



Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Ciências Exatas e da Natureza  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

**SAMUEL OTHON DE SOUZA COSTA**

**IDENTIFICAÇÃO DAS VULNERABILIDADES E POTENCIALIDADES DA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANHOTO – PE/AL, COM VISTAS AO  
ZONEAMENTO AMBIENTAL**

João Pessoa  
2018

**SAMUEL OTHON DE SOUZA COSTA**

**IDENTIFICAÇÃO DAS VULNERABILIDADES E POTENCIALIDADES DA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANHOTO – PE/AL, COM VISTAS AO  
ZONEAMENTO AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima.

João Pessoa  
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO  
DEPARTAMENTO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO

**Catlogação na publicação**

**Seção de Catalogação e Classificação**

C838i Costa, Samuel Othon de Souza.

IDENTIFICAÇÃO DAS VULNERABILIDADES E  
POTENCIALIDADES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANHOTO  
? PE/AL, COM VISTAS AO ZONEAMENTO AMBIENTAL / Samuel  
Othon de Souza Costa.

- João Pessoa,  
2018. 116 f.  
: il.

Orientação: Eduardo Rodrigues Viana Lima.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Bacia Hidrográfica do Rio Canhoto. 2.  
Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental. 3.  
Zoneamento Ambiental.

I. Lima, Eduardo Rodrigues Viana. II. Título.

UFPB/CCEN

*“Identificação das Vulnerabilidades e Potencialidades da Bacia Hidrográfica do Rio Canhoto- PE/AL, com vistas ao Zoneamento Ambiental”*

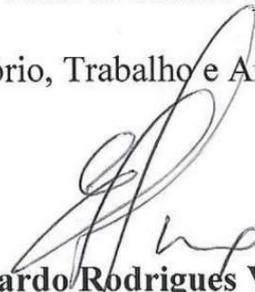
por

**Samuel Othon de Souza Costa**

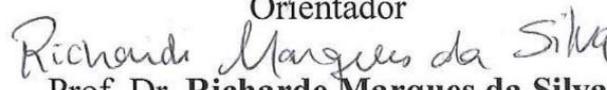
Dissertação apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do CCEN-UFPB, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Território, Trabalho e Ambiente

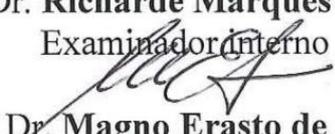
Aprovada por:

  
Prof. Dr. **Eduardo Rodrigues Viana de Lima**

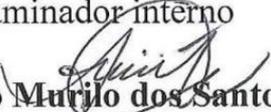
Orientador

  
Prof. Dr. **Richarde Marques da Silva**

Examinador interno

  
Prof. Dr. **Magno Erasto de Araújo**

Examinador interno

  
Prof. Dr. **Sérgio Murilo dos Santos Araújo**

Examinador externo

**Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Ciências Exatas e da Natureza  
Programa de Pós-Graduação em Geografia  
Curso de Mestrado em Geografia**

**Agosto/2018**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por cada dia de fortalecimento. A fé me encoraja a cumprir mais uma etapa de minha trajetória estudantil.

Aos meus pais José Siqueira da Costa e Maria das Neves de Souza Costa pelo apoio e incentivo aos estudos que sempre me dedicaram. A minha noiva Larissa Alves pelo suporte incondicional.

Ao professor orientador Doutor Eduardo Rodrigues Viana de Lima por todos os ensinamentos que visaram o amadurecimento e a construção teórica do objeto de estudo, da abordagem metodológica e da compreensão desta pesquisa, estimulando, assim, a paciência e a perseverança neste trabalho.

Aos demais professores do programa de Pós-Graduação em Geografia que fizeram parte da minha história e contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos de Pós-graduação pelo apoio e trocas de informações e aos amigos Aderson Stanley, Elloise Rackel, Ramon Souza, José Carlos e Maria Romano, pelos ensinamentos e auxílio.

Aos amigos Wilcker Mallony, Carlos Eduardo, Nicodemus Andrade, Rodolfo Deus, Renilson Ramos, Daniel Dantas, Maurício Goldfarb e Jeovanes pela paciência e companheirismo nos momentos de estudos.

À minha família que se fez sempre presente no decorrer desses dois longos anos de muito esforço e cansaço que, por fim, valeram muito a pena.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, os meus mais sinceros e profundos agradecimentos.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

## RESUMO

Diversas formas de uso dos espaços naturais induzem variadas transformações na dinâmica natural da paisagem. O manejo inadequado do ambiente, superior a capacidade de suporte, tem aumentado as condições de degradação e transformação da paisagem. Este trabalho teve o objetivo de realizar uma análise das potencialidades e vulnerabilidades ambientais da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, levando em consideração a integração dos elementos atuantes na paisagem. Desta forma, foi considerada uma relação de elementos naturais e antrópicos, como a precipitação, temperatura, cobertura vegetal, dissecação do relevo, solos, litologia e o uso da terra, com o intuito de estabelecer os níveis de potencialidade e vulnerabilidade ambiental para utilização sustentável da área de estudo. A partir dessas informações, este trabalho propõe um zoneamento ambiental, baseado no mapeamento e análise das potencialidades e vulnerabilidades ambientais, com o intuito de caracterizar áreas que necessitem de mudanças no manejo. Desta forma, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para a realização do trabalho, coletando, processando, armazenando e analisando informações sobre a bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Nesse sentido, foram considerados aspectos teóricos de integração de dados para a realização do trabalho, através do uso da álgebra de mapas para estabelecer uma hierarquia e uma integração das seguintes categorias: litologia; solos; cobertura vegetal; relevo; precipitação e uso da terra. Diante disso, foi realizado o mapeamento das potencialidades e vulnerabilidades ambientais, estabelecendo 5 classes: muito alta potencialidade; alta potencialidade; nível intermediário; alta vulnerabilidade e muito alta vulnerabilidade. Pode-se considerar que a vulnerabilidade ambiental é maior do que nas áreas de potencialidade da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Somando as classes de vulnerabilidade, têm-se cerca de 434,99 km<sup>2</sup>, maior que o nível intermediário que é de 407,03 km<sup>2</sup>. Em contraponto, somando as classes de potencialidade se têm 347,11 km<sup>2</sup>, com uma diferença de 87,89 km<sup>2</sup> entre as classes de vulnerabilidade e potencialidade. Para o zoneamento ambiental foram estabelecidas 4 classes, sendo essas reabilitação, melhoramento, aproveitamento e preservação. A partir da quantificação das áreas do zoneamento ambiental, a classe de aproveitamento abrange a maior área, com aproximadamente 400 km<sup>2</sup>, destacando que se pode aproveitar melhor os atuais usos, intercalando com outros usos funcionais e/ou ambientais. A classe de melhoramento é a segunda maior em área, com 305,63 km<sup>2</sup>, necessitando otimizar o uso atual através de técnicas alternativas para atingir os objetivos do fluxo funcional, sem perder o valor ambiental. A classe de reabilitação representa 250,04 km<sup>2</sup> de área que precisa de mudança significativa. Por fim, a menor área está representada pela classe de preservação, com aproximadamente 233 km<sup>2</sup>, o que mostra que essas são áreas com boa potencialidade, sendo, entretanto, necessário manter um planejamento voltado para a sustentabilidade. Diante dos resultados obtidos, pode-se perceber que a bacia hidrográfica do Rio Canhoto tem um maior nível de vulnerabilidade ambiental, visto que tanto naturalmente, quanto sofrendo influências antrópicas, juntas, as classes de alta e muito alta vulnerabilidade representam as maiores áreas, enquanto que as de muito baixa e baixa vulnerabilidade representam as menores áreas.

**Palavras-Chave:** Bacia hidrográfica do Rio Canhoto, Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental, Zoneamento Ambiental.

## ABSTRACT

Various forms of use natural spaces induce various transformations in the natural dynamics of the landscape. Thus, the inadequate management of the environment, superior to the capacity of support, has increased the conditions of degradation and transformation of the landscape. This work had the objective of performing an analysis of the Potentiality and Environmental Vulnerability of the watershed Canhoto River, taking into account the integration of the elements acting in the landscape. In this way, a relation of the natural and anthropic elements was adopted, precisely the precipitation, temperature, vegetation cover, relief dissection, soils, lithology and land use, aiming to establish the level of potentiality and environmental vulnerability for sustainable use of the object of study. With the use of this information, the paper proposes a proposal of environmental zoning, based on the mapping and analysis of potentiality and environmental vulnerability, in order to characterize areas that need changes in the way of management. Thus, geoprocessing and remote sensing techniques were used to carry out the work, collecting, processing, storing and analyzing information about the watershed Canhoto River. In this sense, with the help of integrative theoretical aspects to foment work, using map algebra to establish a hierarchy and an integration of the lithological, soil, vegetation cover, relief, precipitation and land use aspects of the study object. Thus, the mapping of Potentiality and Environmental Vulnerability was established, establishing 5 classes: Very High Potentiality, High Potentiality, Intermediate Level, High Vulnerability and Very High Vulnerability. We can analyze that the environmental vulnerability is greater than the areas of potentiality in the watershed Canhoto River. Adding the classes of vulnerability, we will have about 434,994 km<sup>2</sup>, higher than the intermediate level that is 407,030 Km<sup>2</sup>. In counterpoint, adding the classes of potentiality we will have 347,108 Km<sup>2</sup>. Being a difference of 87,887 Km<sup>2</sup> between the classes of vulnerability and potentiality. For the environmental zoning were established 4 classes: Rehabilitation, improvement, use and preservation. From the quantification of the areas of the environmental zoning classes, the Utilization class has the largest amount, with approximately 400 km<sup>2</sup> emphasizing that one can better take advantage of the current use pattern, interspersing with other functional and / or environmental uses. Following the Utilization class, comes the Improvement with about 305,633 km<sup>2</sup> of areas that need to optimize the current use through alternative techniques to reach the objectives of the functional flow, without losing the environmental value. Followed by this last class, comes the Rehabilitation with 250, 039 Km<sup>2</sup> of areas that need significant change. Finally comes the lowest class of the mapped environmental zoning, the Preservation with approximately 233 km<sup>2</sup>, showing that they are areas with good potential, but it is necessary to maintain a planning focused on sustainability. Considering the data collected, we can see that the watershed Canhoto River has a higher level of Environmental Vulnerability, since both naturally and suffering anthropic influences together the classes of High and Very High vulnerability form the largest areas, while those of Very Low and Low vulnerability are minor.

**Keys-word:** Watershed, potentiality and Environmental vulnerability, environmental zoning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Mapa de Localização da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	17
Figura 2- Mapa dos Municípios da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	18
Figura 3- Geossistema, unidade físico territorial.....	21
Figura 4 - Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos.....	38
Figura 5 - Fluxograma dos procedimentos técnicos utilizados no processamento das imagens Sentinel-2.....	42
Figura 6–Fluxograma da classificação taxonômica do relevo.....	47
Figura 7-Nível de influência dos elementos físicos e das ações antrópicas.....	54
Figura 8– Esquema geral utilizado para elaboração do mapa de Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental.....	55
Figura 9– Mapa da síntese da estrutura geológica da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	62
Figura 10 – Declividade e Hipsometria da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	65
Figura 11–Compartimentação Taxonômica geomorfológica dos três primeiros níveis: Unidades Morfoestruturais, Unidades Morfoesculturais e Unidades Morfológicas.....	67
Figura 12–Compartimentação dos tipos de forma de relevo.....	68
Figura 13-Mapa dos Climats da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	71
Figura 14–Gráficos de dupla massa da média de precipitação da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	72
Figura 15 - Mapa da precipitação média anual da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	74
Figura 16 - Mapa da temperatura média anual da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	75
Figura 17- Hierarquia Fluvial da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	78
Figura 18 - Perfil longitudinal do Rio Canhoto.....	80
Figura 19- Curva Hipsométrica da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	82
Figura 20 – Retângulo Equivalente da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	83
Figura 21– Mapa de Solos da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	84

Figura 22 – Mapa das regiões fitogeográficas e da vegetação da bacia hidrográfica do rio Canhoto.....	87
Figura 23 – Mapa da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Canhoto.....	88
Figura 24 - Gráfico da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Canhoto.....	88
Figuras 25 e 26 – Fotografias da bacia hidrográfica do rio Canhoto.....	89
Figuras 27, 28, 29 e 30 – Fotografias da bacia hidrográfica do rio Canhoto.....	90
Figura 31-Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	91
Figura 32- Mapa de potencialidade e vulnerabilidade da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	93
Figura 33 - Gráfico da área de potencialidade e vulnerabilidade da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	94
Figura 34–Gráfico de porcentagem de potencialidade e vulnerabilidade da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	95
Figura 35 – Mapa de zoneamento ambiental da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	96
Figura 36 – Gráfico das áreas do zoneamento ambiental da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	97
Figura 37 – Gráfico em porcentagem do zoneamento ambiental da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Municípios banhados pela Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	18
Tabela 2 - Informações da constelação Sentinel-2.....	34
Tabela 3 – Formas de dissecação levando em consideração a densidade de drenagem e o aprofundamento das incisões.....	49
Tabela 4 - Área Mínima Mapeável para diferentes escala.....	55
Tabela 5 - Variáveis e pesos.....	56
Tabela 6 - Notas definidas para os componentes da legenda.....	57
Tabela 7 – Dados Areaais Obtidos.....	78
Tabela 8 - Dados Lineares Obtidos.....	79
Tabela 9 - Curva hipsométrica da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	81
Tabela 10 - Informações para elaboração do retângulo equivalente.....	82

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Ecodinâmica das Paisagens.....	22
Quadro 2-Legenda das classes do zoneamento ambiental.....	59
Quadro 3-Identificação e caracterização dos tipos de formas de relevos encontrados na Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	69
Quadro 4- Dados areais.....	76
Quadro 5- Dados lineares.....	76
Quadro 6- Dados hipsométricos.....	76

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
1.1 Localização.....	17
1.2. Objetivos.....	19
1.2.1 Objetivo Geral.....	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	19
3. Fundamentação Teórico- Metodológica.....	20
3.1 Sistemas Ambientais – Geossistemas.....	20
3.2 Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental.....	23
3.3 Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas.....	26
3.4 Zoneamento Ambiental.....	31
4. Materiais e Métodos.....	34
5. Resultados.....	61
5.1 Análise da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.....	61
5.1.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos.....	61
5.1.2 Condições Climáticas.....	69
5.1.3 Caracterização Hidrográfica.....	75
5.1.4 Solos.....	83
5.1.5 Vegetação.....	86
5.1.6 Uso e Ocupação do Solo.....	89
5.2 Análise da Potencialidade e Vulnerabilidade ambiental.....	92
5.3 Zoneamento Ambiental.....	95
5.3.1 Análise e Comparação da Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental com o Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Canhoto	99
6. Considerações Finais.....	101
Referências.....	104

## 1. Introdução

Diversas formas de uso dos espaços naturais induzem variadas transformações na dinâmica natural da paisagem. Por esse motivo, o manejo inadequado do ambiente, superior a capacidade de suporte, tem aumentado as condições de degradação e transformação da paisagem (GOMES, 2011).

Diante dessa realidade passou a existir a necessidade de planejamento e gerenciamento, a nível teórico das áreas que são susceptíveis aos processos de degradação ambiental, para que sejam definidas medidas preventivas e/ou corretivas. Nesse sentido, os novos pressupostos da gestão territorial afirmam que todas as ações de planejamento, ordenação e monitoramento do espaço têm a necessidade de analisar os diferentes componentes do ambiente (FRANCISCO, 2007).

É desejável que uma política de planejamento físico-territorial, quer seja do país, do estado ou do município, aplique-se de modo a compatibilizar os interesses imediatos e necessidades futuras do homem como ser humano individual e social. Em função dessa premissa, a preocupação com o planejamento deve levar em conta os interesses sociais, mas também os interesses ambientais, pois o homem, além de elemento social, não sobrevive sem os componentes da natureza que o envolve, sustenta e lhe dá vida.

A questão ambiental é, antes de mais nada, social, pois foi no ambiente natural que os seres vivos surgiram e ainda surgem e é nesse ambiente natural que o homem, como ser ativo, organiza-se socialmente.

Desse modo, tratar a questão ambiental, esquecendo-se do homem como agente modificador dos ambientes naturais, ou ao contrário, tratar o social, desmerecendo o ambiental, é negar a própria essência do homem e sua inteligência (ROSS, 1991, p. 82).

A partir dessas conjecturas, esta pesquisa baseia-se no conceito geográfico de paisagem e na classificação da mesma utilizando a teoria geossistêmica, entendendo o conceito como uma visão sistêmica, onde o todo é formado por um conjunto de elementos e fenômenos em interação.

Dessa forma, esta pesquisa ganha um caráter multidisciplinar, devido aos estudos do meio ambiente e da Geografia, abrindo um campo para uma nova visão cultural, social e natural. Dentro desse contexto, é necessário fazer uso de um objeto de estudo que possua as mesmas características sistêmicas da teoria utilizada, assim sendo, a bacia hidrográfica se caracteriza como uma unidade de planejamento dinâmico, que resguarda paisagens onde ocorrem as interações ambientais, que por sua vez, torna

fundamental o entendimento das propriedades e de suas funções para a manutenção de sua ordem, contribuindo para melhor aproveitar a capacidade de suporte aos recursos naturais.

A bacia hidrográfica torna-se um objeto de estudo interessante para a Geografia, no sentido de que esta ciência integra conteúdos epistemológicos de natureza, da sociedade e da economia, permitindo a integração mais rápida de dados e informações.

A integração de saberes hidrológicos com o arranjo natural e socioeconômico, auxilia nas tomadas de decisão sobre os efeitos que os elementos que compõem a bacia hidrográfica podem impactar e ser deteriorados.

Como lócus de investigação desta pesquisa, a bacia hidrográfica do Rio Canhoto, localizada no Agreste de Pernambuco, sofre com a presença de um contínuo processo de degradação ambiental e dispõe de pouca efetividade de políticas de preservação. Torna-se importante, pois, a realização de estudos ambientais para aprimorar e dar suporte aos planejamentos e gerenciamento da bacia.

Diante do exposto, realizar uma análise da potencialidade e vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto tem importância para preservação dos recursos naturais da localidade, pois a compreensão das áreas facilita o planejamento e gerenciamento ambiental da bacia, trazendo meios para a conservação e diminuição da degradação do meio ambiente.

