosaicos, que foram a posterior georreferenciados, por meio da utilização de um arquivo vetorial como referência espacial. As imagens obtidas para esse estudo foram adquiridas pelo satélite GeoEye em 06 de novembro de 2018, as quais, em função de seu grau de detalhamento permite aquisição de dados numa escala de aproximadamente 1:20.000, sendo os dados apresentados em uma escala de 1:300.000.



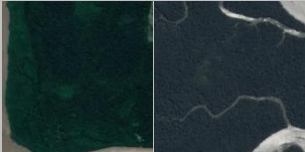

A classificação de cada categoria ocorreu a partir da identificação das unidades de paisagem presentes, que foram vetorizadas, sendo que cada polígono passou a representar um fragmento de tipo de cobertura e uso da terra ou de vegetação. A classificação foi auxiliada pela criação de uma Chave de Interpretação para cada tema (Tabela 1 e 2) na qual categoriza características como cor, textura, arranjo e forma, permitindo assim a identificação de cada classe (IBGE 2013).

A interpretação dessas categorias para a carta de uso e cobertura da terra utilizou como base metodológica a orientação do Manual Técnico de Uso das Terras do IBGE (2013); e para a carta de vegetação foi utilizado Manual Técnico Vegetação Brasileira do IBGE (2012) como base metodológica para a interpretação.

Tabela 1 - Chave de interpretação para as classes de uso e ocupação da terra.

<b>Classes</b>	<b>Imagem</b>	<b>Descrição</b>
<b>Área antrópica agrícola</b>		Coloração verde claro e por vezes marrom, com textura variando de lisa a rugosa, e formas regulares, geralmente retangulares.
<b>Solo exposto</b>		Cor predominante branca, de textura rugosa e forma irregular.
<b>Terra úmida</b>		Cor variando de marrom, preto e verde claro, com textura predominante lisa
<b>Cidade</b>		Cor predominante marrom, de textura rugosa, com padrões retilíneos e formas regulares. Essas classes foram diferenciadas em cidade, vila e povoado de acordo com a base cartográfica disponibilizada por IBGE (2017).
<b>Vila</b>		
<b>Povoado</b>		
<b>Açude/lago</b>		As cores podem variar de preto, verde escuro a verde claro, apresentando textura lisa, podendo ter formar regulares ou irregulares.

Tabela 1 (cont.) - Chave de interpretação para as classes de uso e ocupação da terra.

<b>Classes</b>	<b>Imagem</b>	<b>Descrição</b>
<b>Rio</b>		Cor marrom claro ou cinza, com textura lisa e formas irregulares (curvilíneas).
<b>Área campestre</b>		Cor verde claro, com textura que varia de lisa a rugosa e formas irregulares.
<b>Área florestal</b>		Cor verde escuro, de textura rugosa, distribuída de forma homogênea, e formas irregulares, geralmente associadas aos rios.
<b>Vegetação secundária</b>		A cor é verde escuro, podendo variar à verde claro, apresenta textura rugosa, no entanto não é homogênea, apresentando áreas de textura lisa, de forma predominante regular.
<b>Reserva extrativista</b>	-	Esta unidade foi definida a partir da base cartográfica disponibilizada por IBGE 2017

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 2 - Chave de interpretação para as classes de vegetação.







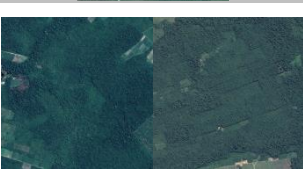
<b>Classes</b>	<b>Imagens</b>	<b>Descrição</b>
<b>Floresta Ombrófila Densa Aluvial</b>		Cor verde escuro, de textura rugosa, distribuída de forma homogênea, e formas irregulares.
<b>Formação Pioneira com Influência Fluviomarinha Herbácea</b>		Verde escuro a verde bandeira, com uma textura predominante lisa e heterógena, apresenta formas irregulares.
<b>Formação Pioneira com Influência Marinha Arbustiva</b>		Cor marrom e verde oliva, de textura rugosa fraca, cuja forma acompanha o terreno (dunas), paralelas a linha de costa.

Tabela 2 (cont.) - Chave de interpretação para as classes de vegetação.

<b>Classes</b>	<b>Imagens</b>	<b>Descrição</b>
<b>Formação Pioneira com Influência Fluviomarinha Arbórea</b>		Cor verde escuro e pontos de tonalidade cinza, apresenta textura rugosa e heterogênea de formas irregulares, geralmente associadas aos rios.
<b>Formação Pioneira com Influência Fluvial Herbácea</b>		Cor marrom e verde com textura que varia de lisa a rugosa, com formas irregulares.
<b>Área antrópica agrícola</b>		Coloração verde claro e por vezes marrom, com textura variando de lisa a rugosa, e formas regulares, geralmente retangulares.
<b>Vegetação secundária</b>		A cor é verde escuro, podendo variar à verde claro, apresenta textura rugosa, no entanto não é homogênea, apresentando áreas de textura lisa, de forma predominante regular.

Fonte: Elaborado pela autora

### 3.2. CARTA DE GEOMORFOLOGIA

A carta geomorfologia foi gerada a partir da interpretação e reconhecimento visual das imagens RapidEye, assim como, a partir dos dados de elevação das imagens SRTM. As imagens RapidEye foram adquiridas no site do Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente mediante a assinatura de acordos de cooperação técnica. Foram importadas 9 imagens, com um nível de processamento 3A, o que corresponde às imagens ortorretificadas, no caso do Brasil, por meio de modelos digitais de elevação de 90 metros ou 30 metros, quando este último é disponível, e recortadas em tiles de 25 km x 25 km. As demais características dessas imagens estão na Tabela 3.

Buscou-se imagens com menor cobertura de nuvens, que é um problema recorrente nesta região, por isto o período amostral variando de 2012 a 2015.

Tabela 3 - Características das imagens RapidEye utilizadas.

Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral (nm)	Resolução espacial(m)	Cenas	Data de aquisição
RapidEye/ REIS	Azul Verde Vermelho <i>Red-Edge</i> Infrav. Prox.	440 – 510 520 – 590 630 – 690 690 – 730 760 – 880	5 m para ortoimagens	2238528	22/08/2015
				2238627	
				2238628	
				2238728	
				2338601	
				2338701	
				2338702	
				2338802	
2338801	03/08/2012				

Inicialmente foi feito o mosaico das imagens RapidEye e recorte de área de interesse. A composição colorida RGB das bandas utilizada foi 5, 4 e 3. Subsequentemente foi aplicado o realce nas bandas, através da manipulação dos histogramas de cada banda espectral, o que permitiu a melhora da qualidade visual da imagem, tornando mais fácil o discernimento dos aspectos presentes no terreno. O Modelo Digital de Elevação (MDE), produzido pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), foi adquirido no site da USGS (*United States Geological Survey*), com resolução espacial de 30 m. Com base no MDE gerado foram geradas imagens derivadas associadas ao realce de relevo sombreado e a carta de declividade<sup>1</sup>.

A partir desses produtos, as Unidades de Terreno foram compartimentadas a partir da delimitação de diferentes aspectos texturais das imagens SRTM por representar padrões de formas de relevo semelhantes entre si. As feições morfológicas de cada unidade foram descritas, de forma qualitativa, onde foram analisados os elementos que compõem o relevo (geometrias de topo, vertente e vale). Tendo o auxílio da classificação visual das imagens RapidEye, a partir da utilização de critérios como padrão, textura, cores, tons e arranjos espaciais das imagens. A classificação das Unidades de Terreno utilizou como base metodológica a orientação do Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009), compartimentando a área de estudo em polígonos que representam as diferentes unidades.

<sup>1</sup> Foram utilizados programas específicos para o processamento da base de informações, sendo estes o Arc Gis v. 10.5 e o Global Mapper 17.

### 3.3. TRABALHO DE CAMPO

Os dados sobre o uso e ocupação da terra, vegetação e geomorfologia, obtidos a partir da análise de imagens de satélite, e os dados sobre geologia e pedologia obtidos a partir de pesquisas cartográficas, permitiram o reconhecimento preliminar da área, o que norteou os trabalhos de campo.

A etapa de campo teve o objetivo de validar as diversas unidades previamente mapeadas para a averiguação e esclarecimento de dúvidas, a fim de melhorar a precisão das informações. Inicialmente foram selecionados pontos em laboratório com distintos padrões para verificação no campo. Essa etapa foi realizada no mês de dezembro de 2019, com o desenvolvimento de atividades como: reconhecimento geral do campo, demarcação de pontos de controle, descrição dos ambientes, identificação e constatação das unidades relacionadas ao mapeamento anterior.

### 3.4. CARTA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

A partir da avaliação de diferentes temas e características, foram selecionadas cinco cartas temáticas para a confecção da carta de vulnerabilidade ambiental da área, sendo os temas selecionados: geomorfologia, pedologia, geologia, vegetação, e uso e ocupação da terra. Primeiramente, os cinco documentos cartográficos foram postos no mesmo sistema de referências geográficas, em seguida, eles foram reamostrados para arquivos do tipo *raster*. E então, as imagens, individualmente, foram reclassificadas para uma escala de valores de 1 a 5, que representam as diferentes classes de vulnerabilidade para característica do meio. A escala segue a lógica de que quanto maior a vulnerabilidade, maior o valor na escala.

Para os temas de geologia, pedologia e vegetação os pesos atribuídos na escala foram adaptados da proposta de Crepani *et al.* (2001), com intervalo adaptado para 1 a 5. A caracterização da vulnerabilidade das litologias está relacionada ao grau de coesão de cada litologia, uma vez que nas rochas pouco coesas irão prevalecer os processos erosivos, esculpindo assim o relevo (morfogênese), enquanto nas mais coesas prevalecem os processos de intemperismo e formação dos solos (morfogênese). Como toda a área de estudo ocorre sobre rochas sedimentares relativamente recentes (do Plioceno ao Holoceno), os valores atribuídos a este tema são bastante homogêneos, sendo caracterizados de vulnerabilidades moderadas a muito altas.