Dentro dessa justificativa, esta pesquisa tenta responder à seguinte indagação: sendo o uso inadequado da natureza através da sociedade um processo que acelera a degradação, quais são as áreas com mais potencialidade de utilização e quais são as vulneráveis na bacia hidrográfica do Rio Canhoto?

Assim, pressupõe-se que as áreas mais vulneráveis da bacia hidrográfica do Rio Canhoto são as localidades próximas aos cursos d'água, que sofrem ações fluviais arrastando sedimentos, além das áreas com ausência de vegetação que deixam determinadas extensões mais vulneráveis. As ações antrópicas influenciam na vulnerabilidade da bacia hidrográfica do Rio Canhoto de forma bastante nítida, visto que existem muitas áreas que foram transformadas para a prática de atividades econômicas, além do desmatamento que propicia o aumento do potencial erosivo da bacia.

Devido as dimensões dos objetos de estudos ambientais, é necessária a utilização de técnicas e ferramentas que permitam a geração rápida e com exatidão dos dados necessários. Nesse sentido, a utilização do geoprocessamento torna-se essencial para o desenvolvimento desses trabalhos, pois de acordo com Gomes (2011), os estudos de

bacias hidrográficas têm se tornado mais fáceis a partir do uso das técnicas de geoprocessamento, facilidade advinda da possibilidade de uma visão simples e abrangente de toda a bacia e pela integração de dados de diversas fontes, executado pelos SIGs.

Câmara (2007), afirma que “o termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais [...]”, fornecidas pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para tratar os processos que ocorrem no espaço geográfico. É uma tecnologia de baixo custo, que mostra maior rapidez no processamento dos resultados em relação aos levantamentos realizados de forma manual.

Dentre as ferramentas disponíveis no geoprocessamento, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) se destaca por englobar um conjunto de ferramentas computacionais compostas de equipamentos e programas que integram dados, facilitando a coleta, armazenamento, processamento, análise e a publicação de resultados (ROSA, 2009; CÂMARA, 2007).

Somado ao geoprocessamento é necessário o trabalho de campo para conhecimento da área estudada e confirmação dos dados e informações geradas em gabinete, sendo uma etapa importante no desenvolvimento do trabalho por permitir maior exatidão nos resultados da pesquisa.

A área de estudo deste trabalho, a bacia hidrográfica do Rio Canhoto, apresenta uma problemática relacionada com um processo de uso e ocupação desordenado e sem nenhuma política pública voltada ao ordenamento territorial, provocando a retirada indiscriminada da cobertura vegetal e a exposição do solo, e aumentando a capacidade de transporte de sedimentos para os corpos d'água. Como exemplo disso, a cidade de Garanhuns, a nona maior cidade de Pernambuco e polo turístico, comercial e educacional do agreste meridional, tem um crescimento desordenado e nenhum tipo de planejamento. Além da região ser a maior produtora de leite do estado (Penaforte JR *et al.* 2009), acarretando em várias áreas destinadas a criação de gado, de forma inadequada.

A identificação das vulnerabilidades e potencialidades serve como subsídio para o ordenamento territorial, que permitirá um melhor aproveitamento dos recursos ambientais da área, diminuindo os efeitos negativos dos usos inadequados desses recursos.

Como elemento base na identificação das vulnerabilidades e potencialidades, será realizado o mapeamento geomorfológico, que permitirá que se tenha uma compreensão da fisiologia, da dinâmica, dos fluxos na bacia estudada, auxiliando no

entendimento dos processos de uso e ocupação da terra e de suas características físico-naturais.

A realização de um zoneamento, identificando áreas sujeitas a perda de solo através de estimativas, vulnerabilidades e potencialidades, também permitirá um melhor controle político-técnico-operacional sobre o uso adequado das áreas vulneráveis.

Esta pesquisa contribuirá tecnicamente para a aplicação da metodologia que sugere para a análise geoambiental em bacia hidrográfica, empregando o geoprocessamento, mais precisamente o Sistema de Informação Geográfica, como meio para a obtenção de informações para a realização de análises e utilização de conhecimentos na obtenção de resultados detalhados capazes de serem utilizados pelos gestores públicos.

Assim, almeja-se identificar e analisar as áreas com maiores potenciais e vulnerabilidades ambientais, indicando as mais apropriadas ao uso e ocupação, para elaboração de planos que visem a gestão apropriada da bacia hidrográfica em questão.

Espera-se que esta pesquisa contribua para reflexões em torno da utilização, do planejamento e do gerenciamento da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, bem como para um repensar sobre a importância de preservar a bacia hidrográfica como um todo, considerando assim a possibilidade de atender as necessidades da população atual e de gerações futuras.

A contribuição desta pesquisa para a ciência geográfica de forma geral, é a aplicação de análises geoambientais, com a abordagem sistêmica, em um ambiente bastante diferente, localizado em uma área de transição ambiental, entre mata e semiárido. Portanto, realizar um diagnóstico geoambiental em áreas que tem diferentes dinâmicas naturais e práticas socioeconômicas distintas é de vital importância.

### 1.1. Localização

O Rio Canhoto é o principal afluente do Rio Mundaú, e a sua bacia hidrográfica ocupa uma área de 1199,362 km<sup>2</sup>. Situada entre as coordenadas 8° 42' e 9° 3' de latitude Sul e 36° 37' e 35° 55' de longitude Oeste, abrange a maior parte na mesorregião do agreste pernambucano (84,24 %) e uma menor do leste alagoano (15,75%), com direção de escoamento voltada para o Sudeste até desembocar no Rio Mundaú (Figura 1).

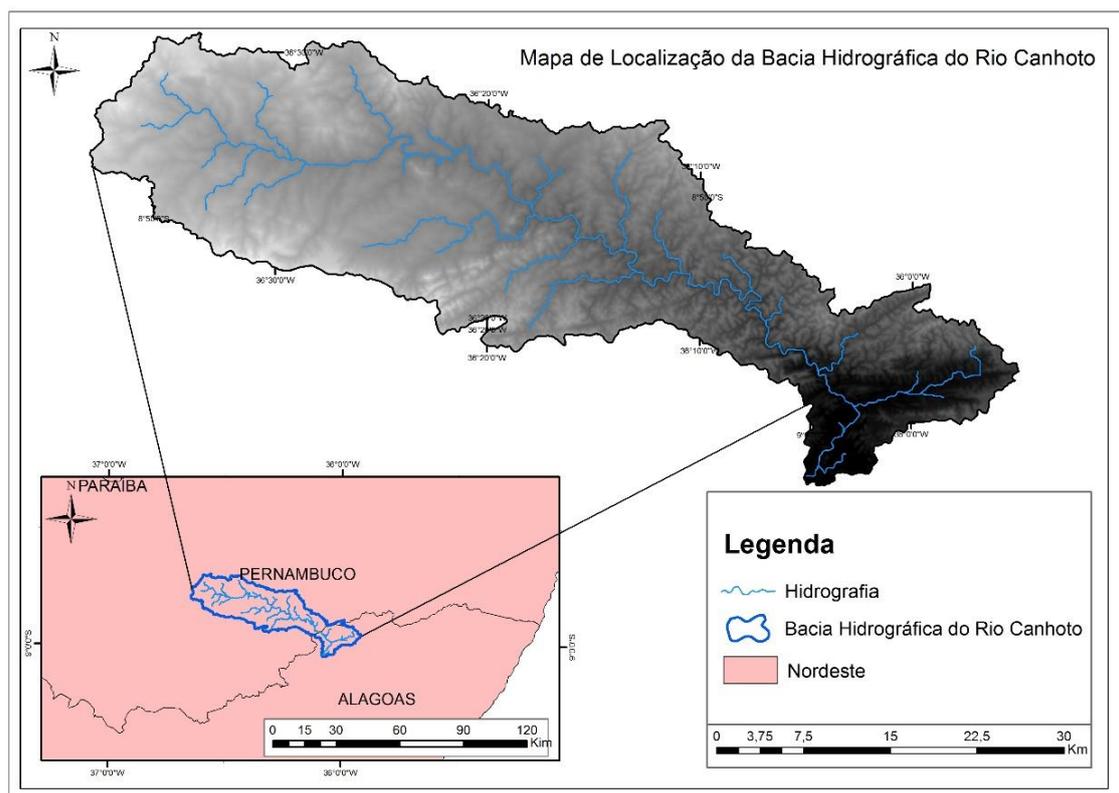


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte. ZANE (2007), ZAPE (2001), SRTM. Elaborado pelo autor.

A área de estudo abrange 15 municípios, 13 em Pernambuco (Angelim, Caetés, Calçado, Canhotinho, Capoeiras, Garanhuns, Jucati, Jupi, Jurema, Lajedo, Palmeirina, Quipapá, São João) e 2 em Alagoas (Ibateguara e São José da Lage). Em Pernambuco o Rio Canhoto é considerado intermitente, mas quando adentra o estado de Alagoas passa a ser um rio perene.

Na Tabela 1 apresentam-se as áreas dos municípios e a área banhada pela Bacia hidrográfica do Rio Canhoto, sendo destaques os municípios de Canhotinho e São João em Pernambuco (Figura 2), pois são os municípios com os maiores percentuais de área banhada pela Bacia Hidrográfica, cerca de 20,55% e 15,74%, respectivamente.

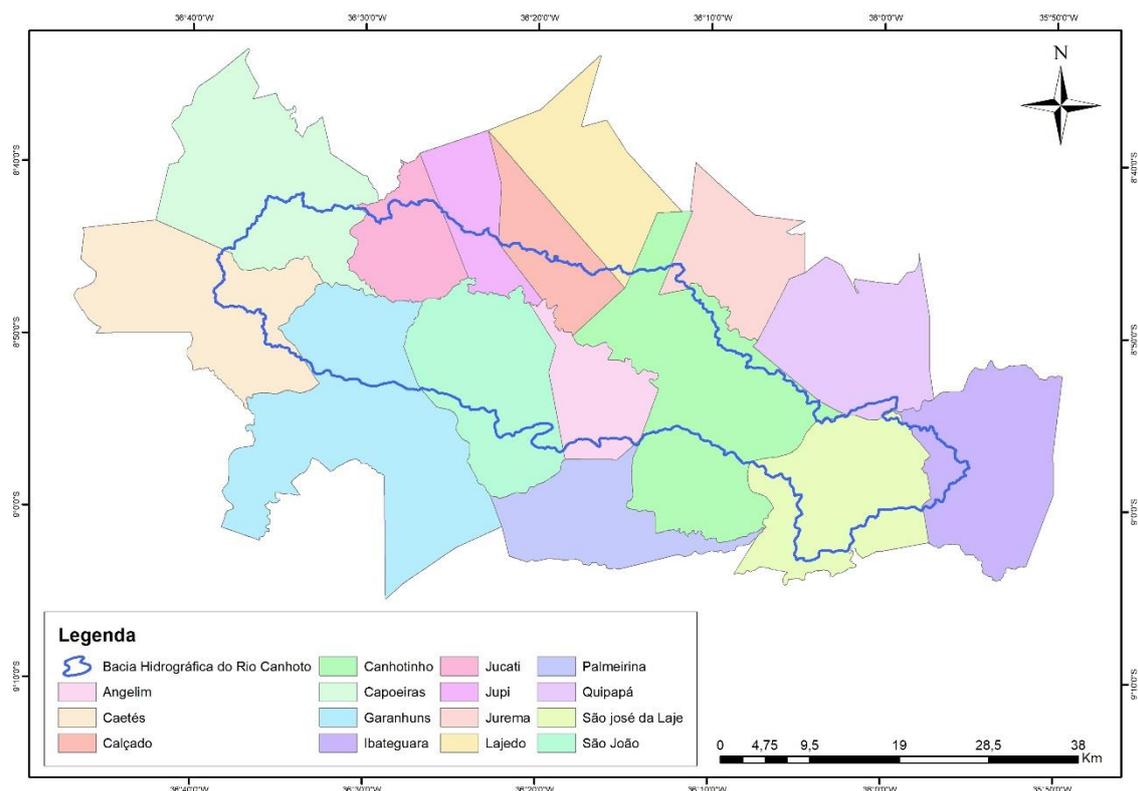


Figura 2 - Mapa dos municípios da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte. ZANE, ZAPE, SRTM. Elaborado pelo autor.

Tabela 1- Municípios banhados pela Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

<b>Municípios</b>	<b>Área Total do Município (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Banhada pelo Canhoto (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área Banhada pelo Canhoto</b>
<b>Angelim-PE</b>	117,41	104,33	8,69
<b>Caetés-PE</b>	329,85	59,87	4,99
<b>Calçado-PE</b>	122,06	55,76	4,64
<b>Canhotinho-PE</b>	425,09	246,53	20,55
<b>Capoeiras-PE</b>	336,99	86,88	7,24
<b>Garanhuns-PE</b>	459,28	114,94	9,58
<b>Ibateguara-AL</b>	268,14	29,85	2,48
<b>Jucati-PE</b>	121,04	99,51	8,29
<b>Jupi-PE</b>	105,13	38,84	3,23
<b>Jurema-PE</b>	148,85	5,17	0,43
<b>Lajedo-PE</b>	189,35	2,24	0,18

<b>Palmeirina-PE</b>	158,02	0,14	0,01
<b>Quipapá-PE</b>	230,54	6,41	0,53
<b>São João-PE</b>	258,99	188,87	15,74
<b>São José da Lage- AL</b>	253,54	159,95	13,33

Fonte: ZANE, ZAPE. Elaborado pelo autor.

Na bacia hidrográfica do Rio Canhoto encontram-se 6 cidades e 2 distritos. Inclusive o nome da bacia é originário do sítio urbano de Canhotinho. Ressalta-se que a bacia hidrográfica tem uma das maiores produções de leite do estado, em toda sua área, sendo em sua maioria produções familiares. Outro ponto que merece destaque é a cidade de Garanhuns, polo turístico, educacional e comercial do agreste meridional do estado de Pernambuco, com influência em sua microrregião de 19 municípios.

## **1.2 . Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Identificar as potencialidades e vulnerabilidades da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto, como subsídio ao ordenamento territorial.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Montar um banco de dados geográfico que possua informações provenientes de dados cartográficos, censitários, imagens de satélite, entre outros;
- Confeccionar mapas temáticos: geológico, geomorfológico, hidrográfico, pedológico, vegetação, topográfico, uso e ocupação do solo;
- Utilizar técnicas de SIG para integrar e analisar dados georreferenciados no intuito de se delinear o perfil social, econômico e ambiental da bacia;
- Avaliar os componentes socioambientais da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto na perspectiva geossistêmica.

## **2. Fundamentação Teórica**

### **2.1 Sistema Ambientais – Geossistemas**

A sistematização conceitual, a fundamentação teórica e as operações técnicas orientadas a partir da análise sistêmica são fundamentais para abordar não somente a caracterização físico-geográfica da bacia hidrográfica, mas fazer uma avaliação dos sistemas ambientais diante da análise integrada da paisagem, frente ao processo de uso e ocupação da terra.

O estudo dos geossistemas fornece elementos para o conhecimento da estrutura e funcionamento da natureza, proporcionando, assim, o planejamento racional do uso e ocupação da terra da área em estudo. Nessa abordagem as relações derivadas da relação sociedade e natureza vem se ampliando e tornando-se necessária ao entendimento dos fenômenos ambientais provenientes dessa relação complexa (AMORIM, 2012).

Para Tricart (1977), a análise sistêmica é o melhor instrumento lógico de que se dispõe para estudar os problemas do meio ambiente, pois o mesmo permite adotar uma atitude dialética entre necessidade de análise e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse ambiente. Sendo assim, o conceito de sistema é de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação em estudos ambientais.

O autor supracitado acrescenta ao estudo do geossistema uma análise mais dinâmica, a abordagem morfodinâmica da paisagem, entendendo os processos do sistema para classificar com base no estado e equilíbrio do ambiente. Assim, é possível estabelecer as relações de formas e processos no meio, na tentativa de esclarecer dados úteis na esfera do planejamento e gestão territorial (AMADOR, 2008).

Para Bertrand (1972) o geossistema corresponde a um modelo de interpretação da paisagem, que busca o entendimento desta a partir dos elementos que a compõe, resultado de uma combinação entre o potencial ecológico (subsistema abiótico, englobando o clima, a hidrologia e a geomorfologia), exploração biológica (subsistema biótico, contendo a vegetação, solo e fauna) e a ação antrópica (subsistema antrópico) (Figura 3). Esse autor considera ainda a paisagem como o resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que se inter-relacionam de forma dialética, formando um conjunto único e indissociável em constante evolução.

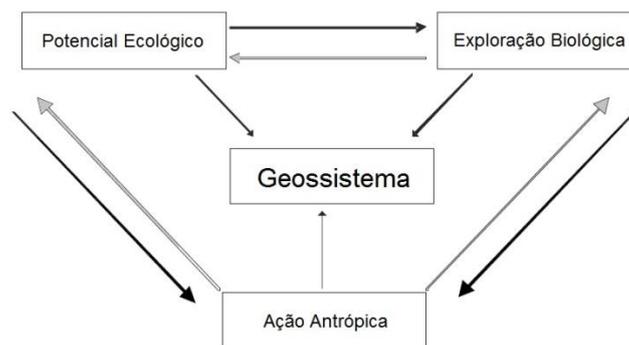


Figura 3 - Geossistema, unidade físico-territorial. **Fonte:** Bertrand, 1972.

Bertrand (op. cit) apresenta uma hierarquização dos geossistemas em seis níveis, distribuídos em duas partes: unidades superiores – Zona, Domínio e Região; unidades inferiores – Geossistema, Geofácies e Geótopo. Esta pesquisa concentra-se nos níveis inferiores, utilizando a compartimentação dos geossistemas.

As unidades apresentadas por Bertrand são resultados das relações entre os fatores atuantes na área de estudo, como declividade, clima, rocha, manto de decomposição, hidrologia das vertentes, e estão associadas a uma dinâmica combinada a elementos químicos, físicos e antrópicos (ROSOLÉM e ARCHALEA, 2010).