A classificação do solo foi determinada pelo grau de maturidade do mesmo, no qual solos mais espessos, ou seja, bem desenvolvidos, apresentam maior estabilidade, enquanto solos jovens, portanto de menor espessura, apresentam a maior vulnerabilidade, dessa forma, quando prevalecem os processos modificadores de relevo, com predomínio de erosão. Quanto ao tema vegetação, o parâmetro utilizado é a densidade de cobertura vegetal, uma vez que este é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogenéticos, portanto altas densidades de cobertura são atribuídas valores de baixa vulnerabilidade, enquanto baixas densidades apresentam altos valores de vulnerabilidade. O valor de vulnerabilidade atribuído à vegetação secundária depende do tipo de floresta e do grau de cobertura do terreno, dessa maneira, para a área de estudo foi adotado uma vulnerabilidade moderada (3), já que o tipo de vegetação presente, Floresta Ombrófila Densa, é caracterizada por um grau de vulnerabilidade estável, no entanto a cobertura no terreno é baixa, o que caracteriza uma maior exposição do solo, aumentando assim a sua vulnerabilidade a erosão (Tabelas 4 a 6).

Tabela 4 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos litológicos da área.

<b>Litologia</b>	<b>Pesos</b>
Grupo Barreiras (arenitos, argilitos, e conglomerados)	3
Sedimentos Pós-Barreiras (areias argilosas, friáveis a semiconsolidadas)	4
Depósitos litorâneos (areia, argila, silte)	5
Depósitos aluvionares (areia, argila, cascalho, silte)	

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

Tabela 5 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos de solos.

<b>Classe do solo</b>	<b>Pesos</b>
Latossolo amarelo	1
Espodossolo Ferrihumilúvico	3
Plinossolo Pétrico, Gleissolo Tiomórfico, Gleissolo Háptico, Neossolos Flúvicos, Neossolos Quartzarênicos	5

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

Tabela 6 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos de vegetação.

<b>Vegetação</b>	<b>Pesos</b>
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	1
Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea	2
Vegetação Secundária	3
Formação Pioneira com influência marinha arbustiva Área antrópica agrícola	4
Formação Pioneira com influência fluviomarinha herbácea	5
Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre herbácea	

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

Para o tema geomorfologia, os pesos atribuídos estão de acordo com o proposto por Oliveira (2011). Os critérios utilizados para o tema são semelhantes aos usados anteriormente,

no qual baixos valores na escala correspondem a ambientes onde prevalece a pedogênese, ou seja, áreas estáveis, e altos valores correspondem a ambientes onde prevalece o processo de morfogênese. Dessa forma, modelados de dissecação apresentam valores de vulnerabilidade moderados a altos, que dependem da intensidade do grau da densidade de drenagem e do aprofundamento das incisões. Modelados de acumulação como as planícies e os terraços, de origem fluvial, marinha ou lacustre, atribuiu-se o valores baixos de vulnerabilidade, no entanto, altos valores de vulnerabilidade são atribuídos à planícies sujeitas à inundação e de intensa morfodinâmica costeira, nas quais os processos dinâmicos de morfogênese predominam sobre a pedogênese e portanto, apesar do relevo plano, são instáveis (Tabela 7).

Tabela 7 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos de geomorfologia.

<b>Geomorfologia</b>	<b>Pesos</b>
Dissecação Homogênea: topos tabulares	2
Planície Fluvial com lagos	3
Planície fluvial, Planície fluviomarinha	4
Dunas, Planície marinha, Dissecação Homogênea: vales abertos	5

Fonte: Adaptado de Oliveira (2011).

Para o tema uso e ocupação da terra os pesos atribuídos estão de acordo com o proposto por Nascimento e Domingues (2009). Para o estabelecimento dos valores atribuídos na escala de vulnerabilidade, levou-se em consideração o grau da remoção e modificação da cobertura vegetal, já que uma cobertura vegetal densa contribui para a desaceleração dos processos da morfogênese, dessa forma, a vegetação nativa inalterada recebeu valores de vulnerabilidade 1, enquanto áreas urbanas receberam valor igual a 5 (Tabela 8).

Tabela 8 - Classes de vulnerabilidade dos diferentes tipos de uso e ocupação da terra.

<b>Uso e ocupação da terra</b>	<b>Pesos</b>
Área florestal, Reserva Extrativista	1
Vegetação secundária, Área campestre	3
Área antrópica agrícola, Terra úmida	4
Solo Exposto, Cidade, Vila, Povoado, Açude/lago	5

Fonte: Adaptado de Nascimento e Domingues (2009).

Após a atribuição de valores na escala de vulnerabilidade de cada mapa temático, atribuíram-se pesos relativos entre os cinco temas analisados em função da sua maior ou menor relevância relativa de cada tema. A determinação desses pesos foi realizada a partir do método da análise hierárquica, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) de Saaty (1991), na qual as variáveis são comparadas a partir de valores atribuídos por tomada de decisão, em uma escala numérica de ponderação que varia de extremamente mais ou menos importante umas com relação a outras (Saaty 2008).

A carta de vulnerabilidade ambiental gerada a partir dos produtos elaborados, e a partir de cruzamento cartográfico, apresentou quatro classes: muito alta; alta; moderada e baixa. Na qual a classe “vulnerabilidade muito alta” representa uma unidade onde prevalecem os processos modificadores de relevo (morfogênese), ou seja, prevalecem os processos de erosão. Enquanto na classe “vulnerabilidade baixa” é considerada estável, ou seja, os processos que ocorrem na unidade favorecem a pedogênese em detrimento da erosão, sendo assim, nessas áreas ocorrem solos bem desenvolvidos e intemperizados (Tabela 9).

Tabela 9 - Classes e Graus na determinação da vulnerabilidade utilizados no trabalho.

<b>Classe de Vulnerabilidade</b>	<b>Graus de Vulnerabilidade</b>
Baixa	1,4 - 2
Moderada	2,1 - 3
Alta	3,1 - 4
Muito alta	4,1 - 5

Fonte: Elaborado pela autora

### **3.4.1. Processo Analítico Hierárquico (AHP)**

O Processo Analítico Hierárquico, ou *Analytic Hierarchy Process* (AHP) proposta por Saaty (1977), é um método multicritério que se mostrou eficiente na análise multicritério para trabalhos ambientais por meio das ferramentas de geoprocessamento (Rosa *et al.* 2008, Sena 2008, Silva Junior 2015). O método realiza uma comparação pareada para a atribuição de pesos relativos, conforme uma escala pré-definida pelo autor, entre diferentes critérios de acordo com o grau de importância relativa dos mesmos diante ao problema que está sendo analisado, assim como, permite ainda o julgamento da consistência dos valores atribuídos.

Segundo Silva (2007), a primeira etapa do processo é definir o problema e os seus respectivos critérios, seguida da construção da matriz pareada  $n \times n$  para a comparação das variáveis onde as linhas e colunas correspondem aos  $n$  critérios que serão avaliados para a análise de um determinado problema (Tabela 10). Como esta matriz é recíproca, apenas uma metade triangular necessita ser avaliada, pois a outra metade deriva desta, onde são atribuídos valores inversos aos anteriormente atribuídos, e a diagonal principal da matriz assume valores iguais a 1, pois atributos iguais na linha e na coluna terão igual importância. Os valores atribuídos aos critérios ( $n$ ), que preenchem a matriz, são definidos a partir de uma escala de comparação definida por Saaty (1977) (Tabela 11).

Tabela 10 - Exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP. Observa-se pela parte superior direita que todos os elementos-linha são mais dominantes do que os elementos coluna. Lê-se: A é 5 vezes mais dominante do que B e 6 vezes mais

Iluminação	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Fonte: Adaptados de Silva (2007).

Tabela 11 - Escala de comparação das variáveis.

Grau de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Fonte: Fonte: Saaty (1991).

A etapa seguinte diz respeito à obtenção dos pesos relativos de cada critério ( $w$ ). Para tal, cada elemento da matriz deve ser dividido pela soma da coluna a qual pertence, e em

seguida são calculadas as médias aritméticas de cada linha, a qual o resultado corresponde aos pesos relativos. O Índice de Consistência (IC) e o Índice Randômico (IR) avaliam o grau de precisão obtido, onde para se chegar a tais índices deve ser calculado o autovetor máximo ( $\lambda_{max}$ ), que é obtido pela multiplicação da matriz de julgamentos, ou de comparação de critérios, pela coluna dos pesos ( $w$ ), seguido, gerando um novo vetor,  $Aw$ . Este novo vetor ( $Aw$ ) deve se dividido pelo vetor  $w$ , chegando-se ao valor de  $\lambda_{max}$  (Equação 1).

$$\lambda_{max} = \frac{Aw}{w} \quad (1)$$

Onde:

$Aw$  = produto da multiplicação da matriz de comparação de critérios pelos pesos  $w$ ;  
 $w$  = pesos calculados.

Assim, o Índice de Consistência é dado por meio da relação entre o número de variáveis utilizadas para a formulação da matriz e o valor de ( $\lambda_{max}$ ) (Equação 2). Como regra geral, se o índice de consistência for menor do que 0.1, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Se for maior do que 0.1 recomenda-se que julgamentos sejam refeitos até que a consistência aumente.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Onde:

$n$  = número de critérios analisados;  
 $\lambda_{max}$  = autovalor máximo.

Por fim, obtém-se a Razão de Consistência (RC) (Equação 3), que considera o IC e o Índice Randômico (IR), que varia com o tamanho  $n$  da matriz e são valores pré-estabelecidos (Tabela 12). Assim, para a avaliação da eficácia do processo de tomada de decisão pelo método AHP, ressalta que quando o RC for menor que 0,1, infere-se que os julgamentos atribuídos na matriz de comparação par a par são considerados consistentes.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Tabela 12 - Valores do Índice Randômico (IR) para matrizes de diferentes ordens  $n$ .

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>IR</b>	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (1991).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

Foram diferenciadas doze classes de uso e ocupação da terra, sendo elas: Área antrópica agrícola, Solo exposto, Terra úmida, Cidade, Vila, Povoado, Açude/lago, Rio, Área campestre, Área florestal, Vegetação secundária e Reserva extrativista (Figura 10).

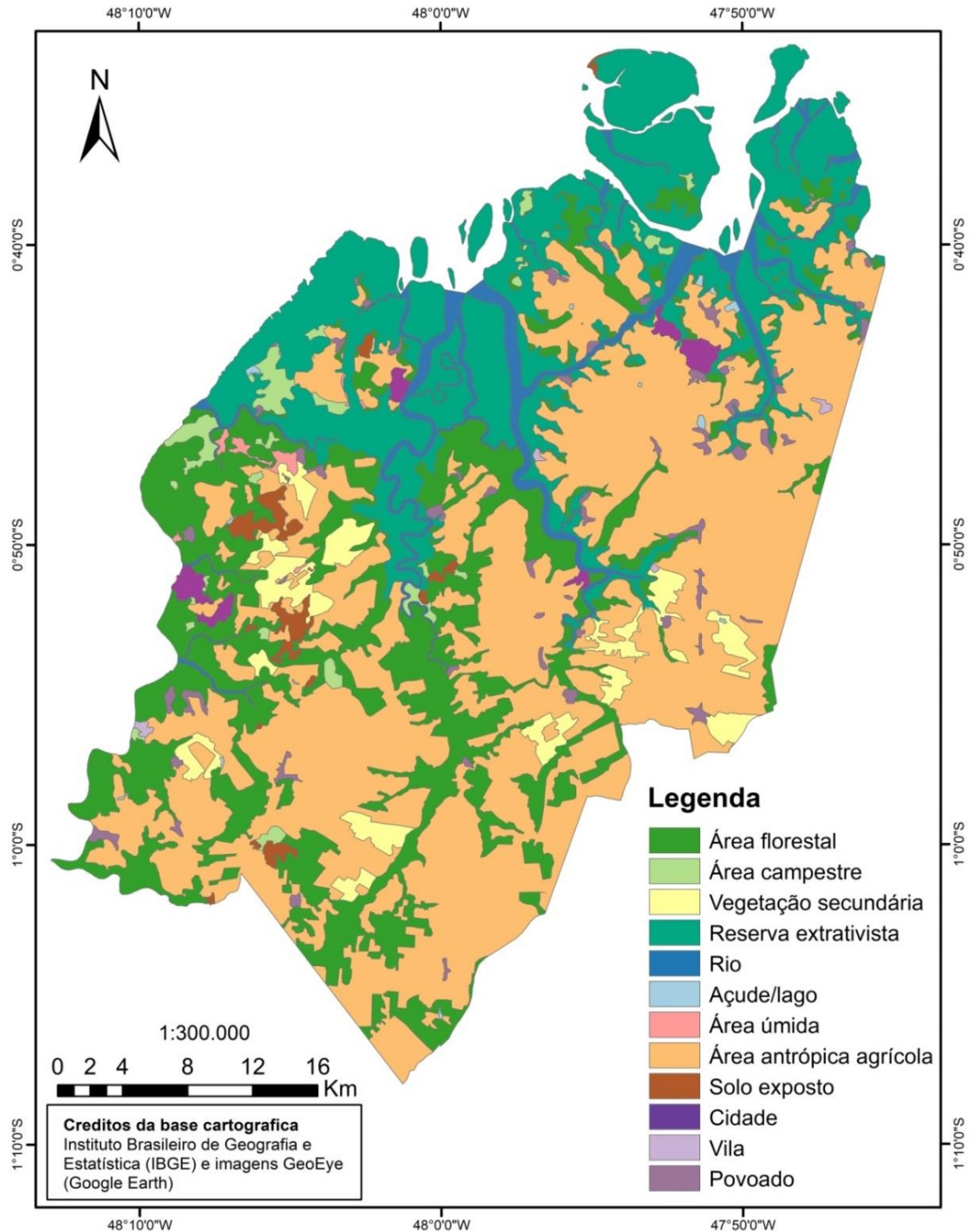


Figura 10 - Carta de uso e ocupação da terra dos municípios da zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com os resultados obtidos, a classe “área antrópica agrícola” é a mais expressiva, ocupando 45,8% da área (Figura 11). Esta classe considera áreas destinadas a

plantio agrícola, temporário, permanente, de subsistência ou intensivo, assim como, as áreas destinadas à pecuária. As classes que representam vegetação são formadas por “área florestal” ocupando 21,6%, “área campestre” 1,4% e “vegetação secundária” 3,5%. Estas incluem as formações pioneiras arbóreas, herbáceas e arbustivas, de influência marinha, fluvial ou fluviomarina, assim como a floresta ombrófila densa aluvial. A classe Reservas extrativistas (20,4%) representam a parte continental das RESEX Mãe Grande de Curuçá e São João da Ponta, e a RESEX Marinha Mocapajuba, nelas estão inclusas áreas de vegetação nativa, como os manguezais, assim como dunas, e praias.

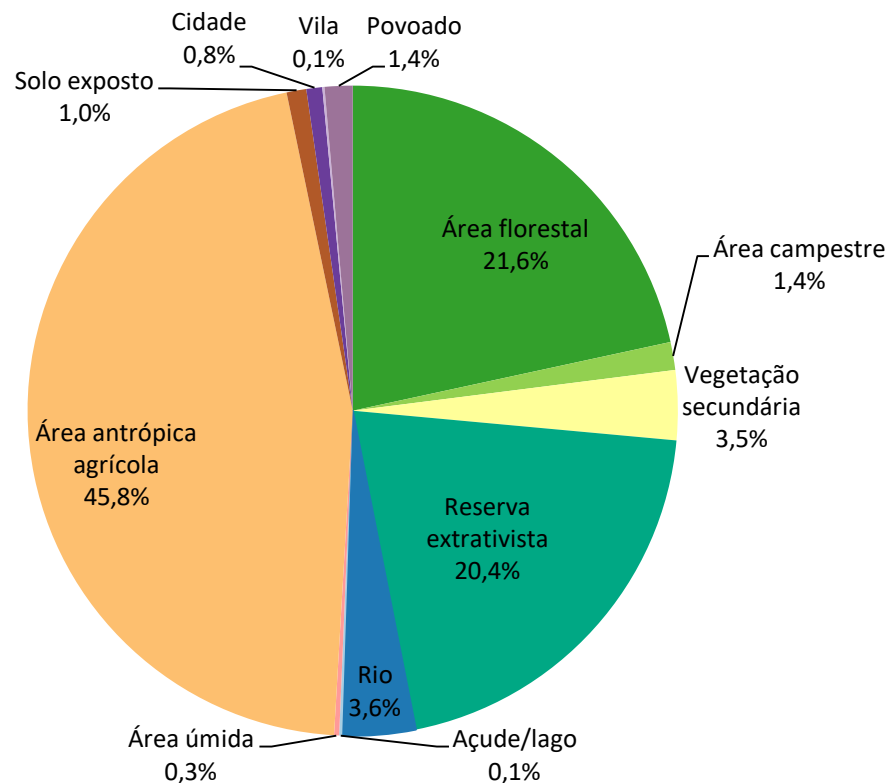


Figura 11 - Área percentual das classes de uso e ocupação da terra zona costeira oeste do Salgado Paraense.

Fonte: Elaborado pela autora

As classes “cidades”, “vilas” e “povoados”, constituem as áreas urbanizadas dos municípios, as quais geralmente se localizam próximas às margens dos rios, e constituem juntas, 2,3% da área. As águas continentais presentes são os rios (3,6%), de caráter meandrante, lagos e açudes (0,1%) por vezes relacionados à piscicultura. As demais classes são: “Solo exposto”, ocupando uma área de 1,0% – são relacionados a áreas de extração de areia (Figura 12), geralmente localizados na porção oeste da área de estudo, pontualmente, um polígono relacionado à classe solo exposto representa um aterro sanitário no município de Vigia - e a classe “área úmida” (0,3%) que está relacionada a elevações de apenas 3 metros acima do nível do mar, com presença água estagnada e vegetação herbácea.



Figura 12 - Área de extração de areia no município de São Caetano de Odivelas. Fonte: Autora

Os resultados obtidos são compatíveis com os trabalhos de Souza Filho e El-Robrini (1998), Lara (2003) e França e Souza Filho (2006) para a zona costeira paraense, estes salientam o efeito da erosão como intensificador dos processos de alteração da paisagem, sendo que a associação com as formas de uso da terra que favoreçam a perda de solo, principalmente pelas práticas de manejo inadequadas (Bertol e Almeida 2000, Corrêa *et al.* 2015), podem acarretar em uma ampliação do efeito destes processos erosivos, cuja consequência direta pode impactar as áreas sensíveis de manguezais presentes, que são a base de sustento das comunidades que vivem das atividades da RESEX.

#### 4.2. CARTA DE VEGETAÇÃO

A paisagem da zona costeira oeste do Salgado Paraense pode ser descrita como uma combinação de formações pioneiras, floresta ombrófila densa e áreas de intervenção antrópica. Foram descritas dez unidades, as quais cinco são naturais, duas apresentam vegetação com influencia antrópica e três são áreas de influência antrópica sem vegetação (Figura 13).