Para Sales (2004) é necessário obter dados e informações sobre o potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica, de forma que seja entendido o objeto de estudo a fundo:

Os geossistemas, sob cuja óptica é realizada a maior parte desta pesquisa e atuação dos geógrafos na área ambiental, não eliminam a necessidade do estabelecimento de procedimentos metodológicos necessários à caracterização das variáveis a serem consideradas - é preciso saber quais elementos do relevo, do clima, do solo, da vegetação, são necessários, e qual a importância que eles assumem na dinâmica do meio. Parcela considerável da produção dita geoambiental não considera, no entanto, nenhum desses preceitos teóricos e conceituais, parecendo ser o uso da terminologia relação sociedade x natureza ou meio ambiente suficiente para eximir os pesquisadores da necessidade de definições teórico-metodológicas, próprias desta pesquisa científica (SALES, p. 131, 2004).

Os sistemas ambientais ou geossistemas constituem espaços territoriais que possuem certo grau de homogeneidade fisionômica, dados pelos elementos mais visíveis na paisagem, ou seja, o relevo e a vegetação.

“O geossistema, constituído pelos elementos geográficos e sistêmicos que são compostos por elementos abióticos, bióticos e antrópicos, abrange também os conceitos espacial, natural e antrópico” (ROSOLÉM e ARCHALEA 2010).

Os aspectos geomorfológicos são utilizados como um dos principais critérios para a delimitação dos sistemas ambientais, dadas as suas características de síntese dos processos ambientais. Já a vegetação se apresenta como o reflexo do jogo de interações e interdependências entre os demais componentes do ambiente - potencial ecológico, exploração biológica e utilização humana do espaço (SOUZA, 2000).

Para Christofolletti (2003), uma contribuição necessária consiste em aprimorar o conhecimento sobre as características e processos dos geossistemas, visando conhecer a estabilidade e a resiliência, com isso possibilita avaliar a manutenção da estrutura e realizar modelagens sobre até que ponto a intensidade e extensividade dos impactos antropogênicos poderão ser absorvidos.

Muitos trabalhos almejam a análise da dinâmica da paisagem, por sua vez Erhart (1955) elabora a teoria da Bio-resistasia, onde considera a evolução e a dinâmica, criando assim os conceitos de Bioestasia e Resistasia. Atualizando os conceitos de Erhart (op. cit.), Tricart (1977) propôs a teoria da Ecodinâmica, que avalia o ambiente da superfície terrestre de acordo com o comportamento morfogenético, classificando o ambiente em Estável (prevalendo a pedogênese), Intermediário (equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese) e Instável (prevalendo a morfogênese) (Quadro 1).

Quadro 1 - Ecodinâmica das paisagens, vulnerabilidade e sustentabilidade ambiental.

<b>ECODINÂMICA</b>	<b>CONDIÇÕES DE BALANÇO ENTRE MORFOGÊNESE E PEDOGÊNESE</b>
<b>Ambientes Estáveis</b>	Apresentam uma estabilidade morfogenética antiga; os solos são geralmente espessos e bem evoluídos; há forte predominância dos processos pedogenéticos sobre os processos morfogenéticos; a cobertura vegetal tem características climáticas, estando em equilíbrio com o ambiente físico.
<b>Ambientes de Transição ou Intergrades</b>	Têm ação simultânea dos processos morfogenéticos e dos processos pedogenéticos; há incidência moderada das ações areolares; predominância dos processos pedogenéticos indica tendência à estabilidade; predominância dos processos morfogenéticos demonstra tendência à instabilidade.

<b>Ambientes Fortemente Instáveis</b>	Pedogênese praticamente nula; ausência ou grande rarefação de cobertura vegetal; incidência muito forte dos processos morfogenéticos, especialmente das ações eólicas.
---------------------------------------	--

**Fonte:** Adaptado de Tricart (1977).

Na perspectiva da ecodinâmica, a classificação da paisagem quanto ao grau de estabilidade se dá nessas três situações: ambientes estáveis, ambientes de transição ou intergrades e ambientes fortemente instáveis. Encontra-se diretamente associada a relação pedogênese / morfogênese, permitindo a identificação de unidades ambientais.

Os estudos dessas áreas são necessários para identificação, classificação, diagnóstico, prognóstico e análise, destacando assim suas características homogêneas, cujos limites ultrapassam as demarcações jurídicas e administrativas, sendo delimitadas por elementos naturais, como bacias hidrográficas e as formas de uso da terra (Soares, 2001). Sales (2004) complementa:

A partir dos preceitos teóricos associados ao conceito de geossistemas e em consonância com o crescimento mundial da problemática ambiental, a Geografia penetra a ativa era da análise ambiental, expressa na realização dos diagnósticos, zoneamentos e avaliação de impactos ambientais. De forma secundária, são tratados os temas de manejo e planejamento dos usos dos espaços naturais e, em alguns casos - ainda raros - de recuperação de áreas degradadas (SALES, p. 130, 2004).

Dessa forma, Nascimento (2004/2006) reitera que o geossistema, até então complexo e indefinido no mundo acadêmico, calhou bastante nas análises ambientais, possibilitando e facilitando os estudos integrados da paisagem. Essa abordagem metodológica permite, dentre outras perspectivas, a possibilidade de colher dados e fazer correlações para entender a natureza e todos os seus elementos.

## **2.2 Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental**

Nas últimas décadas a questão da degradação ambiental tem ganhado muita repercussão, pois seus efeitos prejudicam o desenvolvimento da sociedade e o equilíbrio da natureza. Assim, os diversos impactos sobre a paisagem provocam várias transformações dos elementos naturais (KARNAUKHOVA, 2000).

Vilela Filho (2002) afirma que a consequência dos resultados das atividades humanas sob determinadas ações degradantes e sem planejamento, por vezes projetam

uma acelerada degradação ambiental, repercutindo na diminuição dos recursos naturais disponíveis na natureza.

Desse modo, é importante, para que ocorram medidas preventivas e/ou corretivas, que haja planejamento e gerenciamento a partir da identificação das áreas vulneráveis e com potencialidades. Nesse sentido, os estudos sobre os elementos físicos e antrópicos de forma integrada e holística se tornam essenciais para a análise da potencialidade e vulnerabilidade da paisagem, tendo, como resultado desse esforço, um modelo holístico para esta pesquisa que conecte avaliação de risco, plano de resposta, recuperação e reconstrução, pensando num desenvolvimento sustentável (KUHLEN, 2009).

A solução desses problemas exige uma abordagem integrada do uso dos recursos, tanto em relação aos solos quanto aos recursos hídricos, entre outros recursos naturais, que leve em consideração todos os usos e necessidades para que seja garantido não somente o desenvolvimento, mas também a conservação (BAPTISTA, 2003).

Dentre os subsídios que a abordagem integrada dos elementos formadores da paisagem oferece, destacam-se a identificação da vulnerabilidade e da potencialidade, por determinarem localidades que seriam mais aptas a determinados tipos de uso e ocupação. Casseti (2005) destaca que:

Entende-se a vulnerabilidade, tanto em condições naturais quanto prognosticáveis em função de determinados usos ou ocupações, tendo o compartimento topográfico como suporte ou recurso. A potencialidade, conforme o próprio nome indica, refere-se a determinadas individualidades que podem ser racionalmente apropriadas para fins específicos, como a destinação de áreas portadoras de depósitos de cobertura com fertilidade natural às atividades agrícolas, ou ainda morfologias especiais, como as cársticas e falhadas, voltadas a explorações turísticas. Aliando-se os estudos sobre os diferentes graus de vulnerabilidade do relevo a suas potencialidades, torna-se possível produzir mapas com indicações para usos sustentáveis ou destinados à proteção ambiental (CASSETI, 2005).

Noronha (2013) comenta que os estudos relacionados a identificação de potencialidades e vulnerabilidades são de fundamental necessidade para o desenvolvimento de planejamentos ambientais, uma vez que o principal objetivo é o desenvolvimento sustentável.

Para tanto, entende-se a análise das potencialidades como o levantamento de um conjunto de fatores socioeconômicos e naturais de um determinado território, que, numa perspectiva integrada, permite a compreensão das possibilidades de uso e ocupação do solo, das formas de produção e das condições de vida da população (DISTRITO

FEDERAL, 2012). A potencialidade é a aptidão para criação ou substituição de formas de uso do solo de maneira sustentável, com capacidade de resistência e regeneração a mudanças no seu equilíbrio.

Assim, a potencialidade é expressa no uso de indicadores que demonstram a capacidade de suporte a possíveis conflitos de uso e ocupação do solo e a condições de qualidade de vida da população, identificando os fatores dinâmicos e restritivos ao desenvolvimento sustentável (DISTRITO FEDERAL, 2012).

A identificação da potencialidade em uma determinada área é essencial para o auxílio no ordenamento territorial, pois tenta propor as melhores áreas para determinados tipos de uso e ocupação. Clementino (2008) comenta sobre a importância do estudo do território, identificando potencialidades na dimensão físico-territorial, visando a formulação de diretrizes e propostas de ocupação e expansão sustentáveis.

Junto com a análise da potencialidade, para compreender e auxiliar no ordenamento territorial, a vulnerabilidade aparece como forma de identificar áreas de risco e designar o nível de predisposição de uma área a sofrer algum tipo particular de agravo. Ressalta-se que, como o conceito de potencialidade, a vulnerabilidade implica necessariamente a abordagem integrada e holística sobre a paisagem (OJIMA, 2012). Na tentativa de compreender a vulnerabilidade, Figuerêdo *et al.* (2007) dizem que:

A vulnerabilidade está relacionada com a susceptibilidade de uma área em sofrer danos quando submetida a uma determinada ação, sendo no caso em estudo, à ação do aporte de nutrientes num corpo d'água. Quanto maior a vulnerabilidade da bacia, menor a chance de recuperação do ambiente. Conhecer a vulnerabilidade de uma área a determinados fatores de pressão ambiental auxilia na priorização de investimentos públicos, normalmente escassos, em diferentes regiões (FIGUERÊDO *et al.* 2007).

Santos, Ruchkys e Gomes (2014) complementam que a vulnerabilidade pode ser entendida como a resposta do meio diante de uma perturbação, onde os efeitos resultantes dependerão da interação entre as características socioeconômicas e ambientais, intrínsecos de cada tipo e magnitude da perturbação sofrida. O referido autor aponta ainda que duas outras questões devem ser consideradas para a compreensão da vulnerabilidade: persistência e resiliência do ambiente. Assim, a vulnerabilidade será mais alta, quanto mais baixas forem a persistência e a resiliência do local.

Diante dessas considerações sobre a vulnerabilidade, Kuhnen (2009) observa que uma grande quantidade de trabalhos teóricos e empíricos têm sido realizados, na tentativa de reduzir a vulnerabilidade para perdas em desastres naturais e relacionados

com a tecnologia, pois é um indicador fundamental na elaboração de planejamentos para o ordenamento territorial.

Para a identificação da potencialidade e vulnerabilidade é necessário levantar um conjunto de informações para servirem como indicadores, sendo trabalhados de forma integrada. De certa maneira, a vulnerabilidade e a potencialidade não são medidas únicas, mas relacionais, onde as dinâmicas ambientais podem variar dependendo das interações ou combinações de características sociais existentes (MARANDOLA JR, 2009; MARANDOLA JR; HOGAN, 2006).

Ojima (2012) destaca que as condicionantes físicas e antrópicas devem ser analisadas caso a caso para que seja possível o entendimento de um ou outro elemento, com maior ou menor relevância, e onde integradas possam agir simultaneamente e com a mesma intensidade na exposição da vulnerabilidade e da identificação de potencialidades da paisagem.

Nesse sentido, a pressão das atividades antrópicas está cada vez maior sobre os ecossistemas naturais e os locais dedicados à atividade produtiva têm aumentado, provocando diversos efeitos negativos que diminuem a qualidade de vida dos habitantes atuais, e comprometem o bem-estar das gerações futuras (PRIEGO *et al.* 2010).

Por sua vez, a necessidade do uso racional e sustentável dos recursos naturais é atualmente muito importante para a sociedade, tendo em vista a crescente demanda sobre esses recursos, principalmente em regiões como a do Nordeste do Brasil, que apresenta um grande desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água, e que ainda sofre com problemas de contaminação do solo e da água pelo uso inapropriado.

### **2.3 Planejamento ambiental em bacias hidrográficas**

A bacia hidrográfica é uma unidade espacial utilizada para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos brasileiros (BRASIL, 1997). Torna-se uma unidade territorial ideal para análise dos recursos naturais da superfície terrestre, por se configurar um sistema com características físicas e naturais de integração, facilitando assim a implementação do planejamento e da gestão ambiental e territorial.

Botelho e Silva (2004) analisam que a bacia hidrográfica tem sido objeto de estudo da geografia física desde o fim da década de 1960, sendo reconhecida como uma unidade espacial de análise ambiental, permitindo a compreensão e avaliação dos elementos, processos e interações que nela ocorrem.

Barrella (2001) define bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formadas nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde por efeito da gravidade, a água escoia superficialmente formando rios ou infiltram no solo, e na medida que descem, juntam-se a outros riachos aumentando o volume, formando rios maiores até desembocarem no oceano.

Segundo Christofolletti (1980), a bacia hidrográfica é uma excelente opção de investigação, pois esse ambiente é reconhecido como um sistema aberto, dinâmico, onde ocorrem trocas constantes de matéria e energia, sendo assim, uma área que abrange todos os organismos funcionando em conjunto, agindo mutuamente com os demais elementos.

Já Nascimento (2011) ressalta que as bacias hidrográficas, na condição de unidades funcionais de planejamento, resguardam paisagens onde ocorrem interações ambientais, colaborando para que sejam eleitas unidades de planejamento territorial/ambiental adequadas para o gerenciamento dos recursos hídricos, expondo suas características geoambientais, constituindo unidade natural indissociável e interagente, facilitando o ordenamento, e contribuindo para um melhor aproveitamento dos recursos naturais.

De acordo com Tutti e Mendes (2006), a bacia hidrográfica é formada pela interação de elementos físicos que estabelecem as características de cada seção de curso d'água:

Esta área é definida pela topografia da superfície, no entanto, a geologia do sub-solo pode fazer com que parte do escoamento que infiltra no solo escoie para fora da área delimitada superficialmente. Esta diferença pode ser significativa para bacias pequenas e para formações geológicas específicas como o Karst. As características principais da bacia hidrográfica são a área de drenagem, o comprimento do rio principal, declividade do rio e a declividade da bacia. Em geral rios possuem um trecho superior, onde a declividade não é muito grande, seguido e por um trecho médio de grande declividade e no seu trecho inferior a declividade é pequena onde o rio tende a meandrar (TUTTI e MENDES, p. 19, 2006).

Nesse sentido, é importante considerar as características naturais da bacia hidrográfica, analisando-as de forma sistêmica e considerando-as como um todo, pois essas características refletem inúmeros processos de sua evolução e determinam a capacidade de suporte, possibilitando o melhor aproveitamento dos recursos naturais, servindo assim como base para o planejamento e a gestão.

A partir desse viés de análise e reflexão, busca-se abordar a concepção integrativa que deriva do estudo unificado das condições naturais em que vive o homem e onde se adaptam os demais seres vivos (SOUZA, 2000), corroborando com a

necessidade do uso e gestão racional dos recursos hídricos na área que compreende o objeto de estudo.

A bacia hidrográfica tem se tornado um objeto de estudo e unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental, cada vez mais utilizado para elaboração de planejamentos e gerenciamentos ambientais, pela perspectiva de análise de uma área com uma dinâmica homogênea.

Schiavetti e Camargo (2006) explicam que, segundo a visão do gestor ou planejador norteado para a conservação dos recursos naturais e organização do território, o conceito de bacia hidrográfica tem sido ampliado, visando a abrangência das características hidrológicas, envolvendo o conhecimento dos aspectos biofísicos, bem como as mudanças dos padrões de uso e ocupação da terra e suas implicações ambientais. Esses autores salientam que vários autores ressaltam a importância do conceito de bacia hidrográfica como análogo ao estudo de sistemas, como uma unidade prática, seja para estudo ou para gerenciador.

A necessidade de estudos que possam subsidiar o planejamento e gestão do ambiente devem ser abrangentes e capazes de avaliar a degradação crescente dos recursos naturais, apontando para uma visão holística e integrada do diagnóstico e avaliação das características e funcionamento dos elementos que compõem os sistemas ambientais, sociais e econômicos (GUERRA & MARÇAL, 2006), evitando assim a degradação ambiental.

Segundo Christofolletti (2003), o termo planejamento abrange uma gama de atividades que servem de base às tomadas de decisão, permitindo a produção de infraestrutura organizacional, na qual os planejadores podem produzir relatórios de pesquisa, relatórios de políticas, material informativo e, entre eles, planos oficiais, planos de reformulação, programas de implementação e delineamento de projetos. Ainda segundo esse autor, outro aspecto inerente é que o planejamento sempre envolve a questão da espacialidade, incidindo na implementação de atividades em um território, repercutindo nas características, funcionamento e dinâmica das organizações espaciais.

Para Argento (2003), a aplicação do planejamento se dá à medida que se ocupa ordenadamente o meio físico, buscando adequadamente proteção ambiental e uso racional do solo, direcionando as atividades agropastoris, obras civis e outros.

Botelho (1999) ressalta que o planejamento ambiental é utilizado de forma abrangente e que pode ser usado para definir todo e qualquer projeto de planejamento de uma determinada área que leve em consideração fatores físico-naturais e

socioeconômicos para a avaliação das possibilidades de uso do território e/ou dos recursos naturais.

Conforme Nascimento (2011), a investigação de bacias hidrográficas utilizadas para o planejamento ambiental, permitirá a execução de trabalhos holísticos na abordagem sobre os recursos hídricos, permitindo as seguintes intervenções políticas:

“subsidiar o desenvolvimento de parcerias e resolução de conflitos para usos dos recursos naturais, como ainda analisar a degradação ambiental tomando-se por base sistemas fluviais; estimula e permite a participação popular, democraticamente; comporta-se como uma unidade fisiográfica indissociável possível de ser compartimentada em trabalhos geoambientais integrados; possibilita uma forma racional de organização de banco de dados, além de garantir opções para o uso dos mananciais e de seus recursos naturais; evidencia o estado de degradação ambiental pela eutrofização, bem como pelo assoreamento dos corpos hídricos; e apresenta um arcabouço jurídico-ambiental bem consubstanciado para o combate à degradação ambiental/desertificação, nas Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD’s)” (NASCIMENTO, 2011, p. 62).

Dessa forma, Nascimento (2013) diz que as bacias hidrográficas adquirem importância no planejamento e gestão ambiental, uma vez que a mesma representa uma unidade de planejamento mais apropriada aos estudos de preservação e conservação ambiental, visando a manutenção da qualidade de vida.