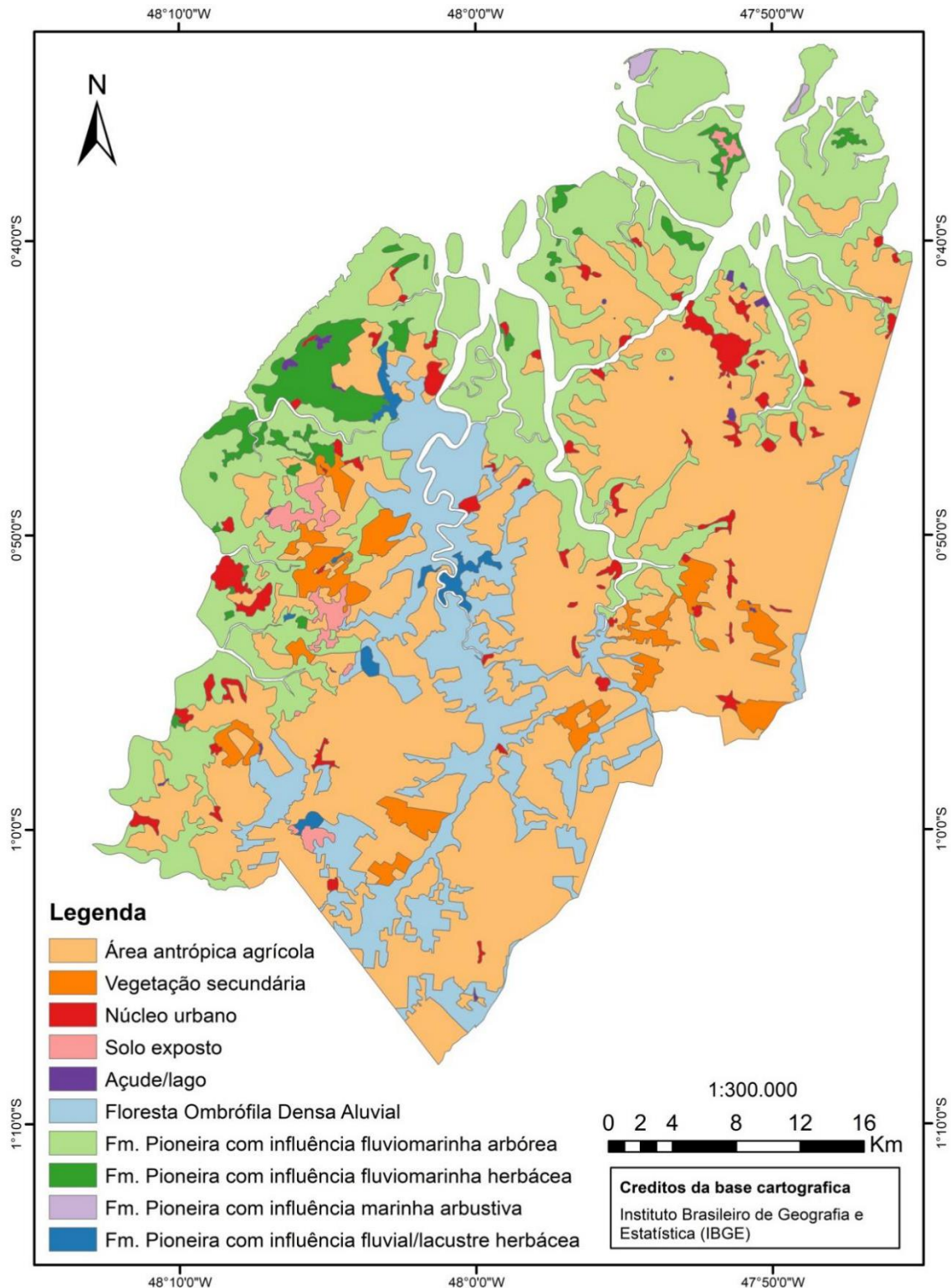


Figura 13 - Carta de vegetação dos municípios da zona costeira oeste do Salgado Paraense.

Fonte: Elaborado pela autora

A Floresta Ombrófila Densa Aluvial corresponde à formação ribeirinha, ocupa terrenos sedimentares das planícies recentes, ao longo dos cursos d'água (constituindo as matas de várzeas e igapó), o que constitui aproximadamente 12,49% da área. Segundo o

IBGE (2012, 2019), caracterizam-se pelo adensamento de árvores altas, e espécies de rápido crescimento são predominantes, apresentam casca lisa e com frequência, seus troncos apresentam estruturas reforçadas ou anomalias como raízes aéreas e sapopemas,

De acordo com IBGE (2012), ao longo do litoral e planícies fluviais, são frequentes as áreas cobertas por uma vegetação caracterizada por uma intensa sucessão, que ocorre em terrenos instáveis devido às seguidas deposições de areias marinhas nas praias e restingas, aluviões fluvio-marinhas nas embocaduras dos rios e os solos ribeirinhos aluviais e lacustres. Essas vegetações se consideram pertencentes ao “complexo vegetacional edáfico de primeira ocupação”, ou “Formações Pioneiras”.

A vegetação que constitui os manguezais ocorre na foz dos cursos de água, e locais de baixa energia, influenciados pelo fluxo das marés, onde o depósito de sedimentos médios e finos é favorecido (Schmidlin, *et al.* 2005). O substrato em que essa vegetação ocorre é salobro, portanto, desenvolvem-se uma vegetação especializada, adaptada à salinidade da água e solo. Na área de estudo são representadas pela Formação Pioneira com influência fluvio-marinha arbórea, compreende a aproximadamente 28% da área e é formada por espécies como *Rhizophora mangle L.*, *Avicennia sp.* e *Laguncularia racemos* (IBGE 2012). E pela Formação Pioneira com influência fluvio-marinha herbácea, ocupa cerca de 2,82% da área e é constituída por gramíneas do gênero *Spartina* e *Salicornia portulacoides* (Schmidlin, *et al.* 2005).

A Formação Pioneira com influência marinha arbustiva, também conhecida com restinga, recebem influência direta das águas do mar, ocorrem nas dunas e contribuem para sua fixação. Segundo o IBGE (2019) são dominadas por comunidades nanofanerofíticas.

A Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre herbácea ocupa uma pequena parcela da área, cerca de 0,65%, são comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas, ou das depressões alagáveis, são dominadas por comunidades campestres nos terrenos mais secos ou comunidades de herbáceas hidrófitas, nos terrenos pantanosos (IBGE 2012, 2019).

A vegetação com influência antrópica é definida pelas classes Área antrópica agrícola e pela Vegetação secundária. A classe Área antrópica agrícola corresponde tanto culturas cíclicas das permanentes, assim como à área destinada à pecuária, esta unidade é a mais expressiva da região, abrangendo diversos tipos de solo e unidades geomorfológicas, representando 48,57% da área de estudo. A vegetação secundária corresponde a áreas que surgem com o abandono da terra, após o uso pela agricultura, pecuária ou pelo reflorestamento (IBGE 2012), a qual ocupa na área cerca de 3,63% do terreno.

Os demais polígonos caracterizados nesta carta representam as áreas sem vegetação, as quais correspondem às unidades “núcleo urbano”, “solo exposto” e “açude/lago”, que juntas correspondem a 3,64% da área.

#### 4.3. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A área de estudo apresenta uma amplitude altimétrica de 65 m e uma declividade que varia de 0 a 32°, assim, na zona costeira estudada predominam relevo com superfície plana (0-3°), suavemente ondulada (3-8°), e ondulada (8-20°), e de forma restrita, superfícies de declive que chegam a 32°.

A área de estudo foi individualizada em sete conjuntos de feições (Figura 14) com base nos parâmetros de natureza estrutural, litológica e do padrão dos elementos que compõem o relevo. As unidades da zona costeira oeste do Salgado Paraense são representadas essencialmente por dois Domínios Morfoestruturais estabelecidos por (IBGE 2019). O Domínio Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas, que nesta área é representado pela Unidade Geomorfológica Tabuleiros Paraenses; e o Domínio Depósitos Sedimentares Quaternários, formado pela Unidade Geomorfológica Litoral de Mangues e Rias. Os resultados obtidos são compatíveis com os trabalhos de França e Souza Filho (2006), Boulhosa e Souza Filho (2008), Rodrigues e Souza Filho (2011) e EL Robrini e Mácola (2004) para a zona costeira paraense, os quais têm uma abordagem relacionada à compartimentação fisiográfica e morfológica das zonas costeiras. A seguir, as unidades serão descritas em função das diferentes unidades geomorfológicas a qual estão inseridas.

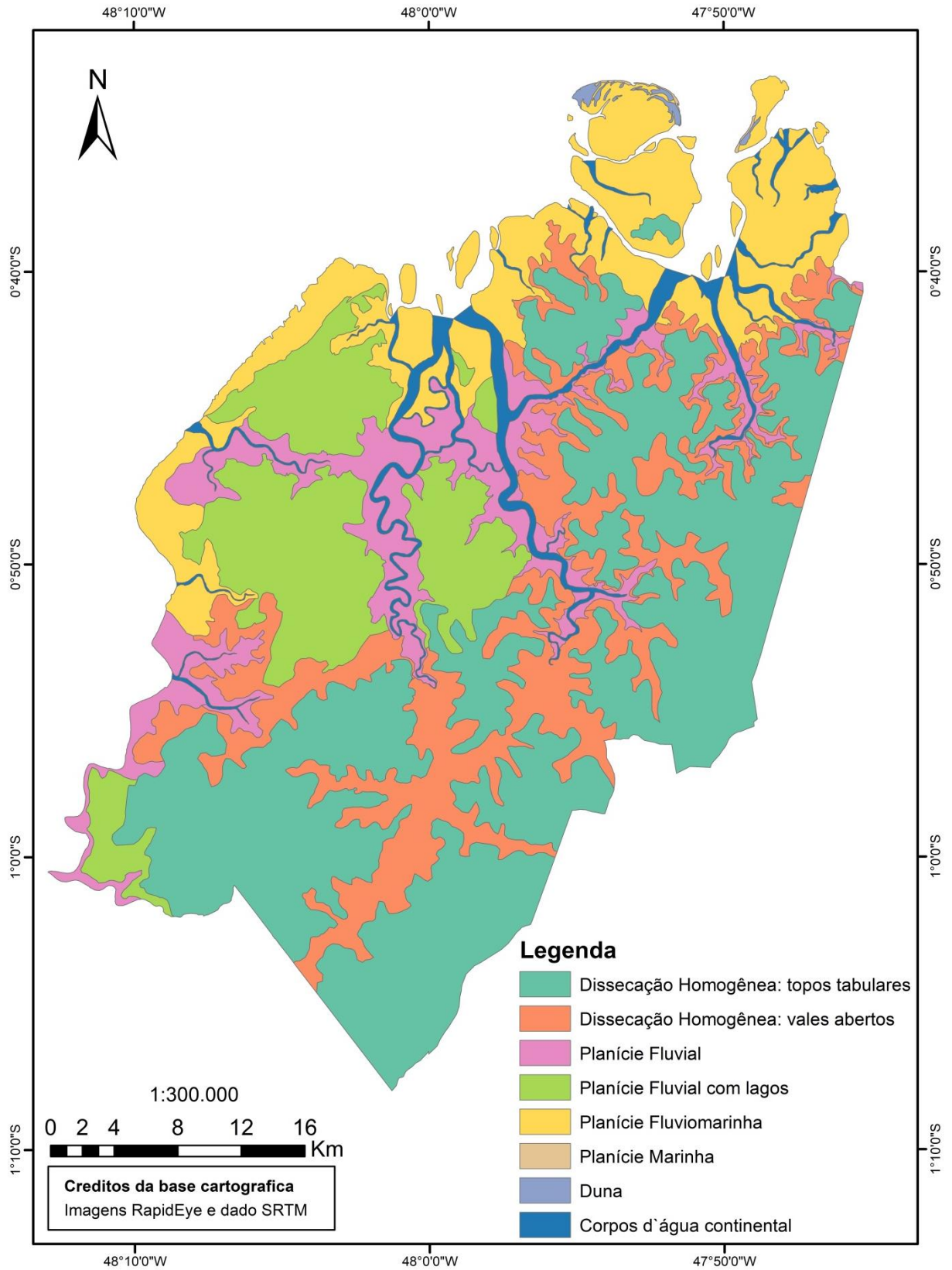


Figura 14 - Carta de geomorfologia da Zona Costeira Oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora.

#### **4.3.1. Unidade Geomorfológica Tabuleiros Paraenses**

A Unidade Geomorfológica Tabuleiros Paraenses compreende a aproximadamente 56% da área, e é assinalada por um relevo homogêneo, caracteriza-se por largas superfícies planas a suavemente dissecadas, com morfologia do tipo tabular com vales rasos e largos (IBGE 2019), está presente em uma faixa que vai da porção sul à porção leste da área de estudo. É associada à unidade de terreno “Dissecação Homogênea: topos tabulares” – formada por morros de topos arredondados e vertentes côncavas, a dissecação é caracterizada por baixa densidade de drenagem e pouco aprofundamento das incisões – e à unidade de terreno “Dissecação Homogênea: vales abertos”, o qual é caracterizado por um conjunto de vales abertos, formados por vertentes retilíneas e côncavas de baixa declividade, com maior aprofundamento das incisões próximo a nascente e com incisões mais suaves ao afastar-se desta.

Acha-se predominantemente esculpida sobre os sedimentos terciários areno-argilosos da Formação Barreiras, e apresentam-se frequentemente inumadas por coberturas de alteração lateríticas, predominando o latossolo amarelo, onde há cobertura sedimentares mais recentes, é marcante a ação química da ferruginização, de modo que ocorrem expressivas áreas de solos concrecionários ferruginosos (IBGE 2019).

#### **4.3.2. Unidade Geomorfológica Litoral de Mangues e Rias**

A Unidade Geomorfológica Litoral de Mangues e Rias (44%) é caracterizada por reentrâncias do tipo rias, formação de manguezais, praias, restingas, dunas e alguns trechos de falésias, a qual, também, envolve uma série de ilhas, baías e canais (IBGE 2019). Compreende a faixa de sedimentos holocênicos que acompanha a linha de costa, portanto se estende preferencialmente da porção norte à porção noroeste da área de estudo, é constituído por material arenoso de origem marinha nas praias e restingas, e por sedimentos típicos dos manguezais, ou seja, vadosos e lamosos, principalmente nas embocaduras dos rios (IBGE 2019).

É relativa aos modelados “Planície Fluviomarinha”, “Planície Fluvial”, “Planície Fluvial com lagos”, “Planície Marinha” e “Dunas”. A Planície Fluviomarinha corresponde a um relevo baixo e plano de declividade considerada nula, resultante do processo de deposição fluvial e marinha, ocorre geralmente próximo às desembocaduras dos rios, são constituídas por sedimentos lamosos ricos em matéria orgânica colonizados originalmente por vegetação de mangue, e em menor escala por uma vegetação herbácea secundária (Figura 15). A

Planície Fluvial é constituída por uma região plana correspondente à acumulação fluvial que ocorre no fundo dos vales. Segundo o IBGE (2019), os processos erosivos se combinam, simultaneamente, aos processos construtivos na definição dessas unidades.



Figura 15 - Imagem característica os canais de planície fluviomarinha, Furo da Laura em Vigia-PA. Fonte: Autora

A Planície Fluvial com lagos corresponde a um relevo moderadamente ondulado, em regiões de planície, com presença de morros testemunho com topos arredondados, além da presença de regiões com tendência a alagamentos, principalmente na região norte. Apresentando uma amplitude altimétrica de aproximadamente 28m.

A Planície Marinha corresponde às praias da região são constituídas por relevo plano, com altitudes inferiores a 5 m, ocorre nas margens dos manguezais em porções onde os processos costeiros são mais intensos. As dunas são caracterizadas por um relevo ondulado, de formas longitudinais paralelas à linha de costa, são compostas por sedimentos arenosos e são parcialmente cobertas por vegetação e segundo El-Robrini, *et al.* (2006) são transversais à direção principal do vento.

#### 4.4. CARTA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Os temas geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação da terra e vegetação foram utilizados para realizar a análise da vulnerabilidade ambiental da zona costeira oeste do Salgado Paraense (Figura 16).

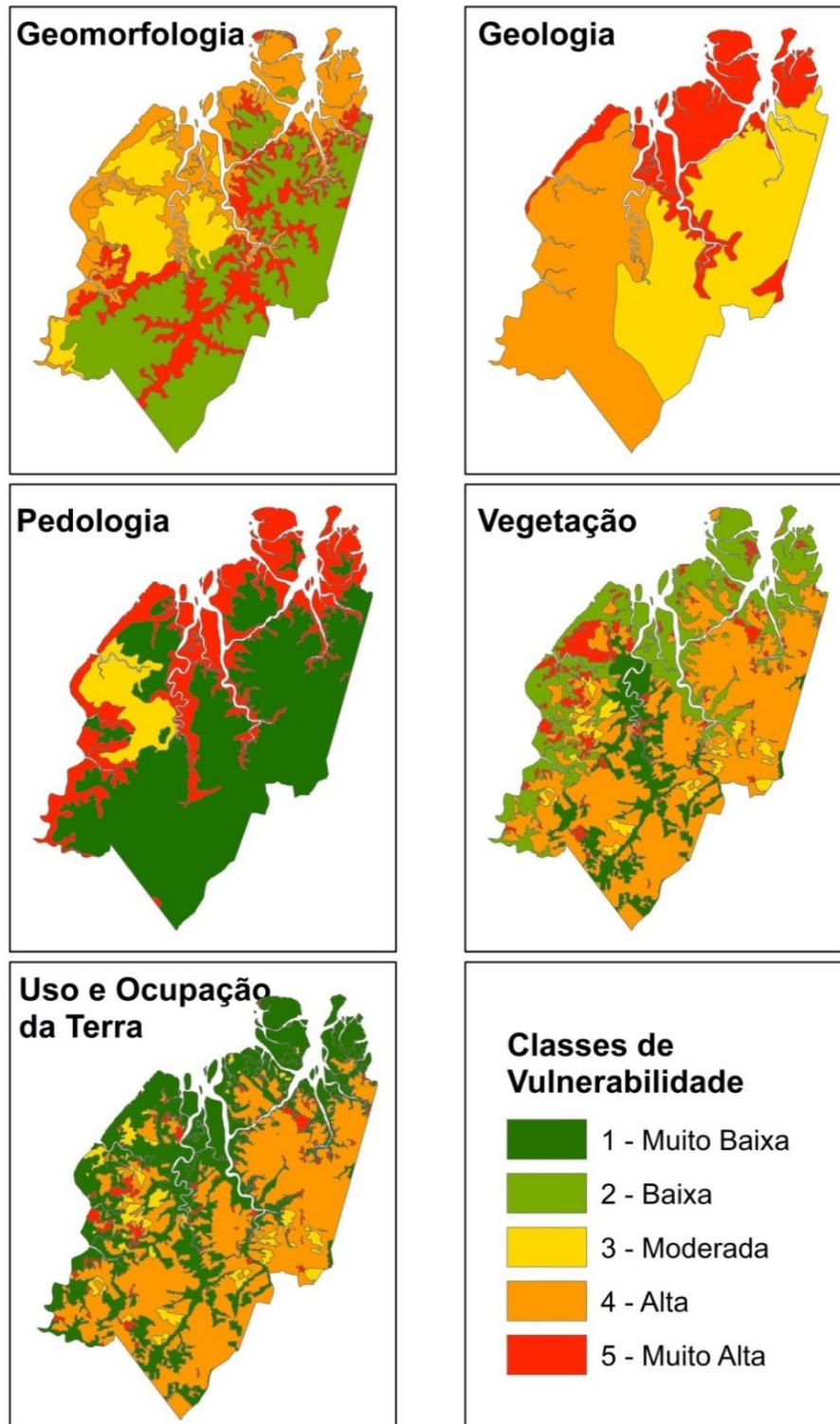


Figura 16 - Temas utilizados para compor a carta derivada reclassificados em função dos diferentes pesos/ classe de vulnerabilidade ambiental. Fonte: Elaborado pela autora

Estes foram reclassificados em cinco classes, numa escala de 1 a 5, onde o maior valor corresponde a uma maior influência nos processos que levam a vulnerabilidade ambiental.

#### 4.4.1. Ponderação de pesos entre os mapas temáticos a partir da técnica AHP

Ao aplicar a metodologia AHP foram determinados pesos para os temas geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso e ocupação da terra, por meio da análise par a par dos temas avaliados, resultando assim em uma matriz de comparação pareada (Tabela 13).

Tabela 13 - Matriz de comparação dos critérios para a análise da vulnerabilidade ambiental.