Para o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas, é essencial considerar as diferenças de paradigma de um sistema setorial, local e de respostas à crise para um sistema integrado, preditivo e em nível de ecossistema (NASCIMENTO, 2008). Sousa e Fernandes (2000) afirmam que é preciso integrar ao estudo sobre uma bacia, não apenas os recursos hídricos, como também outros aspectos que possam estar relacionados com seu gerenciamento, para que esta não venha a sofrer ações negativas.

A sistematização do conhecimento de uma bacia hidrográfica é fundamental para compreensão de sua dinâmica. Lima e Zakia (2000) dizem que bacias hidrográficas representam sistemas abertos, pois recebem energia através de agentes climáticos e perdem através do deflúvio, podendo ser descritos em termos de variáveis interdependentes.

Como elemento sistêmico, a bacia hidrográfica tem que ser caracterizada por todos os fatores físico-naturais que podem influenciar em sua dinâmica, pois, com a compreensão de tais elementos, fica mais fácil realizar trabalhos de planejamento e gerenciamento.

A análise sistêmica e integrada deve ser realizada nos estudos de bacias hidrográficas, uma vez que a compreensão dos elementos hidrológicos que a compõem e os processos a elas relacionados, além da intervenção humana, são necessários para avaliar o equilíbrio do sistema ambiental.

Com essas considerações, Schiavetti e Camargo (2006) sintetizam a importância do estudo da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental:

Em síntese, o uso da **BH** como unidade de gerenciamento da paisagem é mais eficaz porque: (i) no âmbito local, é mais factível a aplicação de uma abordagem que compatibilize o desenvolvimento econômico e social com a proteção dos ecossistemas naturais, considerando as interdependências com as esferas globais; (ii) o gerenciamento da **BH** permite a democratização das decisões, congregando as autoridades, os planejadores e os usuários (privados e públicos) bem como os representantes da comunidade (associações sócio-profissionais, de proteção ambiental, de moradores etc.), e (iii) permite a obtenção do equilíbrio financeiro pela combinação dos investimentos públicos (geralmente fragmentários e insuficientes, pois o custo das medidas para conservação dos recursos hídricos é alto) e a aplicação dos princípios usuário-pagador e poluidor-pagador, segundo os quais os usuários pagam taxas proporcionais aos usos, estabelecendo-se, assim, diversas categorias de usuários (SCHIAVETTI E CAMARGO, p. 21, 2006).

Nesse sentido, as alterações realizadas na bacia hidrográfica, derivados dos usos da terra, provocam impactos e alteram o comportamento do escoamento, da vazão e da dinâmica a jusante da mesma.

A degradação ambiental é consequência do uso indisciplinado dos recursos naturais, sejam eles renováveis ou não renováveis, onde ações de uso indiscriminado contribuem para tornar os recursos renováveis em não renováveis, provocando o esgotamento dos solos devido ao grau irreversível dos impactos ambientais face a capacidade de suporte dos geossistemas (NASCIMENTO et al., 2008).

Conforme Christofolletti (2003), o conhecimento geomorfológico surge como instrumento utilizado e inserido na execução de diversas categorias de planejamento. Dessa forma, os mapeamentos geomorfológicos se revestem, tecnicamente, das características de suporte fundamental para execução de projetos de aplicação ambiental (ARGENTO, 2003).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados para o entendimento de bacia hidrográfica, conceitos de autores como Christofolletti (1982); Nascimento et al. (2008) e Nascimento (2011). Estes, estão alinhados a compreender a bacia hidrográfica como um sistema dinâmico que resguarda paisagens nas quais ocorrem interações ambientais.

## 2.4 Zoneamento Ambiental

O desenvolvimento econômico implica na intensificação da atividade econômica, que, se realizada de forma irregular e intensiva, aumenta o processo de degradação ambiental, provocando a diminuição da potencialidade das áreas e crescimento de vulnerabilidades (BOTELHO e SILVA *et al.* 2004). Para a melhoria das condições naturais do meio ambiente, é recorrente a criação de estratégias voltadas ao desenvolvimento sustentável.

Seguindo esse raciocínio, o planejamento e o gerenciamento ambiental no Brasil seguem a orientação de instrumentos de organização, como planos diretores ambientais, planos de manejo ou planos de bacias hidrográficas que demonstram as disparidades que ocorrem nas áreas a serem administradas.

Dentre os planos para gerenciamento ambiental e socioeconômico, destaca-se o zoneamento ambiental, que, para Silva *et al.* (2007), baseia-se em diagnósticos que identificam, localizam e analisam os recursos naturais e a interferência social por meio de levantamentos e sobreposição de vários tipos de informações temáticas.

De acordo com Becker & Egler (1997), o zoneamento ambiental é um instrumento político e técnico do planejamento cuja finalidade última é otimizar o uso do espaço e as políticas públicas. Esta otimização é alcançada pelas vantagens que ele oferece, tais como:

a) é um instrumento técnico de informação sobre o território, necessário para planejar a sua ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais - provê uma informação integrada em uma base geográfica; - classifica o território segundo suas potencialidade e vulnerabilidade; b) é um instrumento político de regulação do uso do território: - permite integrar as políticas públicas em uma base geográfica, descartando o convencional tratamento setorizado de modo a aumentar a eficácia das decisões políticas; - permite acelerar o tempo de execução e ampliar a escala de abrangência das ações, isto é, aumenta a eficácia da intervenção pública na gestão do território; - é um instrumento de negociação entre as várias esferas de governo e entre estas, o setor privado e a sociedade civil, isto é, um instrumento para a construção de parcerias; c) é um instrumento do planejamento e da gestão territorial para o desenvolvimento regional sustentável (BECKER & EGLER, 1997).

Para Botelho (1999), o mapeamento das unidades ambientais, na elaboração do zoneamento ambiental, busca representar a análise da paisagem, organizando espacialmente as informações sobre elas, identificando este um sistema espacial, em regiões definidas.

O diagnóstico e a avaliação das características e funcionamento das unidades mapeadas dos sistemas ambientais físicos, como no caso específico dos condicionantes geomorfológicos e hidrológicos, assinalam potencialidades para os programas de desenvolvimento (CHRISTOFOLETTI, 2003). “A informação tem um papel muito importante neste ciclo, pois descreve estados, condições e relações, assim como contribui para o processo de tomada de decisões e transmite conhecimentos” (KUHNNEN, 2009).

A possibilidade de reconhecimento e mapeamento de unidades ambientais decorre da própria evolução da paisagem como um sistema espacial, conduzindo a certa ordenação de seus elementos físicos, como bem demonstra sua identificação (Botelho, 1999).

A função da compartimentação é subdividir o relevo em unidades que permitem um tratamento individual. As características individualizadas expõem os processos morfogenéticos que atuaram em cada unidade, sendo esses diferentes dos que agiram nas outras unidades (CASSETI, 2005).

Ross (1991), analisando a complexidade de ambientes naturais, ressalta a importância do fracionamento do quadro ambiental, definindo o grau de detalhamento e verticalização desta pesquisa e da geração da informação, passando obrigatoriamente pela definição da escala de trabalho.

A aplicação do zoneamento ambiental permite estabelecer o grau de potencialidade e de vulnerabilidade do ambiente, permitindo um prognóstico de seu comportamento futuro, diante das diversas alternativas de expansão e integração da estrutura produtiva regional no processo de ocupação e uso do território (BECKER & EGLER, 1997).

A lei 6.938/81 que trata da Política Nacional do Meio Ambiente, estabelece em seu artigo 9º, inciso II, como instrumento o “Zoneamento Ambiental”, servindo para atender os seguintes objetivos: "preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana" (Lei. 6.938/81) .

Para Lopes, Cestaro e Kelting (2012), a referida lei transforma o Zoneamento Ambiental como um “princípio, uma norma e uma regra” para políticas públicas com a finalidade de uso sustentável dos recursos naturais e conservação, preservação e promoção das condições naturais e sociais adequadas.

Já o Decreto Nº 4.297, de 10 de julho de 2002, estabelece critérios para o Zoneamento, e destaca que esse instrumento de organização do território deve ser

obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades, sendo elas públicas ou privadas, estabelecendo medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo, e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população.

Dentre os objetivos do zoneamento, o Decreto N° 4.297 estabelece:

“organizar, de forma vinculada, as decisões dos agentes públicos e privados quanto a planos, programas, projetos e atividades que, direta ou indiretamente, utilizem recursos naturais, assegurando a plena manutenção do capital e dos serviços ambientais dos ecossistemas. Distribuição espacial das atividades econômicas levará em conta a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território e determinando, quando for o caso, inclusive a realocação de atividades incompatíveis com suas diretrizes gerais” (DECRETO N° 4.297/2002).

As suas maiores funções são o zoneamento, o monitoramento dos efeitos do desenvolvimento, os problemas da degradação ambiental e o fortalecimento das normas embutidas na legislação (BECKER & EGLER, 1997).

“O zoneamento, portanto, não é um fim em si, nem mera divisão física, e tampouco visa criar zonas homogêneas e estáticas cristalizadas em mapas. Trata-se sim, de um instrumento técnico e político do planejamento das diferenças, segundo critérios de sustentabilidade, de absorção de conflitos, e de temporalidade, que lhe atribuem o caráter de processo dinâmico, que deve ser periodicamente revisto e atualizado, capaz de agilizar a passagem para o novo padrão de desenvolvimento (BECKER & EGLER, 1997)”.

Propõe-se a sistematização teórica e as operações técnicas dirigidas pela análise sistêmica, no intuito de integrar a caracterização físico-geográfica com uma avaliação dos sistemas ambientais, atrelado aos mais diversos processos de uso e ocupação da terra (GOMES *et al.* 2013).

### 3. Materiais e Métodos

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

#### Materiais

##### ➤ Imagens Orbitais

Para realização desta pesquisa, foram utilizadas imagens da série de constelação de satélites Sentinel-2, que são um conjunto de satélites artificiais, desenvolvida pela European Space Agency (ESA), no programa de Monitoramento Global do Ambiente e Segurança, através do sensor *Multi-Spectral Instrument* (MSI), gerando dados multi-espectrais com 13 bandas.

O sistema de constelação Sentinel-2 possui uma resolução temporal de 8 dias, com órbita heliossíncrona, tendo um campo de visão de 290 km. Para maiores informações, foi elaborada a Tabela 2 com informações sobre o Sentinel-2.

Tabela 2 - Informações da Sentinel-2/MSI

Sentinel - 2		
Bandas Espectrais	Comprimento de Onda Central (µm)	Resolução Espacial (m)
Banda 1 - Aerossol costeiro	0,443	60
Banda 2 - Azul	0,490	10
Faixa 3 - Verde	0,560	10
Faixa 4 - Vermelho	0,665	10
Faixa 5 - Borda vermelha da vegetação	0,705	20
Banda 6 - Vegetação Borda Vermelha	0,740	20
Banda 7 - Vegetação Borda Vermelha	0,783	20
Banda 8 - NIR	0,842	10

Banda 8A - Vegetação Borda Vermelha	0,865	20
Faixa 9 - Vapor de água	0,945	60
Banda 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Faixa 11 - SWIR	1,610	20
Banda 12 - SWIR	2.19	20

As imagens foram obtidas através da USGS (*United States Geological Survey*), no site <<http://earthexplorer.usgs.gov>>, assim, foram baixadas cinco imagens, no dia 08 de outubro de 2016, sendo um período pós-chuva na região, com o objetivo de elaborar o mapa de localização, imagem índice de vegetação SAVI, uso do solo e como auxílio na elaboração de outros dados, como o mapeamento geomorfológico.

#### ➤ Imagens de Radar

Foram necessários dados altimétricos do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com uma resolução reamostrada de 90 para 30 metros, através do método de interpolação de Krigagem, podendo ser acessado através do site <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Para a área objeto do estudo, foram adquiridas quatro cenas: 08S36ZN, 08S375ZN, 09S36ZN e 09S375ZN.

A finalidade da obtenção de imagens SRTM, é a extração de informações altimétricas, morfometria e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

#### ➤ Dados Geocartográficos

Foram obtidos dados geocartográficos de diversos institutos e pesquisas no formato Shapefile (ESRI), que propiciam a fácil manipulação dos dados. Esses foram adquiridos das seguintes instituições:

- ✓ Base cartográfica no formato shapefile com informações do diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico da região nordeste do Brasil (ZANE), na escala de 1: 2 000 000, disponível pela EMBRAPA, CNPS e CPATSA.
- ✓ Base cartográfica no formato shapefile, com informações dos solos, clima, recursos hídricos, socioeconomia, potencial de terras para irrigação e aptidão pedoclimática

por cultura, de todo o Estado de Pernambuco (ZAPE), na escala de 1:100 000, disponível pela EMBRAPA.

- ✓ Base cartográfica no formato shapefile, com informações sobre os limites estaduais do Brasil, na escala de 1:500 000, disponível pelo IBGE.
- ✓ Base cartográfica no formato shapefile, com informações de séries pluviométricas do Brasil, através do HidroWeb, disponível pela Agência Nacional de Águas (ANA).

#### ✓ Programas Utilizados

Esta pesquisa utilizou softwares que auxiliassem na obtenção de resultados mais precisos, para isso foram usados programas gratuitos e pagos. Os não gratuitos foram adquiridos através das licenças de teste. Foram utilizados os seguintes softwares:

- ✓ ARCGIS 10. 2. 2, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), sendo utilizada a licença de teste grátis por 3 meses, através do site <<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/free-trial>>.
- ✓ ESTIMA T, Software de estimativa das temperaturas do ar do Nordeste brasileiro, através de coeficientes da função quadrática para as temperaturas média, máxima e mínima mensal. Desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande, no Departamento de Ciências Atmosféricas
- ✓ GPS TRACKMAKER® 13.9, desenvolvido pela Trackmaker, sendo um programa gratuito, disponível através do site <<http://www.trackmaker.com/downloads.php?lang=port>>
- ✓ QGIS 2.16, desenvolvido pelo Open Source Geospatial Foundation, obtido através do site <[http://www.qgis.org/pt\\_BR/site/](http://www.qgis.org/pt_BR/site/)>.
- ✓ SPRING® 5.4.3, desenvolvido pelo INPE (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*) com a participação do EMBRAPA/CNPTIA; IBM Brasil, TECGRAF e Petrobrás, sendo um software livre e gratuito, disponibilizado através do site <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>>.

## **Métodos**

A sistematização das operações técnicas orientadas a partir da análise sistêmica é fundamental para abordar não somente a caracterização físico-geográfica da bacia hidrográfica, mas para fazer uma avaliação dos sistemas ambientais diante da análise integrada da paisagem, frente ao processo de uso e ocupação da terra. Assim, para melhor elaboração do trabalho, os procedimentos metodológicos foram divididos em algumas etapas sequenciais, para que deem suporte para análise dos resultados desta pesquisa, além de dar uma maior integridade ao trabalho. Podem ser observados no seguinte fluxograma da Figura 4.

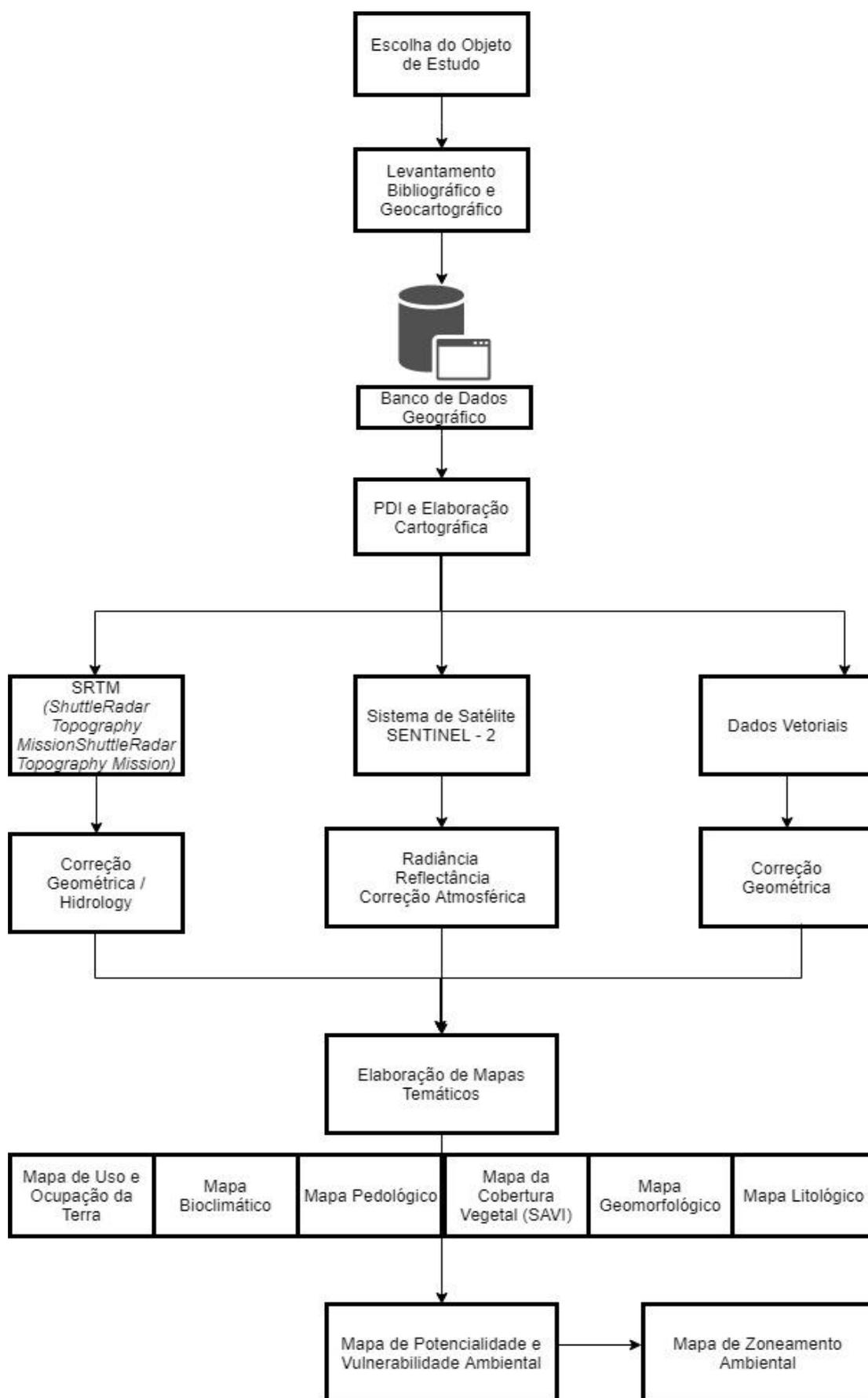


Figura 4: Fluxograma dos procedimentos metodológicos. Fonte: Elaborado pelo autor

## **Levantamento Bibliográfico e Geocartográfico**

Esta etapa consistiu no levantamento da bibliografia referente a área de estudo e as metodologias e técnicas voltadas para o mapeamento da potencialidade e vulnerabilidade ambiental, além da aquisição de dados cartográficos e imagens de satélite, que foram disponibilizadas por diversas instituições voltadas ao mapeamento das condições ambientais.