TEMAS	Geologia	Geomorfologia	Uso e ocupação	Vegetação	Pedologia
<b>Geologia</b>	1	1/5	1/5	1/3	1/4
<b>Geomorfologia</b>	5	1	1	4	3
<b>Uso e ocupação</b>	5	1	1	4	4
<b>Vegetação</b>	3	1/4	1/4	1	2
<b>Pedologia</b>	4	1/3	1/4	1/2	1
<b>Soma</b>	<b>18</b>	<b>2,78</b>	<b>2,7</b>	<b>9,8</b>	<b>10,25</b>

Fonte: Elaborado pela autora

Foi realizado o cálculo para a normalização da matriz, cujo resultado está presente na Tabela 14. Seguida da aquisição do peso que cada tema terá na equação para definir a vulnerabilidade ambiental, isto é definido a partir do cálculo da média dos valores de cada linha.

Tabela 14 - Matriz normalizada e determinação dos pesos para cada tema.

TEMAS	Geologia	Geomorfologia	Uso e ocupação	Vegetação	Pedologia	Pesos (Pwi)
<b>Geologia</b>	0,06	0,07	0,07	0,03	0,02	<b>0,05</b>
<b>Geomorfologia</b>	0,28	0,36	0,37	0,41	0,29	<b>0,34</b>
<b>Uso e ocupação</b>	0,28	0,36	0,37	0,41	0,39	<b>0,36</b>
<b>Vegetação</b>	0,17	0,09	0,09	0,10	0,20	<b>0,13</b>
<b>Pedologia</b>	0,22	0,12	0,09	0,05	0,10	<b>0,12</b>

Fonte: Elaborado pela autora

Para avaliar a confiabilidade dos valores atribuídos na Tabela 13 e dos pesos relativos entre os temas (Peso Pwi) na Tabela 14, calculou-se o valor da razão de consistência da análise conforme os pressupostos de Saaty (1977). Para tal, a matriz de comparação dos critérios (Tabela 13) é multiplicada pela coluna dos pesos (Pwi) (Tabela 14) para gerar um vetor chamado de  $A_w$  (Equação 4), o qual é utilizado para o cálculo do autovetor máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ).

Matriz de comparação dos critérios					Pesos (Pwi)
1	1/5	1/5	1/3	1/4	0,05
5	1	1	4	3	0,34
5	1	1	4	4	0,36
3	1/4	1/4	1	2	0,13
4	1/3	1/4	1/2	1	0,12

(4)

Assim o autovetor máximo ( $\lambda_{\max}$ ) foi calculado a partir de

$$\lambda_{\max} = \frac{Aw}{w} \quad (1)$$

Onde:

$Aw$  = produto da multiplicação da matriz de comparação de critérios pelos pesos  $w$ ;  
 $w$  = pesos calculados.

$$\lambda_{\max} = 5,325$$

O Índice de Consistência (IC) foi calculado a partir de:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$IC = \frac{5,325 - 5}{5 - 1} = 0,08$$

E o cálculo da Razão de Consistência (RC) foi dado por:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Aonde o IR (Índice Randômico) são valores pré-estabelecidos de acordo com o valor  $n$  da matriz (Tabela 12), tal que neste caso será utilizado o valor de 1,12, que corresponde ao IR de  $n$  igual a 5.

$$RC = \frac{0,08}{1,12} = 0,07$$

Assim, obteve-se o valor do Índice Randômico igual a 0,07, ficando abaixo do valor de 0,1 recomendado pela metodologia. A partir disto, os pesos (Pwi) dos temas foram utilizados para realizar a álgebra de mapas de forma ponderada de acordo com a influência de cada tema diante da vulnerabilidade ambiental, assim os temas reclassificados foram somados a partir da adição dos pesos, usando como ferramenta de geoprocessamento a álgebra de mapas. Assim, a Equação 5 descreve o potencial de vulnerabilidade ambiental (VA) da Zona Costeira oeste do Salgado Paraense.

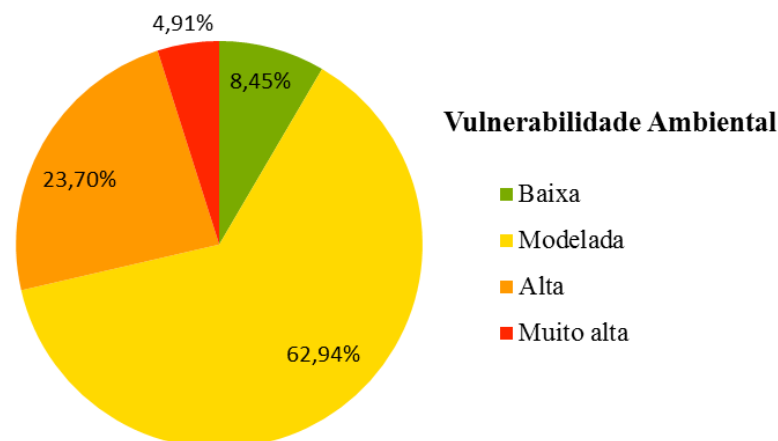
$$VA = (Geologia * 0,05) + (Geomorfologia * 0,34) + (Uso e ocupação da terra * 0,36) + (Vegetação * 0,13) + (Pedologia * 0,12) \quad (5)$$

A partir da equação da vulnerabilidade, observa-se que os temas que mais influenciam a vulnerabilidade ambiental da área são o uso e ocupação da terra e a geomorfologia, respectivamente. Seguidas por vegetação e pedologia, e com menor influência, tem-se a geologia, uma vez que o substrato rochoso não interage diretamente no processo, visto que nas regiões tropicais os perfis de solo são espessos (Guerra 2007).

Na carta de vulnerabilidade ambiental da zona costeira oeste do Salgado Paraense (Figuras 18) podem ser avaliadas as áreas com maior ou menor tendência às mudanças na paisagem, que são avaliadas a partir dos componentes naturais do meio físico e dos processos antrópicos (Grigio 2003). Neste trabalho a característica utilizada para determinar a vulnerabilidade da paisagem a essas mudanças foi a tendência que cada feição da paisagem apresenta à erosão.

#### 4.4.2. Análise das classes de vulnerabilidade ambiental

A zona costeira oeste do Salgado Paraense apresenta a maior parte de sua área, cerca de 62,94%, com uma vulnerabilidade ambiental moderada, seguida de 23,70% e 8,45% de sua área pertencendo às classes alta e baixa, respectivamente, enquanto que apenas 4,91% representa áreas de vulnerabilidade muito alta (Figura 17 e 18).



Vulnerabilidade	Baixa	Modelada	Alta	Muito alta
Área (Km <sup>2</sup> )	139,56	1039,96	391,61	81,13

Figura 17 - Área (em % e km<sup>2</sup>) das classes de vulnerabilidade ambiental da zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora

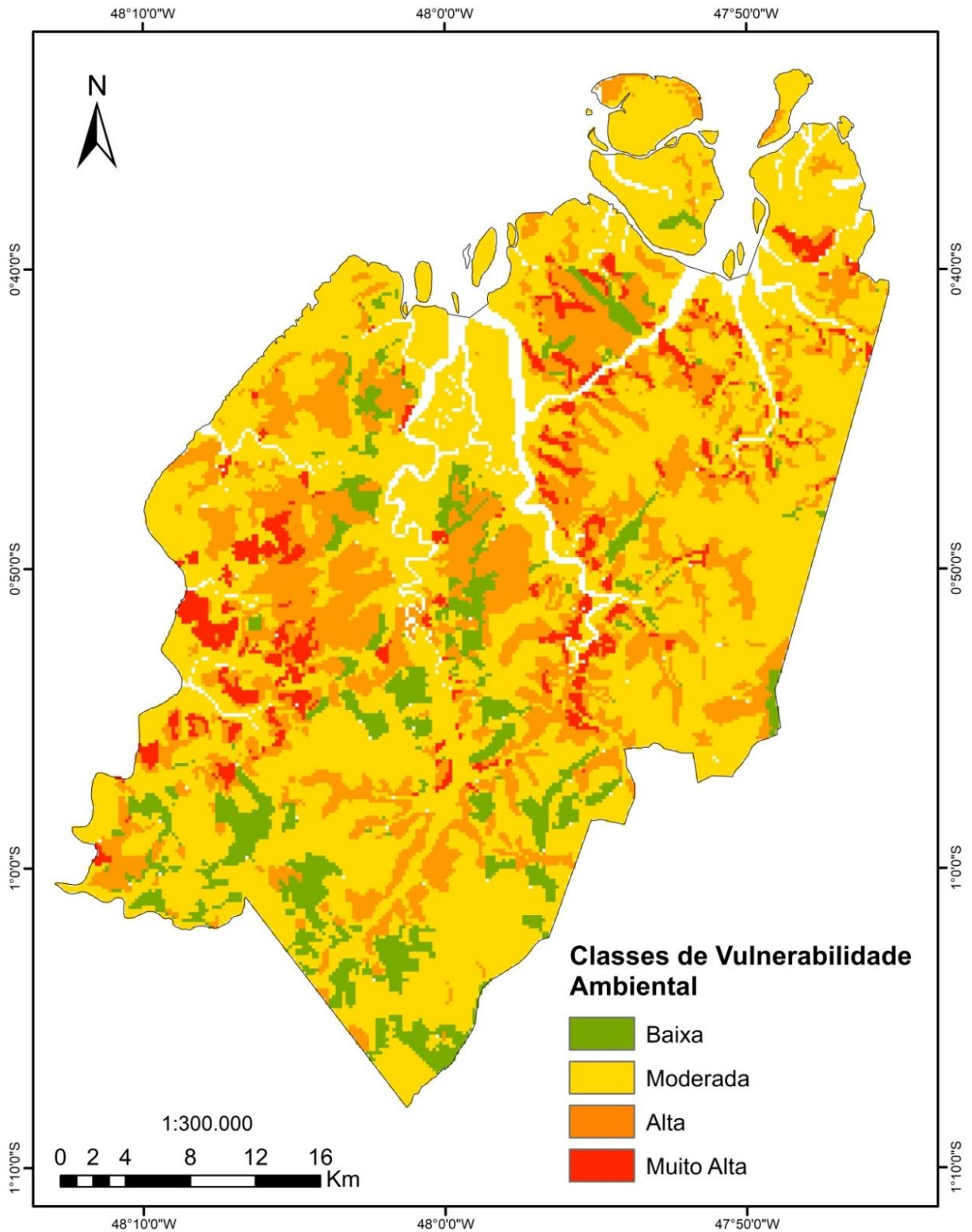


Figura 18 - Carta de vulnerabilidade ambiental da zona costeira oeste do Salgado Paraense. Fonte: Elaborado pela autora.