Foram consultadas diversas fontes bibliográficas, entre elas: artigos, monografias, livros, dissertações, teses, entre outros materiais, para dar suporte teórico à pesquisa. Foram também obtidos dados geocartográficos para elaboração do banco de dados e caracterização da área de estudo.

Foram levantadas informações sobre os elementos físicos da área de estudo, que influenciem na vulnerabilidade ambiental e potencialidade, como: litologia, declividade, classes de solo, índice de pluviosidade, temperatura, índice de vegetação, uso e ocupação do solo, e etc.

É importante destacar que durante todo o processo da elaboração desta pesquisa, as informações e dados obtidos foram consultados de forma contínua, com o objetivo de alcançar um conhecimento mais profundo do tema abordado.

## **Elaboração do Banco de Dados**

Esta etapa teve por finalidade elaborar o banco de dados geográfico, reunindo todas as informações coletadas na última etapa, em ambiente SIG. Todo o material geocartográfico foi integrado com o objetivo de analisar os elementos físicos e socioeconômicos em interação.

De posse das informações geocartográficas, todos os dados vetoriais e as imagens de satélite foram armazenados em ambiente SIG, sendo realizada a conversão do material para o sistema de projeção UTM, Datum WGS84 24S, de acordo com as normas oficiais da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR, 2010). Para isso foi utilizado o software *ArcGis* 10.2.2.

A partir daí, foi possível organizar as informações diferenciando em banco de dados espaciais e de atributos. O banco de dados espaciais descreve a forma e a posição das características da superfície do terreno e o de atributos descreve as qualidades e características das formas. Dessa forma, é possível realizar em ambiente SIG a elaboração

de mapas temáticos que deram suporte para o mapa síntese, o de potencialidade e vulnerabilidade ambiental.

### **Processamento Digital de Imagens e Elaboração dos Mapas**

Nesta etapa especifica-se como foi realizado o Processamento Digital das Imagens – PDI e a elaboração dos mapas.

Originalmente as imagens de satélite apresentam deformações em sua geometria e distorções nas faixas espectrais, que precisam ser corrigidas para que tenham confiabilidade. Essas imperfeições derivam da instabilidade da plataforma espacial onde encontram-se os sensores e pela influência da atmosfera sobre o espectro eletromagnético.

Para o tratamento das imagens utilizadas no trabalho, foi feito uso dos Sistemas de Informação Geográfica, através dos *softwares ArcGis 10.2* e o *Spring 5.4.3*. Foram utilizadas técnicas de correção geométrica, radiométrica, reflectância e correção atmosférica.

A correção geométrica foi utilizada para a correção de posicionamento dos dados causado por deslocamento sofrido pelo sistema de eixos do sensor. As imagens foram baixadas com o sistema de projeção *Universal Transverso Mercator* (UTM), no Datum WGS84, zona 24 Norte. Assim, foi definido para as imagens o sistema projeção UTM, no Datum WGS84, zona 24 Sul.

#### ➤ Procedimentos adotados nos dados SRTM

Para o entendimento e análise de bacias hidrográficas, é necessário utilizar dados do MDE (Modelo Digital de Elevação), que contém informações sobre as características altimétricas. Santos et al. (2016) explicam que um MDE é um modelo capaz de representar a superfície altimétrica de um terreno imerso ou emerso, sem cobertura vegetal ou construções.

Um dos MDEs mais utilizados pela comunidade científica é o obtido pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (VALERIANO, 2004). Essa missão teve o intuito de obter um modelo digital de elevação entre as latitudes 54° S e 60°N, cerca de 80% do Globo Terrestre através da interferometria (LANDAU et al. 2011).

Landau (op. Cit) revela que os dados do SRTM foram processados pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), no projeto conhecido como Topodata, que tinha o objetivo de refinamento da resolução espacial, para o tamanho da célula/pixel de 30 m.

Para o tratamento dos dados do SRTM com o intuito de fazer correções sobre “buracos” na imagem, foi preenchido pequenas imperfeições e removendo os vazios ou erros que ocorrem devido a algumas interferências na obtenção dos dados, foi utilizado o software *ArcGis* 10. 2. 2.

Por sua vez, utilizando as imagens SRTM e com o auxílio do SIG *ArcGis*, através da caixa de ferramentas *hydrology*, foi identificada a direção do fluxo das drenagens, gerando um novo *raster* contendo a direção do fluxo, onde cada pixel é potencialmente cercado por 8 pixels, de forma que a inclinação destes pode ser calculada, tomando-se a diferença em elevação indicada pelo DEM para cada uma destas 8 localidades vizinhas e o valor demonstrado no pixel a ser examinado.

A partir do fluxo de direção gerado, é criado um novo *raster*, obtendo-se a acumulação do fluxo, e identificando as drenagens. De posse das drenagens, é possível delimitar a área de drenagem da bacia hidrográfica em estudo.

Além da utilização do SRTM para a análise hidrológica do trabalho, os dados também foram integrados no mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, explicado no tópico 1.2.4.

➤ Procedimentos adotados nas imagens do sistema de satélite Sentinel-2

Foram executadas duas fases importantes para realização do PDI nas imagens de satélite. Foram realizadas correções para uma melhor visualização dos componentes da imagem, que contribuíram para a extração de informações mais confiáveis.

Nesse sentido, foram adotadas as correções radiométrica, reflectância e atmosférica das imagens de satélite para serem utilizadas no processamento da extração de informações, como uso do solo e SAVI, no intuito de auxiliarem na caracterização das potencialidades e da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Como forma de melhor entendimento, foi elaborado o seguinte fluxograma demonstrado na figura 5.

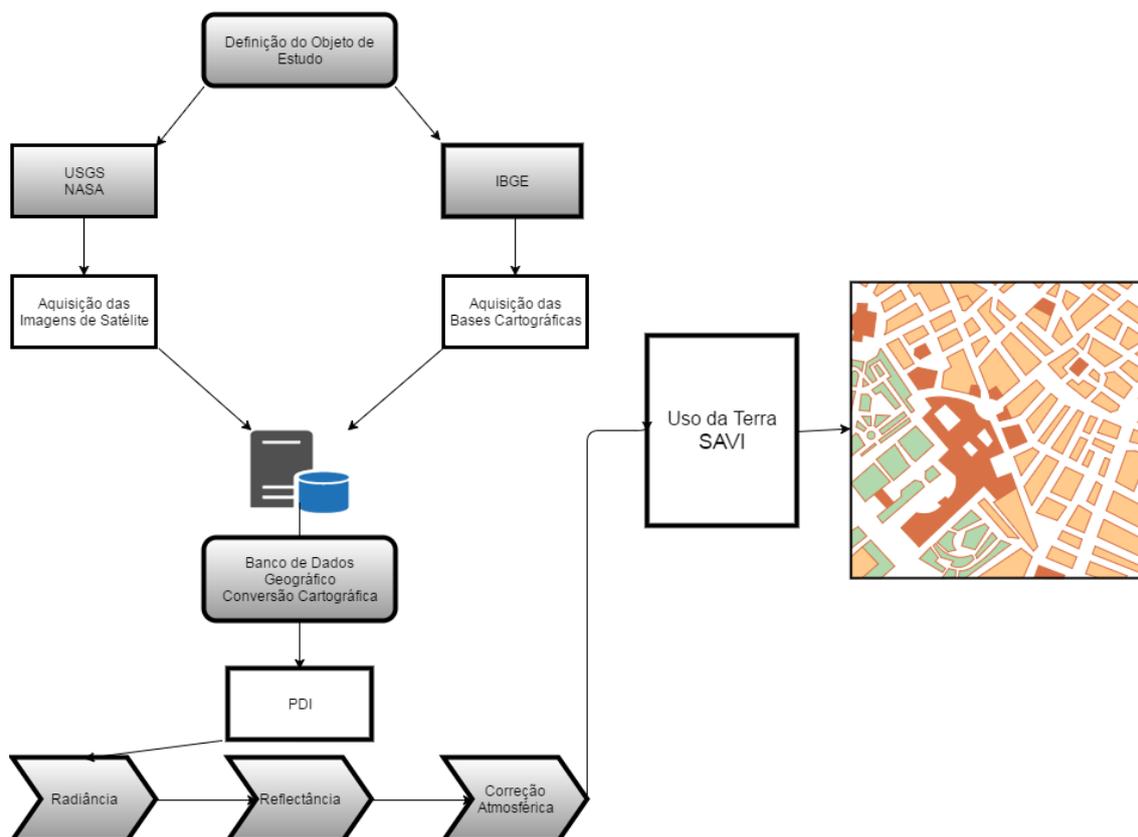


Figura 5: Fluxograma dos procedimentos técnicos utilizados no processamento das imagens Sentinel-2. Elaborado pelo autor.

A primeira etapa foi a aplicação das técnicas de processamento digital nas imagens do sistema de satélite Sentinel-2, a fim de obter melhores resultados. Para isso, foi aplicado o cálculo de Radiância para as imagens do Sentinel-2 (Menos nas bandas do termal), tentando evitar a influência da atmosfera sobre a geração dos objetos. Foi feita a conversão dos números digitais (ND) para radiância espectral no Topo da Atmosfera ( $L\lambda$ ) a partir da seguinte equação:

$$L\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (5)$$

Em que:

$L\lambda$ - Radiância Espectral no Topo da Atmosfera ( $W/m^2 \text{ srad } \mu m$ );

$M_L$ - Fator Multiplicativo escalona da radiância para a banda específica;

$Q_{cal}$ - Número Digital (ND) do pixel;

$A_L$ - Fator aditivo escalona da radiância para a banda específica.

Posteriormente a realização do cálculo da radiância, foi necessário a converter a radiância do topo da atmosfera ( $L\lambda$ ) para a reflectância planetária do topo da atmosfera

( $P\lambda$ ), com o intuito de melhor caracterizar de forma espectral os objetos. A equação utilizada foi a seguinte:

$$P\lambda = M_P Q_{cal} + AP \quad (6)$$

Em que:

$P\lambda$ - Radiância Espectral no Topo da Atmosfera ( $W/m^2 \text{ srad } \mu m$ );

$M_P$ - Fator Multiplicativo reescala da reflectância para a banda específica;

$Q_{cal}$ - Número Digital (ND) do pixel;

$A_P$ - Fator aditivo reescala da reflectância para a banda específica.

Por fim, na etapa de processamento digital de imagens foi adotada a correção atmosférica “DOS”, quando são excluídos os fatores externos, como condições atmosféricas e visibilidade horizontal, e considera somente o espalhamento atmosférico na imagem. Esse método utiliza o histograma de frequência de números digitais de alguma banda da imagem, de preferência a de menor comprimento de onda, buscando o menor número digital que indique a resposta espectral do alvo.

Na etapa seguinte do processamento digital de imagens foram realizados alguns procedimentos distintos para extração das informações e elaboração de mapas temáticos.

#### ➤ Dados Vetoriais

Para obtenção de informações da litologia, solos e precipitação, foram utilizados dados em shapefiles, adquiridos pelos zoneamentos Agroecológicos do Nordeste e de Pernambuco (ZANE/ ZAPE).

Todos os dados foram convertidos para o mesmo sistema de referência adotado no trabalho, UTM, Datum WGS84 24S. Além desta etapa, os dados vetoriais foram ajustados para a mesma escala de 1:100.000, através da utilização das imagens de satélite do Sentinel-2 e dos dados do SRTM.

Diante do exposto, foram elaborados mapas temáticos da litologia e pedológico, que foram necessários para a representação físico-geográfica e na identificação da vulnerabilidade ambiental e potencialidade da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

## Elaboração de Mapas Temáticos

### 1. Mapa de Localização

Para a representação da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, foi utilizada uma composição com as bandas 2 (Vermelho), 3 (Verde) e 4 (Azul), do Sentinel-2, através da ferramenta do Arcgis “*Composite Bands*”.

Após a realização da composição, as imagens foram mosaicadas por meio de outra ferramenta do Arcgis, “*Mosaic to New Raster*”, sendo também delimitada a área da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

### 2. Mapa de Uso da Terra

Foi gerada outra composição, para extração de informações do uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Nesse sentido, foi elaborada uma composição com as bandas do Infravermelho Médio, Infravermelho Próximo e Vermelho, com a mesma ferramenta, o “*Composite Bands*”, visto que essa composição facilita a identificação dos tipos de uso do solo. Segundo IBGE (2014), isso ocorre porque essa composição apresenta forte semelhança com as cores da natureza e facilita a interpretação da cobertura e do uso da terra (IBGE, 2014).

A escolha dessa composição foi devido a matizes de cores ligadas à vegetação que se apresentam mais “amigáveis” ao intérprete, já as cores magentas representam melhor as áreas de solo exposto, rocha ou vegetação reduzida, e as cores azuis se relacionam com a água e seu conteúdo de sedimentos em suspensão (CREPANI *et al.* 2001). A imagem seguinte ilustra o comportamento espectral dos alvos na superfície terrestre.

Posteriormente a composição das imagens para extração das informações do uso da terra, foi feita uma segmentação por região nas imagens para agrupar áreas homogêneas nas imagens de satélite, de forma que o agrupamento das regiões adjacentes seja não homogêneo.

Em seguida, foi realizada uma classificação supervisionada da área de abrangência da Bacia Hidrográfica, utilizando o algoritmo “*Maxver*” (que consiste na escolha de áreas que possam ser representativas de feições conhecidas, sendo utilizadas a média e a covariância dos *pixels* amostrados, calculando-se a probabilidade de um pixel externo a essas amostras pertencer a elas), no *software* Spring. A partir da classificação,

foram definidas classes do Nível III (unidades) do Manual Técnico do Uso da Terra do IBGE, sendo elas Corpos D'água; Áreas Descobertas; Área de Vegetação Natural; Culturas Agrícolas; Pastagens e Áreas Urbanizadas.

As Áreas Urbanizadas são correspondentes a cidades, vilas e áreas urbanas isoladas, sendo consideradas pelo uso intensivo por edificações e sistema viário. As Culturas Agrícolas referem-se ao cultivo de plantas temporárias e permanentes, por grandes, médios e pequenos proprietários. A Pastagem é a área destinada ao pastoreio de animais, identificada pelo plantio de forragens perenes ou a utilização de gramíneas ou leguminosas naturais.

Por sua vez, as Áreas de Vegetação Natural são consideradas por compreender um conjunto de estruturas florestais e campestres, abrangendo desde florestas, campos e até alterações na formação florestal inicial, através da reflorestação. Já as Áreas Descobertas representam localidades sem nenhum tipo de cobertura vegetal ou edificação. E por fim, os Corpos D'água são açudes, barreiros e reservatórios naturais.

### 3. Mapa da Cobertura Vegetal

Para o mapeamento da cobertura vegetal foi utilizada imagem-índice de vegetação gerada com o SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), criado por Huete (1988). Esse índice de vegetação foi criado com o intuito de amenizar a influência do solo na resposta espectral, baseado no princípio de que a curva de vegetação tenderá a aproximar-se da curva do solo para baixas densidades de vegetação, atravessando uma combinação de respostas espectrais para densidades médias e geralmente sem nenhuma influência do solo para densidades altas (SHIRATSUCHI, 2014).

O SAVI deriva da fórmula do NDVI (por extenso), acrescida da constante L, que varia de -1 a 1, dependendo do grau da maior ou menor cobertura do solo, respectivamente.

Para a geração do SAVI foram utilizadas as bandas espectrais do infravermelho próximo (IVP) e o vermelho (V) e utilizado o valor da constante L igual a 0,5, como normalmente ocorre em aplicações para a região semiárida do Nordeste. A equação para geração do SAVI é expressa da seguinte forma:

$$SAVI = (I + L) (IV - V) / (L + IV + V)$$

Em que:

*L = Constante do Tipo de Solo;*

*IV = Banda no Infravermelho Próximo;*

*V = Banda Vermelho.*

Realizadas todas essas etapas anteriores, foi possível mapear a cobertura vegetal utilizando o método de classificação de intervalos geométricos, estabelecendo cinco classes, de acordo com Rosendo (2005): Vigor Muito Alto, Vigor Alto, Vigor Intermediário, Vigor Baixo e Vigor Muito Baixo de Vegetação.

#### 4. Mapa Geomorfológico

Para a realização do mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, foram adotadas as metodologias estabelecidas por Ross (1991, 2011) e IBGE (2009), inspiradas na proposta metodológica de Demek (1967) e no nível de tratamento técnico elaborado pelo Projeto Radambrasil (BRASIL, 1982). Essas metodologias consideram que uma carta geomorfológica deve informar sobre morfogênese, morfocronologia, morfografia e morfometria.

Como forma de definir as unidades geomorfológicas, são considerados como parâmetros fatores causais, de natureza estrutural, litológica, pedológica, climática e morfodinâmica, que em interrelação são responsáveis pela evolução das formas do relevo e pela composição da paisagem no tempo geológico (IBGE, 2009). Em ordem decrescente, são definidas da seguinte forma:

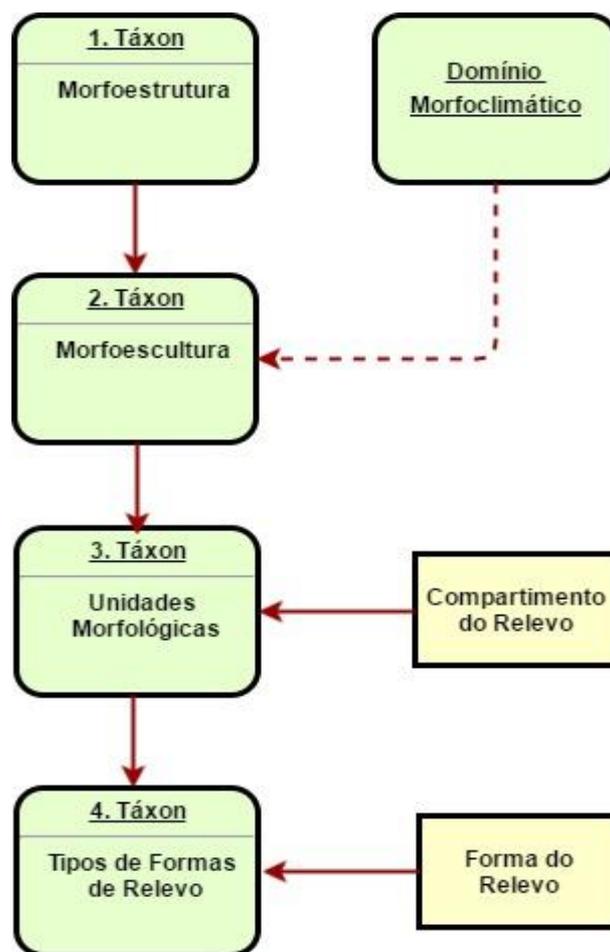


Figura 6 – Fluxograma da classificação taxonômica do relevo. Fonte: IBGE (2009) e Ross (1991, 2011). Elaborado pelo autor.

Essa metodologia tem o intuito de mapear a geomorfologia de uma localidade, estabelecendo táxons de acordo com os elementos acima citados, além de aplicar os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura. “Todo o relevo terrestre pertence a uma determinada estrutura que o sustenta e mostra um aspecto escultural que é decorrente da ação do tipo climático atual e pretérito que atuou ou atua nessa estrutura” (ROSS, 2011).

Diante das concepções de Ross (1991, 2011) e IBGE (2009), o mapeamento geomorfológico é definido de acordo com os seguintes táxons:

1. Táxon – Unidades Morfoestruturais – Correspondem as macroestruturas, define um padrão de formas grandes do relevo.
2. Táxon – Unidades Morfoesculturais – Correspondem aos compartimentos e subcompartimentos do relevo pertencentes a uma determinada morfoestrutura e posicionados em diferentes níveis topográficos, geradas pela ação climática ao longo do tempo geológico.

3. Táxon – Unidades Morfológicas – são definidas como um arranjo de formas altimétricas e de declividade, fisionomicamente semelhantes em seus modelados. A geomorfogênese e a semelhança de formas são explicadas por fatores paleoclimáticos e condicionantes litológicos.
4. Táxon – Modelado – Conjuntos de Formas Semelhantes – Correspondem as tipologias do modelado. Nos relevos de denudação, são formas aguçadas (a), convexas (c), tabulares (t) e aplanadas (p), e nos relevos de agradação, são as formas planícies fluviais (pf) e flúvio-lacustres (pfl). Correspondendo aos agrupamentos de formas semelhantes do relevo, de agradação (relevo de acumulação) e formas de denudação (relevo de dissecação), representados pelas letras A e D, respectivamente. É onde os processos morfoclimáticos atuais são mais percebidos.

Definida a metodologia e a classificação dos táxons para o mapeamento geomorfológico, foi definida a escala de trabalho de 1:100.000, utilizando o Sistema de Informação Geográfica ArcGis 10. 2. 2. Os dados utilizados para o mapeamento foram as imagens do SRTM com resolução de 30 metros, e os mapas hipsométrico, de declividade e de relevo sombreado.

Também foram utilizadas as bandas espectrais 8 (Infravermelho), 2 (Vermelho) e 3 (Verde) das duas cenas da constelação de satélites Sentinel-2, gerando uma composição falsa cor. Para isso também foram consideradas as informações geológicas da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto e de trabalhos de campo.

Na identificação do primeiro táxon foram utilizados o relevo sombreado, a hipsometria e as imagens Sentinel-2, uma vez que representa o maior nível estrutural do relevo regionalmente. Nesse sentido, o mapeamento foi baseado na textura, no tamanho e na forma das grandes estruturas.

Para o mapeamento do segundo táxon, foram utilizados o relevo sombreado e a declividade, onde foram analisadas as sombras, a altura, o padrão e a localização das estruturas, devido a esse nível geomorfológico representar compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais, que sob ação dos fatores climáticos ao longo do tempo, ocasionam agrupamentos de feições semelhantes, resultando nas formações da superfície.

Já para a definição do terceiro táxon foi importante a utilização das imagens Sentinel-2, que por ter uma resolução de 10 metros, permitiram que fossem observados

os arranjos altimétricos e as fisionomias semelhantes na bacia hidrográfica, que foram levados em consideração devido esse ser o nível mais detalhado, abrangendo um padrão de formas de relevo em função de uma gênese e de processos morfogenéticos comuns, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais.

Ressalta-se que as denominações de todas as classes do mapeamento geomorfológico foram retiradas do Manual Técnico de Geomorfologia (2009). Nesse sentido, para diferenciação das formas de dissecação estrutural e homogênea na bacia, foram consideradas cinco classes de aprofundamento das incisões, de acordo com IBGE (2009).

Tabela 3. Formas de dissecação levando em consideração a densidade de drenagem e o aprofundamento das incisões.

<b>APROFUNDAMENTO DAS INCISÕES (2º DIGITO)</b>	<b>DENSIDADE DE DRENAGEM (1º DIGITO)</b>				
	Muito Grosseira	Grosseira	Média	Fina	Muito Fina
<b>MUITO FRACO</b>	11	21	31	41	51
<b>FRACO</b>	12	22	32	42	52
<b>MÉDIO</b>	13	23	33	43	53
<b>FORTE</b>	14	24	34	44	54
<b>MUITO FORTE</b>	15	25	35	45	55

Fonte: IBGE (2009).

## 5. Precipitação e Temperatura

No levantamento e elaboração dos mapas de precipitação e temperatura foram utilizadas de precipitação (mínima e média anual) e temperatura média anual, no período de 10 anos (2006 a 2016).

Na obtenção das variáveis climáticas utilizadas foram pluviometria e temperatura, a primeira obtida na APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) e a segunda utilizando-se o software Estima T, desenvolvido pela UFCG.

O tratamento dos dados pluviométricos foi realizado em três etapas: Detecção dos erros grosseiros, preenchimento das falhas e correção de homogeneidade.

A primeira etapa na análise dos dados pluviométricos é detectar erros grosseiros dos tipos: vírgula no lugar de ponto, zeros a mais ou a menos, zero no lugar de dados em branco entre outros.

Como as séries apresentaram falhas em seus registros devido a ausência do observador ou por defeito no equipamento, tais falhas foram preenchidas para se obter uma série contínua, a fim de que se possa trabalhar com elas. O método para o preenchimento de falhas dos postos utilizados se deu através da fórmula:

$$P_x = 1/13*(M_x/M_a * P_a + M_x/M_b * P_b + M_x/M_c * P_c) \quad (8)$$

*Em que:*

*P<sub>x</sub> = Precipitação com falha para ser corrigida;*

*M<sub>x</sub> = Média do posto a ser corrigido;*

*M<sub>a,b,c</sub> = Média dos postos A,B e C respectivamente;*

*P<sub>a,b,c</sub> = Precipitação anual dos postos A, B e C respectivamente.*

Vale destacar que foi feita a correção de homogeneidade a partir da seguinte equação:

$$P_a = M_a/M_o * P_o \quad (9)$$

*Em que:*

*P<sub>o</sub> = Dados observados;*

*P<sub>a</sub> = Dados ajustados;*

*M<sub>a</sub> = Coeficiente angular.*

A partir da utilização da ferramenta *Raster Calculator* do Arcgis 10.2.2, foi calculado ponto a ponto o “i” (índice mensal de calor), utilizando os dados do Estima T. Nesse sentido, foi realizado o somatório do “i”, gerando o I (índice anual de calor).

Para a representação cartográfica da precipitação e temperatura da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, foi feita uma interpolação dos dados das estações meteorológicas e das variações de altitude, através do SIG ArcGis 10.2.2, utilizando o

método de interpolação polinomial *spline*. Esse tipo de interpolação pertence a família de interpoladores de base radial, em que a superfície criada deve passar por cada ponto amostral.

A interpolação *spline* se baseia sobre uma curva de diferenciação definida em proporções mediante polinômios de baixo grau, sendo útil para interpolar dados em relação com a altura. A validação foi feita mediante os pontos de controle inferidos do software “Estima T” e dados pluviométricos.

### **Integração das camadas de informação para a definição das Potencialidades e das Vulnerabilidades Ambientais**

Estabelecidos e elaborados os dados para a definição da potencialidade e da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, será definido como se fará a integração dos elementos que influenciam na dinâmica para os fenômenos estudados.

Crepani (2001) sugere uma avaliação das áreas segundo a análise integrada dos aspectos do meio físico, resultando em registros cartográficos que expressam a vulnerabilidade ambiental e potencialidades. Segundo o autor, os elementos que mais influenciam na dinâmica ambiental são geologia, solo, geomorfologia, vegetação e chuva. As ações antrópicas podem se caracterizar pelo uso da terra, pois segundo Ferreira et al (2009), o levantamento do uso da terra é de essencial importância para compreender o caráter de como estão sendo utilizadas as áreas, analisando-se o uso desordenado que causa degradação no meio ambiente.

A partir dessa concepção da dinâmica natural e antrópica dos ambientes, existem elementos que sobrepõem outros no produto da paisagem. Ab’Sáber (2003, 2003, 2005 e 2007) considera que as características do clima e da geologia definem as formas de relevo e os atributos de cada localidade, estabelecendo-se os domínios morfoclimáticos.

As condições climáticas controlam as ações do intemperismo, através da chuva e da temperatura de determinada localidade, indiretamente ligadas ao tipo de vegetação presente na paisagem. A ação da chuva é a causa fundamental da denudação, agindo inicialmente sobre as rochas e outros materiais, provocando intemperismo e depois removendo o material através da erosão (CREPANI, 2001).

Assim, Tricart (1977) explica que as chuvas chegam na superfície na velocidade de queda livre, que é o limite permitido pela resistência do ar, e é carregada de energia cinética através da força da gravidade, que é transmitida quando existe o impacto com o solo, ocasionando sua desagregação.

Segundo Crepani (2008), a geologia contribui para a análise e caracterização da morfodinâmica do sistema natural. Compreende as informações da história da evolução geológica do ambiente e o grau de coesão das rochas, este último entendido como a força de ligação dos minerais e/ou materiais que compõem a rocha.

Martin *et al.* (1993) explicam que o entendimento da evolução geológica durante os milhares de anos fornece informações valiosas sobre as transformações paleoambientais, e também podem explicar tendências da dinâmica atual.

Na influência da análise geomorfológica sobre os processos erosivos é importante destacar morfometria da paisagem, definindo as características do relevo. Para Crepani (2001) o entendimento da vulnerabilidade das unidades da paisagem, requer a análise dos “Índices Morfométricos do Terreno”, que são: a dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e a declividade.

Cobrindo grande parte da superfície terrestre, solos e materiais intemperizados são produtos do arquivo de registro biogeoquímico das interações entre litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera.

É perceptível que o solo é agente passivo nos processos de vulnerabilidade ambiental e potencialidade, sendo influenciado pelas condições externas para a sua formação, principalmente da água e do vento.

Os solos com um maior nível de vulnerabilidade ambiental são aqueles que não atingiram um grande desenvolvimento dos horizontes pedológicos, e inversamente, os solos que tem horizontes mais desenvolvimentos tem mais potencialidades para uso antrópico e equilíbrio natural.

Por sua vez, a vegetação é importante para a manutenção da qualidade dos solos, pelo fato de protege-lo, interceptando as gotas de chuva e bloqueando as ações dos ventos, impedindo o transporte realizado pela erosão (GOMES, 2011).

Lima *et al.* (2015) explanam que a retirada da vegetação influencia no aumento do choque da chuva sobre o solo, provocando erosão e um maior escoamento superficial

da água, diminuindo a infiltração e o abastecimento dos aquíferos, acarretando transformações na paisagem.

A partir dessas informações, Crepani (2001) ressalta que o importante sobre a vegetação que influencia na vulnerabilidade é a densidade de cobertura. Esse é o parâmetro que deve ser analisado, visto que é um fator de proteção contra os processos morfogênicos.

Uma cobertura vegetal pode manter relativa estabilidade, pois somente as plantas no geral podem dar suporte a estabilização, pelo fato de servir de anteparo aos fluxos de radiação e gotas de chuva, além de dar proteção as ações do vento (TRICART, 1977).

Nesse sentido, Rios (2011) comenta que a cobertura vegetal de diferentes densidades e propriedades, como florestas, caatingas e entre outros, ajudam na proteção dos solos, e salienta que existem diversas diferenças no tipo e grau de cobertura vegetal e no tipo de utilidade do solo nos processos erosivos.

Diante da inter-relação abordada neste tópico, serão definidos níveis de influência dos elementos físicos e das ações antrópicas, de acordo com as perspectivas dos autores citados, que podem ser observados na Figura 7:



Figura 7 - Nível de influência dos elementos físicos e das ações antrópicas. Elaborado pelo autor.

## Mapeamento das Potencialidades e Vulnerabilidades Ambientais

A metodologia para elaboração do mapa das vulnerabilidades e potencialidades está baseada nos procedimentos propostos por Priego *et al.* (2010), Tricart (1977), Tagliani (2002), Ab'Sáber (2003, 2003, 2005 e 2007) e Grigio (2003), através da técnica de Álgebra de Mapas, combinando informações dos mapas de Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima. Também foram usadas as pesquisas onde houve o uso da teoria geossistêmica na análise geoambiental, como em Souza (1981; 1988; 2000).



Figura 8 – Esquema geral utilizado para elaboração do mapa de Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental. Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que a metodologia contemplou no mapeamento das vulnerabilidades e potencialidades ambientais a técnica de “Área Mínima Mapeável” como forma de melhor mapear as informações geradas. Sarateaga (2016) explica que essa técnica é entendida como “superfície inferior que podem ser exibidos num mapa, de acordo com critérios, em função do tipo de levantamento do solo realizado”.

A utilização da técnica de área mínima mapeável permite atingir coerência na representação espacial e a eficiência na leitura e utilidade do mapa em formato impresso. A área mínima mapeável estabelece que uma determinada área espacial, os polígonos e

seus atributos devem ser generalizados, caso contrário, elas embaraçam o usuário quando em formato analógico (SALITCHEV, 1979).

A Tabela 4 apresenta a área mínima mapeável (colunas 6 e 7) para diferentes escalas. A utilização da técnica da área mínima mapeável deve ser considerada como um guia e não como um valor absoluto. Contudo, a complexidade do mapa de vulnerabilidade e potencialidade ambiental indicará a seleção de área mínima a ser mapeada e seus limiares.

Tabela 4. Área Mínima Mapeável para diferentes escalas (SALITCHEV, 1979).

Escala	1 cm igual a		1 mm igual a		Área Mínima Mapeável (4x4mm)	
	m	Km	m	Km	m <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>
1: 500	5	0.005	0.5	0.0005	4	0.000004
1:1.000	10	0.01	1	0.001	16	0.000016
1:2.000	20	0.02	2	0.002	64	0.000064
1:5.000	50	0.05	5	0.005	400	0.0004
1:10.000	100	0.1	10	0.01	1.600	0.0016
1:20.000	200	0.2	20	0.02	6.400	0.0064
1:25.000	250	0.25	25	0.025	10.000	0.01
1:50.000	500	0.5	50	0.05	40.000	0.04
1:100.000	1000	1	100	0.1	160.000	0.16
1:250.000	2500	2.5	250	0.25	1.000.000	1
1:500.000	5.000	5	500	0.5	4.000.000	4
1:1.000.000	10.000	10	1.000	1	16.000.000	16
1:6.000.000	60.000	60	6.000	6	576.000.000	576

A escala de trabalho adotada foi de 1:100.000, sendo a área mínima mapeável de 160000 m<sup>2</sup>. Nesse sentido, para elaboração dos mapas foram levados em consideração as variáveis de declividade, classes de solo, litologia, os índices de vegetação (SAVI) e médias de temperatura e precipitação. Para elaboração do mapa de vulnerabilidade e potencialidade ambiental, foram considerados os mesmos fatores, mas com o acréscimo do uso e ocupação do solo.

Para a realização do trabalho, foi considerado, de acordo com a análise multicritério, pesos (0 – 100 %) para cada variável, para diferenciar o grau de influência para a potencialidade e a vulnerabilidade ambiental. Além de pesos, foram definidas notas (1 – 10) para cada atributo que compõe determinada variável, de modo que quanto maior a nota, maior é a vulnerabilidade ambiental.

Dessa forma, para elaboração do mapa da potencialidade e vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, foram definidos os pesos e notas a partir das considerações de autores como Crepani (2001) e Silva *et al.* (2014).

Tabela 5 - Variáveis e pesos

VULNERABILIDADE AMBIENTAL E POTENCIALIDADE	
VARIÁVEL	Peso (0 – 100%)
LITOLOGIA (L)	5
DISSECAÇÃO (D)	15
CLASSES DE SOLOS (CS)	10
TEMPERATURA MÉDIA (TM)	5
PRECIPITAÇÃO MÉDIA (PM)	20
COBERTURA VEGETAL (CV)	20
USO DA TERRA (UT)	25
TOTAL	100

O método de análise multicritério aplica-se em variáveis organizadas em planos de informação com representação matricial (raster), e com cada célula das variáveis recebendo o valor do seu peso. Os detalhes da utilização do método estão expostos nos itens a seguir.

➤ Mapa de Potencialidades e Vulnerabilidades Ambientais

A formulação utilizada para gerar esse mapa foi a seguinte:

$$(L*5) + (D*15) + (CS*10) + (TM*5) + (PM*20) + (CV*20) + (UT*25) \quad (11)$$

O grau de vulnerabilidade e potencialidade será estipulado para cada classe temática variando entre 1 e 3, atribuindo-se o valor 1,0 para as classes com baixa vulnerabilidade ou alta potencialidade; 2,0 para as classes com grau mediano e 3,0 é conferido às classes com menor potencialidade e mais frágeis ambientalmen- te. Ao final, tem-se um mapa apresentando as áreas mais vulneráveis e com potencialidades.