A classe “Vulnerabilidade baixa” (8,45%) está associada à menor atuação antrópica da região, sendo recobertas em sua maioria por áreas florestadas, tanto a classificada como Floresta Ombrófila Densa Aluvial quanto a Formação Pioneira com influência fluviomarinha

arbórea. Esse tipo de vegetação age como um protetor do solo, já que o impacto da água da chuva chega com menor intensidade no solo, além das raízes contribuírem com a coesão do mesmo, mantendo assim um processo de erosão natural em equilíbrio com os processos pedogenéticos (Mendes 2006).

Relaciona-se com coberturas de latossolo amarelo, um solo maduro, em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, profundos e de boa drenagem, o que segundo Crepani *et al.* (2001), características que conferem uma boa estabilidade ao terreno. As litologias associadas correspondem, predominantemente, as rochas da Formação Barreiras e pelos Sedimentos Pós-Barreiras, os quais representam as litologias com a menor vulnerabilidade à denudação da área de estudo.

Quanto à superfície do relevo, a área também ocorre sobre terrenos de baixa declividade representados por superfícies planas a suavemente ondulada, (Dissecação Homegenea: topos tabulares e planície fluvial com lagos) que conferem assim menor energia potencial ao transporte de partículas na superfície, além de não serem unidade intensamente expostas a dinâmica dos processos costeiros. Assim, essa área é a mais estável frente às mudanças na paisagem da zona costeira estudada. No entanto, deve-se destacar que mesmo sendo a áreas menos propensa a erosão, ela não está ileso de tais processos, principalmente frente a modificações antrópicas futuras, o que interfere de forma direta no equilíbrio entre os processos de morfogênese e pedogênese.

A classe “Vulnerabilidade moderada” abrange a maior porção da área de estudo, aproximadamente 62,9% da área, assim, a ela estão associadas uma grande diversidade de características do meio físico e antrópicas que variam quanto ao seu grau de estabilidade às mudanças nas paisagens. Assim como a classe anterior, a classe moderada está relacionada a áreas florestadas, tanto a classificada como Floresta Ombrófila Densa Aluvial quanto a Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea, em áreas de reservas extrativistas ou não, assim como, também está relacionada a áreas de vegetação secundária e agropecuária.

Ocorre associada tanto ao latossolo amarelo, um solo maduro, espesso e considerado estável, quanto ao gleissolo tiomórfico, um solo considerado raso e com constante saturação em água o que promove a desagregação devido à maior capacidade de perda de resistência entre as partículas e seu consequente transporte em superfície. Nessa classe o latossolo ocorre principalmente em conjunto com o uso da terra para agricultura e o gleissolo ocorre associado às áreas de preservação ambiental. Ademais ocorrem nesta classe todas as unidades geológicas presentes na área de estudo. Quanto à morfologia está relacionada predominantemente aos tabuleiros paraenses, principalmente as áreas de topos planos e de

dissecação menos intensa, e às planícies fluviomarinhas, em sua maior parte protegida pelas RESEX.

A classe “Vulnerabilidade alta” (23,70%) associa-se as formas de uso e ocupação da terra que promovem a exposição solo, tanto de origem naturais, como é o caso das praias, dunas e áreas cobertas por vegetação herbáceas; assim como de origem antrópica, como é o caso das áreas de agricultura e pecuária. Essa classe abrange todos os tipos de solos existentes na área, porém ocorrem de forma mais frequente sobre os latossolos amarelos e sobre os espodosolo ferrihumilúvico, ambos representam a porção mais estável, quando se refere ao tema solo, da área, no entanto, ocorrem associadas a formas de uso e ocupação da terra e classes de dissecação vulneráveis à erosão. O mesmo ocorre como o tema geologia, está associado a todos os tipos de litologias existentes na área, nas quais predominam as litologias mais estáveis, Formação Barreiras e Sedimentos Pós-Barreiras.

Nesta classe predominam terrenos ondulados, as unidades associadas são “Dissecação Homogênea: vales abertos” - caracterizados por apresentar vertentes retilíneas e côncavas - e à “Planície Fluvial com Lagos”, caracterizada por apresentar morros testemunho com topos arredondados e áreas com tendência a alagamentos. A esta classe também estão relacionados às unidades Dunas e Planície Marinha, unidades nas quais ocorrem intensa morfodinâmica, relacionada a processos costeiros. Assim, essa área apresenta uma grande instabilidade frente às mudanças na paisagem da zona costeira estudada. Dessa forma, requerem mais atenção quanto à ocorrência dos processos erosivos.

As áreas classificadas com “Vulnerabilidade muito alta” correspondem à parcela de 4,91% dessa zona costeira. No entanto, apesar de ser uma área relativamente pequena é a que carece de uma maior atenção a fim de evitar potenciais danos, que podem acarretar em grandes impactos socioeconômicos à região, já que apresentam características naturais mais favoráveis à erosão natural, potencializadas pela influência antrópica, assim como as áreas de vulnerabilidade alta. Nesta classe ocorrem as ações antrópicas mais efetivas, e que acarretam numa maior exposição do terreno pela retirada de vegetação, a esta classe estão associados os núcleos urbanos, os solos expostos, e a áreas destinadas à agropecuária, assim como está relacionada a vegetações pouco densas, como é o caso das formações pioneiras herbáceas.

Os solos associados são majoritariamente os gleissolos, tanto o tiomórfico quanto o háplico, e o neossolo flúvico, solos caracterizados pelo limitado sistema de drenagem, e por serem pouco evoluídos e rasos, respectivamente. Também estão associados a espodosolo ferrihumilúvico, quando associados a classes de uso e ocupação do solo muito vulneráveis como o solo exposto. Quanto à geologia, ocorrem relacionados a todos as litologias presentes

na área, porém ocorrem com maior frequências aos depósitos aluvionares e litorâneos e aos Sedimentos Pós-Barreiras. Esta classe também está diretamente relacionada à unidade geomorfológica de maior dissecação e declividade, dissecação homogênea: vales abertos, o que conferem uma maior energia potencial ao transporte de partículas na superfície (Crepani *et al.* 2001).

#### 4.5. DIRETRIZES GEOAMBIENTAIS PARA PROTEÇÃO DA ZONA COSTEIRA DO SALGADO PARAENSE

A proteção dos ambientes costeiros é objeto de vários documentos legais internacionais, nacionais, estaduais e municipais de proteção, haja vista sua enorme importância como área de ocupação social, como habitat de fauna e de flora com grande biodiversidade, como fonte de alimentação e como área turística. Para atingir suas finalidades, o Estado deve organizar-se política e administrativamente, e assim, através da lei, decretos ou normas inferiores, definir a estrutura de entidades e órgãos encarregados de tal atividade. (Moura 2009)

A avaliação da vulnerabilidade ambiental de uma região pode ser uma ferramenta valiosa na área de gerenciamento ambiental, uma vez que contribui pra a melhor definição do objeto da proteção e no desenvolvimento de cenários de impacto potencial com base em várias características ambientais. Com este gerenciamento dois objetivos diferentes podem ser alcançados: (1) restauração de ecossistemas impactados; e (2) proteção de recursos naturais e sociais contra possíveis impactos (Boori e Amaro 2011b).

Diante disso, sugere-se que os territórios classificados com vulnerabilidade muito alta e alta devem ser protegidos como primeira prioridade. Na porção oriental da área uma possível medida a ser tomada com relação a essas classes é a conversão de terras agrícolas e de pastagem em áreas de florestas, uma vez que essas áreas estão associadas a declives mais acentuados, correspondentes á unidade de terreno “dissecação homogênea: vales abertos”, portanto mais suscetíveis a processos erosivos. Essa medida também contribui com a preservação dos rios. Na porção ocidental, as áreas de vulnerabilidade muito alta e alta são associadas a áreas de solo exposto, utilizadas para a extração de matérias de construção e pontualmente para aterro sanitário, assim, o uso dessas áreas deve ser normatizado com maior rigor. Na área urbana devem ser tomadas medidas para melhorar a drenagem pluvial, diminuído a impermeabilização do solo, e devem ser realizados projetos de planejamento urbano que evitem novas ocupações em locais inadequados.

O uso das áreas de vulnerabilidade moderada deve ser limitado a atividades que não desprotejam o solo, nem o impermeabilize. Grande parte dessa classe esta associada a atividades agropecuárias, portanto, algumas técnicas de manejo do solo devem ser adotadas pelos agricultores, tais como a rotação de culturas, para que o solo permaneça com suas propriedades físico-químicas.

Ademais, as unidades de conservação são muito eficazes na proteção da zona costeira, independentemente de onde estejam localizadas, se na faixa terrestre ou marítima, pois atuam não só na preservação de ecossistemas, como também no uso destes, visando à proteção dos recursos existentes (Moura 2009). Tal fato pode ser observado na área de estudo, já que os territórios pertencentes à RESEX apresentam classes de vulnerabilidade moderadas e baixas.

Além disso, trabalhos e pesquisas de vulnerabilidade ambiental fornecem subsídios para o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC), que tem por objetivo compatibilizar o crescimento econômico com a conservação dos recursos naturais em favor das presentes e futuras gerações. E que no Estado do Pará se encontra em fase preliminar de pré-planejamento (Nicolodi *et al.* 2018).