Tabela 6 - Notas definidas para os componentes da legenda

Variável	Componente de legenda	Nota (1 – 10)
Litologia (L)	Suíte Intrusiva Leucocrática	1
	Peraluminosa	
	Granitoides indiscriminados	1.5
	Complexo Cabrobó – Unidade 3	2
	Complexo Cabrobó – Unidade 4	2
	Belém do São Francisco	2.5
	Complexo Cabrobó – Unidade 2	3
Dissecação (D)	Muito Fraca	1
	Fraca	1.5
	Média	2
	Forte	2.5
	Muito Forte	3
Classes de Solos (CS)	Latossolos	1
	Podzólicos	2
	Regossolos	2
	Litólicos	3
Temperatura Média (TM)	20,5° - 21,3°	1
	21,3° - 21,9°	4
	21,9° - 22,5°	5
	22,5° - 23,1°	6
	23,1° - 23,8°	7
	23,8° - 24,7°	8
	604,8 - 684,2	3
	684,2 - 738,9	5

Precipitação Média (PM)	738,9 - 795	7
	795 - 863,4	8
	863,4 - 953,7	9
Cobertura Vegetal (CV)	Vigor Muito Alto	1
	Vigor Alto	1.5
	Vigor Intermediário	2
	Vigor Baixo	2.5
	Vigor Muito Baixo	3
Uso da Terra (UT)	Corpos D'água	1
	Área de Vegetação Natural	1
	Culturas Agrícolas	2
	Pastagem	2
	Áreas Descobertas	3
	Áreas Urbanizadas	3

### Proposta de Zoneamento Ambiental

Com a possibilidade de utilizar as informações levantadas para o gerenciamento ambiental do território, foi gerado o zoneamento ambiental da bacia do rio Canhoto, que pode servir de base para o planejamento, através de planos diretores ambientais, planos de manejo e/ou planos de bacias hidrográficas, identificando semelhanças e diferenças (SILVA *et al.*, 2007).

Nesse sentido, para elaboração e estabelecimento de zonas ambientais necessitou-se de métodos de análise que integrassem as informações definindo unidades homogêneas, embora essas zonas não explicitem as características internas delas, seja em seu arranjo ou função ambiental.

Novamente a utilização do Sistema de Informações Geográficas é importante para aplicação do método de zoneamento ambiental para a Bacia hidrográfica do Rio Canhoto, pela integração de informações e o emprego da análise multivariada, permitindo uma análise das informações quantitativas e qualitativas sobre as relações espaciais relevantes.

Nessa etapa foi utilizado o software ARCGIS para definição das zonas ambientais, orientado pelos dados e informações gerados no mapeamento das potencialidades e vulnerabilidades ambientais da bacia hidrográfica.

Para tanto foi utilizada a proposta metodológica de Rodriguez (1997), Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2004), Rodríguez, Silva e Cavalcanti (2010). A metodologia é “baseada na análise paisagística (descrição e classificação) e em investigações geológicas (fatores de transformação), visando a organização da paisagem” (FERREIRA e PIROLI, 2016).

Essa análise consiste em explicar o funcionamento da paisagem, esclarecendo a combinação dos elementos atuantes na área de estudo, para dar lugar as formações integrais, concebendo o funcionamento da paisagem (RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2010), e entendendo a dinâmica da paisagem como a modificação dos sistemas, caracterizada pela periodicidade e reversibilidade provocadas pelos conjuntos de elementos que ocorrem no interior das paisagens.

A análise paisagística neste trabalho foi baseada nos dados levantados sobre o nível de potencialidade e vulnerabilidade ambiental mapeada, utilizando a análise da paisagem e fatores transformantes para definir as zonas ambientais.

Na sequência, foram definidas as unidades da paisagem do zoneamento ambiental, fundamentadas na proposta feita por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2010) e ajustada para o grau de potencialidade e vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, que podem ser vistas no quadro 2.

Quadro 2 – Legenda das classes do zoneamento ambiental

<b>Classes de Uso</b>	<b>Manejo</b>	<b>Grau</b>
<b>Reabilitação</b>	Mudança completa do uso atual, reabilitando para um alto valor ambiental	3 – 2,25
<b>Melhoramento</b>	Otimizar a feição de uso atual através do emprego de técnicas para selecionar melhores alternativas para atingir os objetivos do fluxo funcional, sem perder o valor ambiental.	2,25 – 1,5
<b>Aproveitamento</b>	Aproveitar melhor a atual feição de uso, intercalando com outros usos funcionais e/ou ambientais.	1,5 – 0,75

<b>Preservação</b>	Manter protegido de intervenções antrópicas e possíveis danos ambientais.	0,75 – 0
--------------------	---	----------

Fonte: Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2010) e Ferreira (2016).

Neste zoneamento ambiental, a técnica foi compilar os pesos e notas da potencialidade e vulnerabilidade ambiental e estratificar as características destes em graus definidos pela tabela. Pois, segundo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2010) e Ferreira (2016) auxiliaria a descrição e classificação da paisagem e com fatores de transformação para definir as zonas.

Para o mapeamento do zoneamento ambiental, foi levado ao SIG ArcGis que realizou essas etapas a partir da reclassificação do mapa de potencialidade e vulnerabilidade ambiental, observando os fatores mencionados aqui.

Áreas de intensa vulnerabilidade ambiental correspondem a uma situação de reabilitação, que precisam de uma maior intervenção na mudança do uso na localidade. Enquanto áreas com maior potencialidade são aquelas de aproveitamento.

Definidas as classes, o tipo de manejo e o nível de uso a ser adotado, o passo seguinte foi gerar o mapa de zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, estabelecendo manejos em áreas com comuns características.

## **4. Resultados**

### **4.1 Análise da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto**

#### **4.1.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos**

A bacia hidrográfica do Rio Canhoto está inteiramente situada na parte sul do planalto da Borborema, na porção meridional de um cinturão orogenético ativado ao final do éon Proterozóico. Esta região é denominada por uma zona transversal, por estar localizada entre o lineamento Pernambuco e o lineamento Patos (ZANE, 2008).

A característica estrutural na bacia hidrográfica do Canhoto, levou à construção de vertente escalonada na direção Sul-Sudeste, culminando em uma cimeira, qualificada por uma superfície aplainada, com diversas cicatrizes erosivas que refletem os processos de retirada e distribuição do material (SANTOS, 2016 *apud* LIMA, 2014).

Nessa zona transversal, ocorreram 3 intensos ciclos tectono-metamórficos, responsáveis pelo desencadeamento de uma série de zonas de cisalhamento da área. Mais tardiamente, houve uma série de diversas fraturas abertas na direção norte-sul associadas aos rios que se encaixam ao longo de áreas de granitos (SANTOS, 2013).

Podem ser observadas seis sínteses da estrutura geológica da bacia hidrográfica do Rio Canhoto: o complexo de Belém do São Francisco, os complexos de Cabrobó – unidades 2, 3 e 4, granitóides indiscriminados e a suíte intrusiva leucocrática peraluminosa (Figura 9).

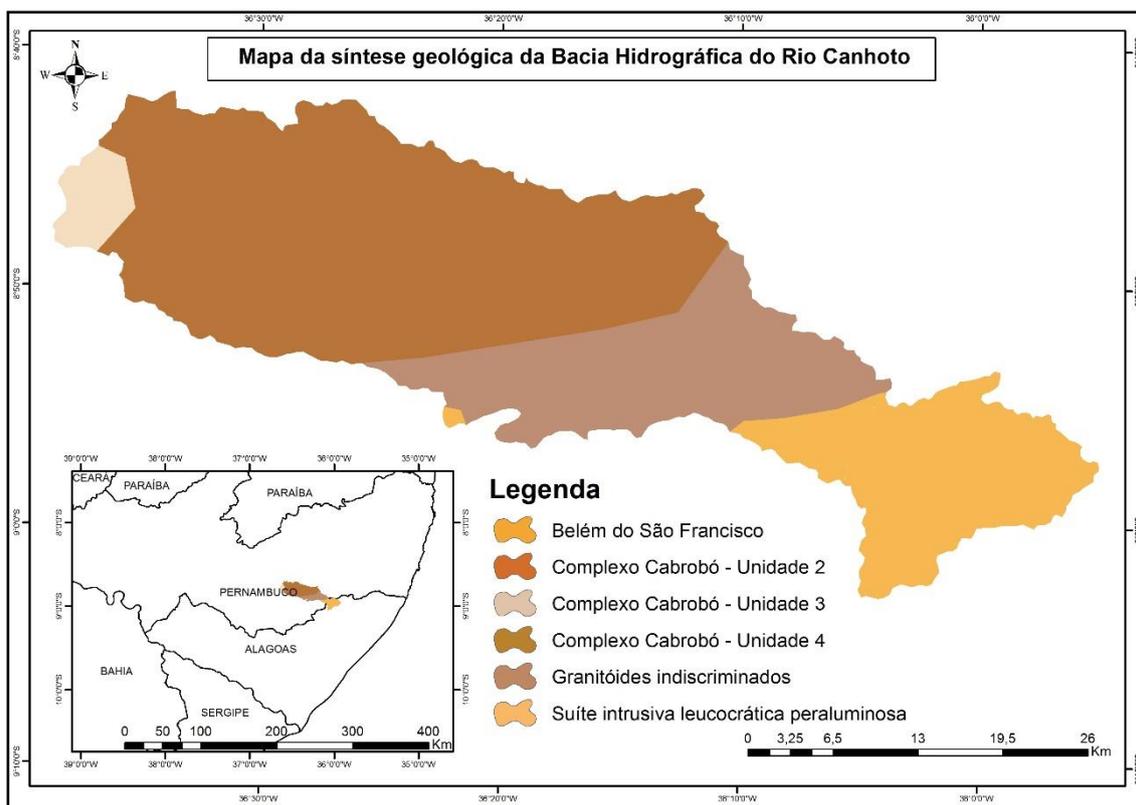


Figura 9 – Mapa da síntese da estrutura geológica da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: ZANE e ZAPE. Elaborado pelo autor.

A seguir, tem-se a síntese da descrição de cada estrutura geológica da área de estudo, baseada nas definições do Serviço Geológico do Brasil (CPRM):

- Belém do São Francisco: Este complexo é datado do éon Proterozóico, da era Mesoproterozóica e do período Esteniano, com idade máxima de 1.070 e mínima de 1.001 bilhões de anos. É composto por rochas metamórficas, formadas a partir do metamorfismo regional, e plutônicas, com presença das seguintes rochas: anfibólito, migmatito, metadiorito, ortogneisse granodiorítico e ortogneisse tonalítico.
- Complexo Cabrobó – unidade 2: Esta unidade é datada do éon Proterozóico, da era Mesoproterozóica e do período Esteniano, com idade máxima superior a do complexo Belém do São Francisco, 1.200 bilhões de anos, e mínima de 1.001 bilhões de anos. É composta por rochas metamórficas, formadas pelo metamorfismo regional, apresentando anfibólito, mármore, migmatito, quartzito, metarcóseo, metagrauvaca, biotita xisto, biotita gnaiss, muscovita-biotita gnaiss e muscovita-biotita xisto.

- Complexo Cabrobó – unidade 3: Esta unidade se assemelha à anterior, sendo datada do éon Proterozóico, da era Mesoproterozóica e do período Esteniano, com idade máxima de 1.200 e mínima de 1.001 bilhões de anos. Tal qual a anterior, é composta também por rochas metamórficas, formadas pelo metamorfismo regional, mas conta apenas com a presença de metagrauvaca.
- Complexo Cabrobó – unidade 4: Como unidade do mesmo complexo, esta é, assim como as anteriores, datada do éon Proterozóico, da era Mesoproterozóica e do período Esteniano, com idade máxima de 1.200 e mínima de 1.001 bilhões de anos. É formada por rochas metamórficas, criadas a partir do metamorfismo regional, e apresenta metarcóseo.
- Granitóides Indiscriminados: É um corpo datado do éon Proterozóico, da era Mesoproterozóica e do período máximo do Calimiano e mínimo do Estiano. Tem uma idade máxima de 1.600, maior que a das estruturas já citadas, e mínima de 1.001 bilhões de anos. É composto por rochas metamórficas, criadas a partir do metamorfismo regional, apresentando as rochas metagranito, metagranodiorítico e metamonzodiorito.
- Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa: Esta estrutura data também do éon Proterozóico, da era Mesoproterozóica e do período máximo do Calimiano e mínimo do Estiano. Tem uma idade máxima maior de 1.600 e mínima de 1.001 bilhões de anos. É formada por rochas metamórficas, criadas a partir do metamorfismo regional, e conta com a presença do leucogranito e metagranitóide.

Diante dessas informações acerca da estrutura litológica da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, pode-se perceber que esta é basicamente composta por rochas metamórficas que, na maioria das vezes, foram formadas pelo metamorfismo regional.

No que se refere à resistência das rochas metamórficas, Crepani (2001) afirma que “as principais rochas metamórficas podem ser ordenadas numa sequência, relativa e empírica, de resistência ao intemperismo indo do metaquartzito ao mármore”:

Quartzito → Granulito → Migmatitos → Gnaisses → Milonitos  
 → Xisto → Anfibolitos → Filitos → Ardósia → Mármore

Nesse sentido, o estudo do relevo assume importância imprescindível no processo de ordenação territorial para ocupação do espaço, elemento que inclui as propriedades de suporte ou recurso, cujo padrão e modelo correspondem ao comportamento da paisagem e suas consequências.

Como os aspectos geomorfológicos são elementos físicos na natureza, compreendê-los significa ter a base para entender a dialética entre os processos históricos naturais e a história do homem, que permite perceber as transformações ocorridas na superfície. Trabalhar com a geomorfologia em análises ambientais significa preocupar-se com a dialética da natureza (CASSETI, 2005). Esses aspectos, assim como os geológicos, são essenciais para o entendimento do ambiente, pois permitem conhecer a área de estudo, levando em consideração características da litologia e estrutura e os fatores de formação endógenos e exógenos. Desse modo, refletem no posicionamento das rochas em termos de lineamento, falhas, fraturas e suas disposições, o que acaba por influenciar no modelamento do relevo e na dinâmica da superfície.

Para analisar as mudanças realizadas na paisagem pelo homem é fundamental assumir que existe a necessidade de ocupação e de utilização daquele espaço para algum fim. Sabe-se que as modificações ocasionadas neste determinado espaço serão levadas em consideração quando relacionadas aos aspectos do relevo, gerando modificações na exploração biológica que atingirá o potencial ecológico. Nesse sentido, Gomes (2011) afirma que a geomorfologia se torna o principal elemento em análises ambientais, por ser a síntese das particularidades e relações entre todos os outros elementos do sistema.

A bacia hidrográfica do Rio Canhoto tem uma área de 1199,36 km<sup>2</sup> e um perímetro de 262,64 Km. Caracterizando-se por ser representativa da região onde está localizada, é uma bacia tipicamente homogênea e que permite melhor aprofundamento dos processos hidrológicos. Na área de estudo a menor altitude é de 210 metros, a leste, e a maior é de 1018 metros, a oeste, com variação altimétrica de 808 metros. Além de ter uma variação de declividade de plano (0-3%) até forte montanhoso (> 75%), as áreas planas (0-3% de declividade) representam 10,34% da bacia, as suavemente onduladas (3-8% de declividade) 37,08%, as onduladas (8-20% de declividade) 37,00%, as fortemente onduladas (20-45%) 14,96%, as montanhosas (45-75% de declividade) 0,60% e as fortemente montanhosas (>75%) 0,01%. Por esse motivo, pode-se considerar que a área tem um relevo predominantemente suavemente ondulado e ondulado (Figura 10).

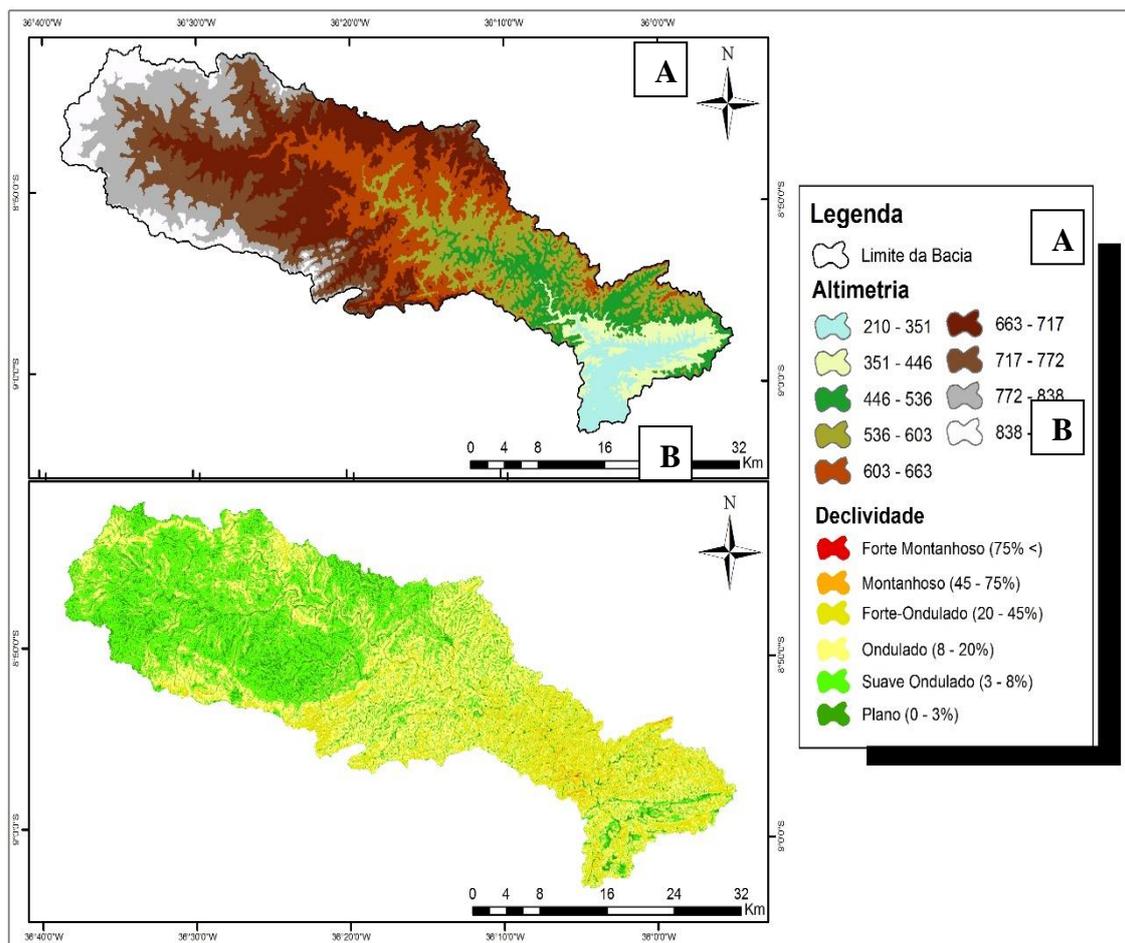


Figura 10 – (A) Hipsometria e (B) Declividade da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: ZANE e ZAPE. Elaborado pelo autor.

Identificando e compreendendo as unidades geomorfológicas é possível entender as formas de relevo, sua gênese e os processos atuantes em sua estrutura e modelo. Para sua definição foram levadas em consideração as metodologias de Ross (1991), Ross (1992) e IBGE (2009), através da delimitação de táxons, que correspondem às características da morfogênese e morfodinâmica. No mapeamento das unidades geomorfológicas na bacia hidrográfica do Rio Canhoto, foi levantado até o 4º táxon, identificando as unidades Morfoestruturais, as unidades Morfoesculturais, unidades Morfológicas e os tipos de formas de relevo (Figura 5).

A área de estudo encontra-se na unidade morfoestrutural do Planalto da Borborema, sendo a maior compartimentação geomorfológica mapeada. Esta é conhecida por possuir diversos condicionantes clássicos para o setor centro-oriental da região nordeste, o que a torna uma unidade morfoestrutural, são eles: Influências das estruturas herdadas, influência da litologia sobre os modelados de erosão diferencial e ocorrência de “bombeamento” regional a partir do cretáceo (CORRÊA *et al.* 2010).

Na bacia hidrográfica do Rio Canhoto o planalto da Borborema pode ser compartimentado em duas unidades morfoesculturais, a cimeira da Borborema e as superfícies residuais, todas a uma altitude maior que 200 metros.

A primeira, situada na parte mais alta da bacia, variando de 605 a 1018 metros, é responsável por abranger as mais importantes nascentes. As superfícies residuais variam de 210 a 600 metros. As duas unidades morfoesculturais são compostas por litologia cristalina.

A segunda unidade de compartimentação geomorfológica é definida pela morfologia, onde na cimeira da Borborema são encontradas as chapadas e platôs, planaltos e platôs baixos, e nas superfícies residuais as colinas e morros dissecados. As chapadas e platôs são as áreas mais altas da bacia, com amplitude altimétrica de cerca de 246 metros, com relevo predominantemente suave ondulado.

Já os planaltos no Canhoto são mais baixos que as chapadas e platôs, embora haja uma predominância de relevo suave ondulado e plano. E por fim na cimeira da Borborema, tem-se os platôs baixos, que são as partes mais baixas, com um maior nível de relevo ondulado. Tendo definido as unidades morfológicas, pode-se partir para o passo seguinte, o entendimento das características do relevo da área de estudo, delimitando o 4º táxon geomorfológico, que se refere aos tipos de formas de relevo, e tais dados podem ser observados na figura 11

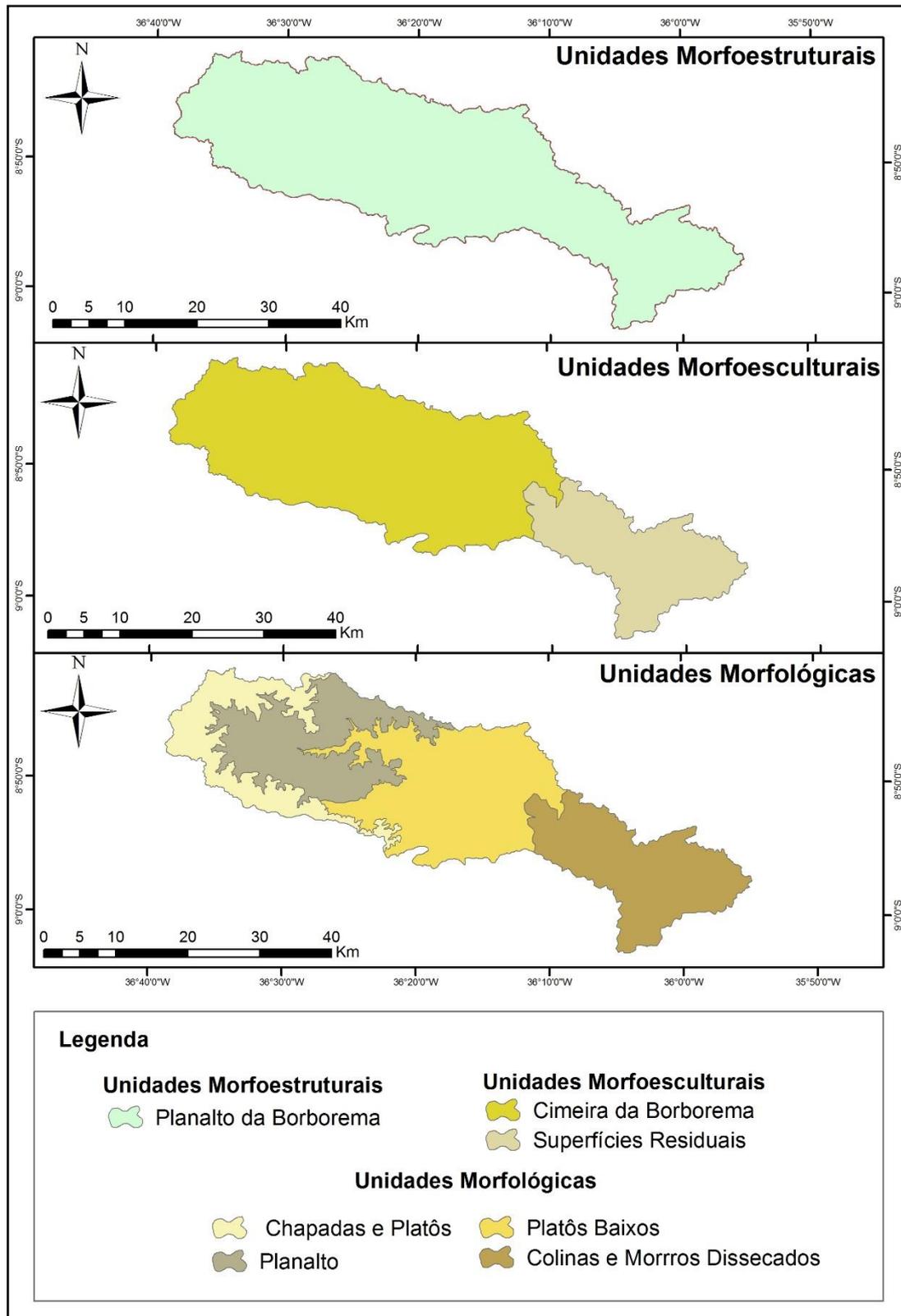


Figura 11 – Compartimentação Taxonômica geomorfológica dos três primeiros níveis: Unidades Morfoestruturais, Unidades Morfoesculturais e Unidades Morfológicas. Elaborado pelo autor.

Os modelos, que correspondem às unidades geomorfológicas do 4º táxon, foram definidos em 7 classes na bacia hidrográfica do Rio Canhoto, na escala de 1:100.000, sendo elas: dissecação estrutural aguçada, dissecação estrutural convexa, dissecação homogênea tabular, dissecação homogênea convexa, dissecação homogênea aguçada, dissecação em ravinas e planícies fluviais (Figura 12).

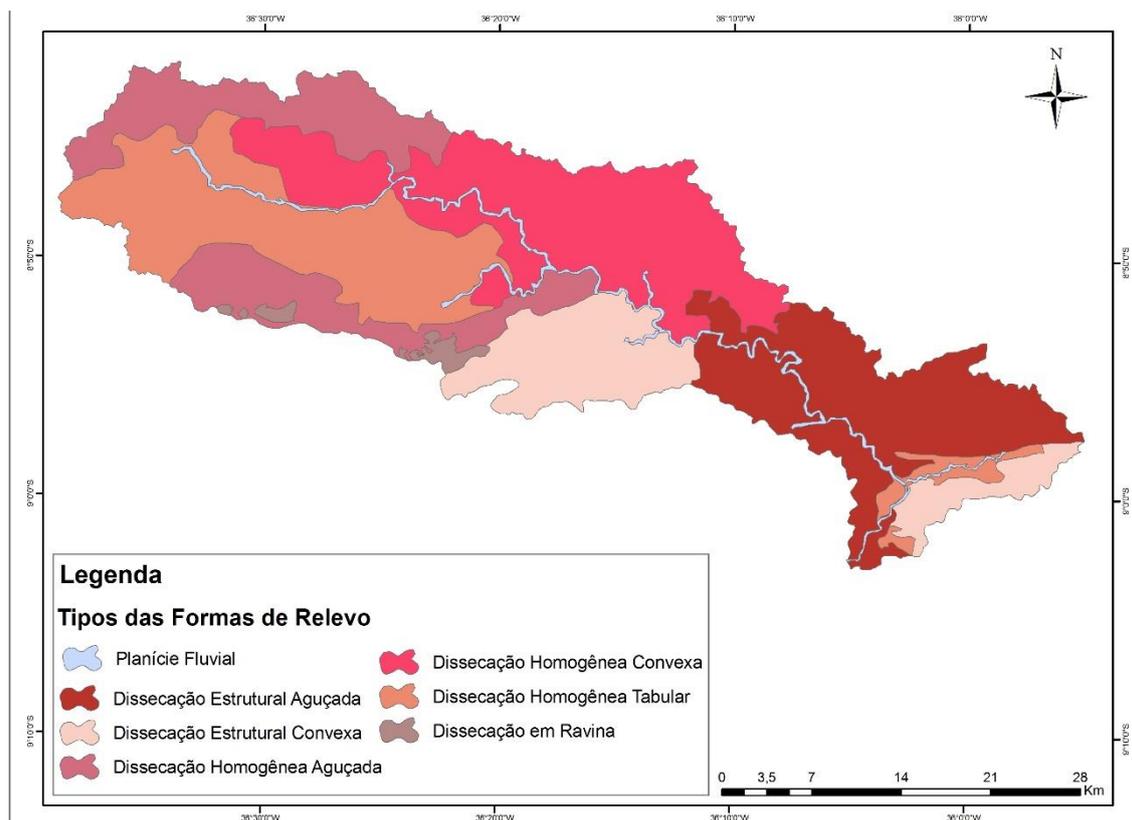


Figura 12 – Compartimentação dos tipos de forma de relevo.

Essas formas de relevo mostram uma predominância de dissecação na bacia, demonstrando uma paisagem trabalhada por agentes erosivos. Os tipos serão descritos de acordo com o IBGE (2009) e apoiadas em Ross (1991) e Ross (1992) no quadro abaixo.

Quadro 3 – Identificação e caracterização dos tipos de formas de relevos encontrados na Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

<b>Tipos das Formas de Relevo</b>	<b>Conceitos/Características</b>
<b>Dissecação Estrutural Aguçada 8</b>	Dissecação com marcante controle estrutural das rochas cristalinas, muito deformadas e caracterizada por muitas cristas, vales e sulcos estruturais. Além de topos estreitos e alongados. São vertentes com alto nível de declividade, tendo no Canhoto uma predominância de declive em 20 a 75%, com sulcos e ravinas profundos.
<b>Dissecação Estrutural Convexa 3</b>	Também se configura por um controle estrutural de rochas cristalinas, deformadas e pela formação de cristas, vales e sulcos estruturais. Características com vales bem definidos e declividades variando de plano a forte-montanhoso.
<b>Dissecação Homogênea Tabular 6</b>	Delineia feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas, geralmente esculpidas em rochas metamórficas. Em geral, definidas por rede de drenagem de baixa densidade, de 0 a 8%, com vales rasos. Resultam da instauração de processos de dissecação, atuando sobre uma superfície aplanada.
<b>Dissecação Homogênea Convexa 4</b>	Dissecação fluvial em litologias metamórficas. Padrões de Drenagem dendríticas. São caracterizadas por vales bem-definidos e vertentes de declividades variadas, de 0 a 75%, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem.
<b>Dissecação Homogênea Aguçada 5</b>	Dissecação fluvial com litologia metamórfica e não apresenta controle estrutural marcante, com predominância de declividade ondulada. Apresenta drenagem dendrítica.
<b>Dissecação em Ravinas 10</b>	Caracterizada por alta densidade de incisões resultantes da atuação predominante da erosão pluvial sob a forma de escoamento concentrado, com nível de declividade de forte-montanhoso e montanhoso.
<b>Planícies Fluviais 7</b>	Área plana resultante de acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais.

Fonte: IBGE (2009). Elaborado pelo autor.

#### 4.1.2 Condições Climáticas

O clima tem importância vital nos fatores bióticos e abióticos, em diversas escalas e é responsável pelas faixas ou zonas de vegetação no globo, como também nos fatores edáficos, para formação de mosaicos da vegetação. O estudo e caracterização das condições climáticas e hidrológicas são fundamentais, pois esses elementos influenciam diretamente sobre os processos físico-biológicos da paisagem, que, por sua vez, definem a dinâmica da bacia hidrográfica.

No nordeste brasileiro, as condições climáticas exercem um papel influenciador na dinâmica ambiental e socioeconômica. Os períodos de secas são maiores que os de chuva, definindo um balanço com déficit hídrico, o que torna o clima um elemento a ser estudado para aplicação em planejamentos e para melhoria da qualidade ambiental e da vida das pessoas (FERREIRA e MELO, 2005).

Araújo *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2008) concordam que no nordeste brasileiro os efeitos dinâmicos atmosféricos são os principais responsáveis por inibir e provocar os períodos chuvosos, e definem que nessa zona existem 3 fatores predominantes:

- “Em dezembro e janeiro o principal efeito dinâmico favorável à precipitação, principalmente no sul da região, é a penetração de frentes frias oriundas do Sul do continente”;
- “Em fevereiro ocorre convergência de massa nos níveis baixos, associada ao movimento vertical ascendente, favorecendo a precipitação”;
- “Em março ocorre divergência de massa nos baixos níveis, convergência nos níveis médios associada a movimento vertical descendente, inibindo a precipitação”.

Araújo *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2008).

De acordo com a classificação estabelecida por Köppen, a bacia hidrográfica do Rio Canhoto está inserida nos climas dos tipos AS (Tropical seco) e BSh (Tropical úmido). Segundo Gomes (2015) a precipitação média dessa área é de 900 mm anuais, sendo que os maiores índices pluviométricos concentram-se no período de fevereiro a julho, o que corresponde a cerca de 73% de toda precipitação anual.

Ainda segundo Gomes (2015), esse período de chuva acontece devido os distúrbios de leste, que atrelados com os sistemas de convergência dos alísios e as brisas terrestres, intensificam a precipitação, principalmente no período noturno.

Ressaltam-se as frentes frias que não são diretamente responsáveis pelo clima do agreste, sendo os vórtices ciclônicos de ar superior os principais atuantes nos meses de novembro a fevereiro, como os fatores principais para as irregularidades quanto a chuvas intensas ou estiagens severas em qualquer área da bacia hidrográfica (ARAÚJO *et al.* 2015). A bacia hidrográfica em questão é influenciada pela variabilidade hidrológica que é passível de ocorrências de período de secas e enchentes (SILVA *et al.* 2008). Diante disso, foi elaborado um mapa dos climas da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto (Figura 13), utilizando os dados do ZANE 2007 e ZAPE 2001.

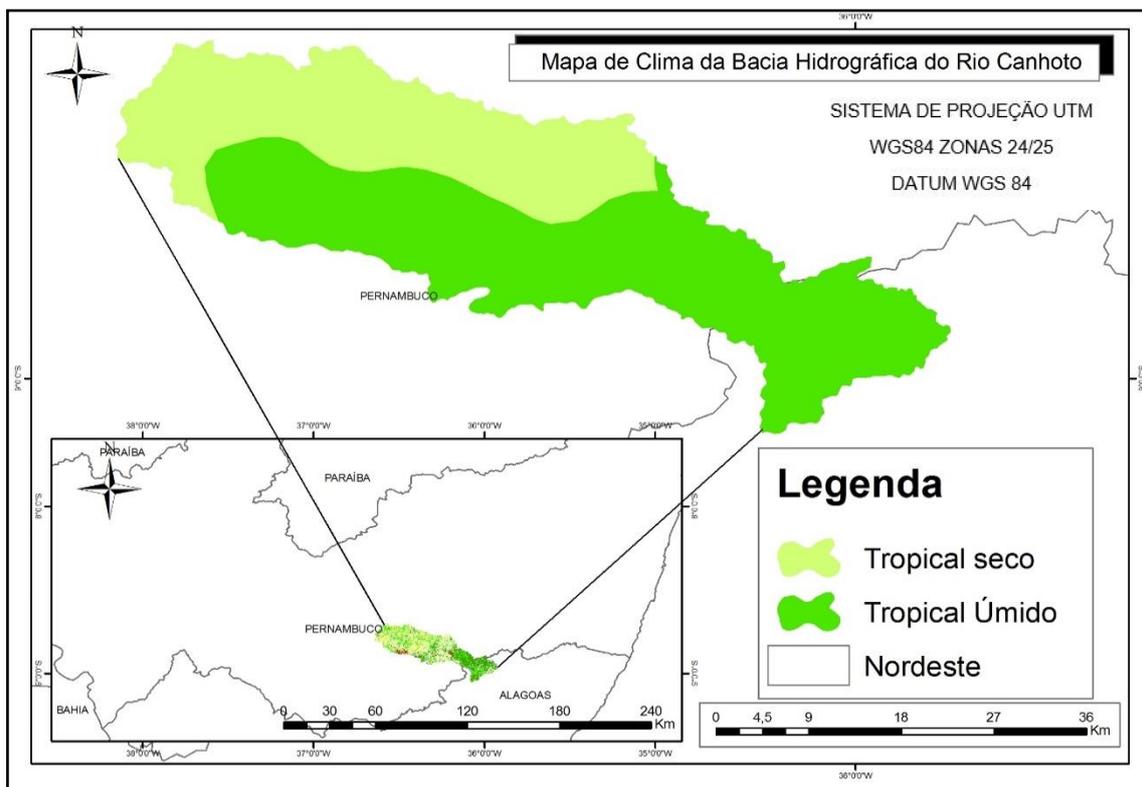