## 5. CONCLUSÃO

A Zona Costeira oeste do Salgado Paraense apresenta aproximadamente 8,5% e 63% de sua área com vulnerabilidade ambiental baixa e moderada, respectivamente. Assim, destaca-se que de acordo com o método utilizado e com os resultados obtidos, a maior parte da área pode estar estável, com um ténue equilíbrio ambiental, o qual pode ser desordenado facilmente por uma intensificação das atividades antrópicas vigentes. A estas classes são associados solos maduros, principalmente coberturas vegetais densas, e morfologias com dissecções menos intensas.

Ainda assim, cerca de 28,5% correspondem a áreas de vulnerabilidade muito alta a alta, ou seja, representam a área com maior susceptibilidade a um potencial impacto provocado por um uso antrópico qualquer. Esta classificação se dá diante da capacidade de suporte aos impactos de cada ambiente, os quais variam segundo características como litologia, morfologia, pedologia, cobertura vegetal e uso da terra.

A estas classes estão associados solos rasos, e áreas de maior dissecção e declividade, características naturais favoráveis à erosão natural. Ademais, vale destacar que as áreas de elevada vulnerabilidade estão associadas, principalmente, a porções da região onde se encontram ocupações e atividades antrópicas significativas, como a concentração de áreas urbanas e a extração de areia, portanto ressaltando a relação direta entre os usos da terra e a magnitude dos impactos ambientais potenciais.

Assim, as cartas de vulnerabilidade ambiental permitem uma avaliação das áreas com maior susceptibilidade a potenciais impactos ambientais a partir da escolha adequada dos critérios que influenciam a ocorrência dos mesmos, bem como indicando ainda as áreas mais susceptíveis que requerem, portanto, estudos mais detalhados. Subsidiando a tomada de decisões por parte dos órgãos governamentais, bem como da sociedade civil, indicando áreas mais adequadas ao desenvolvimento de projetos específicos, evitando, dessa forma, perdas materiais, ambientais e econômicas.

## REFERÊNCIAS

- Araújo P.P. & Tancredi A. C. F. N. S. 2014. Hidrogeologia da Fazenda N. S. de Fátima - Curuçá (PA). *In: ABAS, 18º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Anais...* 9 p.
- Bertol I. & Almeida J.A. 2000. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **24** (3): 657-668.
- Boori M. S. & Amaro V. E. 2011a. A remote sensing approach for vulnerability and environmental change in Apodi Valley region, Northeast Brazil. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Geological and Environmental Engineering*, **5** (2): 93 -103.
- Boori M. S. & Amaro V. E. 2011b. Natural and eco-environmental vulnerability assessment through multi-temporal satellite data sets in Apodi Valley Region, Northeast Brazil. *Journal of Geography and Regional Planning*, **4**(4): 216-230.
- Boulhosa M. B. M. 2006. *Análise de imagens landsat etm+, radarsat-1 e modelos numéricos de terreno para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na costa de manguezais do Nordeste do Pará*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 151 p.
- Boulhosa M. B. M. & Souza Filho P. W. M. 2009. Reconhecimento e mapeamento dos ambientes costeiros para geração de mapas de ISA ao derramamento de óleo, Amazônia oriental. *Rev. Bras. Geof.*, São Paulo, **27**(1): 23-27.
- Crepani E., Medeiros J.S., Azevedo L.G., Hernandez Filho P., Florenzano T.G., Duarte V. 1996. *Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico: metodologia desenvolvida para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico*. INPE, São José dos Campos, 25 p.
- Crepani E., Medeiros J.S., Hernandez Filho P., Florenzano T.G., Duarte V., Barbosa C.F. 2001. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 124 p.
- Corrêa E. A., Pinto S. A. F., Couto Junior A. 2015. Espacialização temporal das perdas de solos em uma microbacia hidrográfica com predomínio de solos arenosos. *Geografia*, **40**(1): 101-118.
- Dantas M. E & Teixeira S. G. 2013. Origem das paisagens. *In: Jorge João X. S., Teixeira S. G., Fonseca D. D. F. (org.). Geodiversidade do Pará*. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. Belém, CPRM - Serv. Geol. Brasil, p. 25-49.
- Egler C. A. G. 1996. Risco ambiental como critério de gestão do território: uma aplicação à zona costeira brasileira. *Território*, Rio de Janeiro, **1** (1): 31-41.
- EL Robrini M. & Mácola, G. 2004. “Ilha dos guarás (Mariteua) - município de Curuçá (NE do Pará): aspectos físicos, meteorológicos. & oceanográficos”. Belém, Companhia Docas do Pará. CHD & Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros – GEMC, 35 p. (Relatório Final).

- El-Robrini M., Silva M. A. M. A., Souza Filho P. W., El-Robrini M. H. S., Silva Júnior O. G., França C. F. 2006. Pará. In: Muehe Dieter (org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília,DF, Ministério do Meio Ambiente, p.41- 86.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2018. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed, Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 356 p.
- França C. F. & Souza Filho P. W. M. 2006. Compartimentação morfológica da margem Leste da ilha de Marajó: zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra – Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **7**(1): 33-42.
- Góes A. M, Rossetti D. F., Nogueira A. C. R., Toledo P. M. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **2**: 3-15.
- Grigio A. M. 2003. *Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera*. MS Dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 222 p.
- Guerra A. J. T. 2007. O início do processo erosivo. In: Guerra A. J. T, Silva A. S., Botelho R. G. M. *Erosão e conservação dos solos*. 3ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 340 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Banco de Informações Ambientais (BDIA)*. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>. Acesso em: 12 de Setembro de 2019.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2013. *Manual técnico de uso da terra*. 3. ed. Rio de Janeiro, 171 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2012. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2. ed. Rio de Janeiro, 271 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2009. *Manual técnico de geomorfologia*. 2. ed. Rio de Janeiro, 175 p.
- Lara R. J. 2003. Amazonian mangroves - a multidisciplinary case study in Pará State, North Brazil: introduction. *Wetlands Ecology and Management*, **11**: 217-221.
- Mendes C. A. R. 2006. *Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim - RJ*. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 237 p.
- Miranda L. B., Castro B. M., Kjerfve B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP, 424 p.
- Moura D.V. 2009. *Proteção legal e danos a zona costeira brasileira*. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2009-jun-24/protacao-legal-instrumentos-prevencao-danos-zona-costeira>. Acesso em: 21 jan. 2020.

Nascimento D. M. C. & Dominguez J. M. L. 2005. O mapa de vulnerabilidade ambiental como subsídio à gestão da zona costeira: o exemplo da planície costeira de Belmonte-BA. *In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 22, Anais...*, p.1-6.

Nascimento D. M. C. & Dominguez J. M. L. 2009. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, **39**(3): 395-408.

Nicolodi J. L., Asmus M.L., Turra A., Pollete, M. 2018. Avaliação dos Zoneamentos Ecológico-Econômicos Costeiros (ZEEC) do Brasil: proposta metodológica. *Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR)*, **44**: 378-404.

Oliveira D.S. 2017. *Análise de índices de vulnerabilidade física com uso de geotecnologias na Região da Barreira do Inferno*. MS Dissertation, Universidade Federal do Rio Grande Do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, 92 p.

Oliveira F. F. G. 2011. *Aplicação das técnicas de geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental do Sul do Rio Grande do Norte*. PhD Thesis, Pós-graduação em geociências e meio ambiente. Rio Claro, SP, 250 p.

Rosa G. G. G., Santos A. R., Peluzio T. M., Mariano R., 2008. Utilização do método AHP para determinação de um modelo matemático para o mapeamento das áreas de riscos de inundação da Bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES. *In: XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação*. Paraíba, 1 – 4 p.

Rodrigues S. W. P. & Souza Filho P. W. M. 2011. Reconhecimento e mapeamento dos ambientes sedimentares recentes ao longo da baía de Curuçá através de imagens Landsat TM, ETM+ e CBERS 2B. *In: 13º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA, Anais...* Búzios, RJ, Brasil, 1 - 5 p.

Ross J. L. S. 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo*, **8**: 63-74.

Rossetti D.F. 2006. Evolução sedimentar miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. *Geologia USP: Série Científica*, **6**(2): 7-18.

Saaty T. L. A. 1977. Scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, **15**: 234-281.

Saaty, T. L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Services Sciences*, **1**(1), 83-98.

Saaty T.L. & Vargas L.G. 1991. *Prediction, projection and forecasting*. Boston, Kluwer Academic, 254 p.

Sena J. N. 2008. *O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão*. MS Dissertation, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, SP. 114 p.

Silva D. M. R. 2007. *Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais*. MS Dissertation, Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 128 p.

Silva F.M. 2013. *Análise da vulnerabilidade ambiental no estuário do Rio Curimataú/Cunhaú, Baía Formosa e Canguaretama - RN*. MS Dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natal, 154 p.

Silva Junior C. H. L. 2015. Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico (AHP) aplicados ao zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamentos: uma revisão. *Revista Monografias Ambientais – REMOA*, **14**(3): 42-58.

Schmidlin L. A. J., Accioly A., Accioly P., Kirchner F. F. 2005. mapeamento e caracterização da vegetação da Ilha de Superagüi utilizando técnicas de geoprocessamento. *Floresta*, **35**(2): 303 -315.

Souza Filho P. W. M. & El-Robrini M. 1998. As variações de nível relativo do mar e estratigrafia de sequências da planície costeira bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi*, **10**: 45-78.

Spörl C. 2007. *Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais*. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 185 p.

Tagliani C.R.A. 2002. *Técnica para avaliação da vulnerabilidade de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações*. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 252 p.

Tagliani C. R. A. 2003. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: 11º Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, INPE, 1657-1664 p.

Tatumi S.H., Silva L. P. da, Pires E. L., Rossetti D. F., Góes A. M., Munita C. S. 2007. Datação de sedimentos Pós-Barreiras no norte do Brasil por luminescência opticamente estimulada (LOE). In: Congresso Da Abequa, 21, Belém. *Resumos...* Belém, 1 CD-ROM.

Tricart J. 1977. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 97 p.

Vasquez M.L. *et al.* 2008. Unidade litoestratigráfica. In: Vasquez M.L. & Rosa-Costa L. P. da. (org.). *Geologia e de recursos minerais do Estado do Pará*: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000. Belém, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém, p. 113-215 (Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais).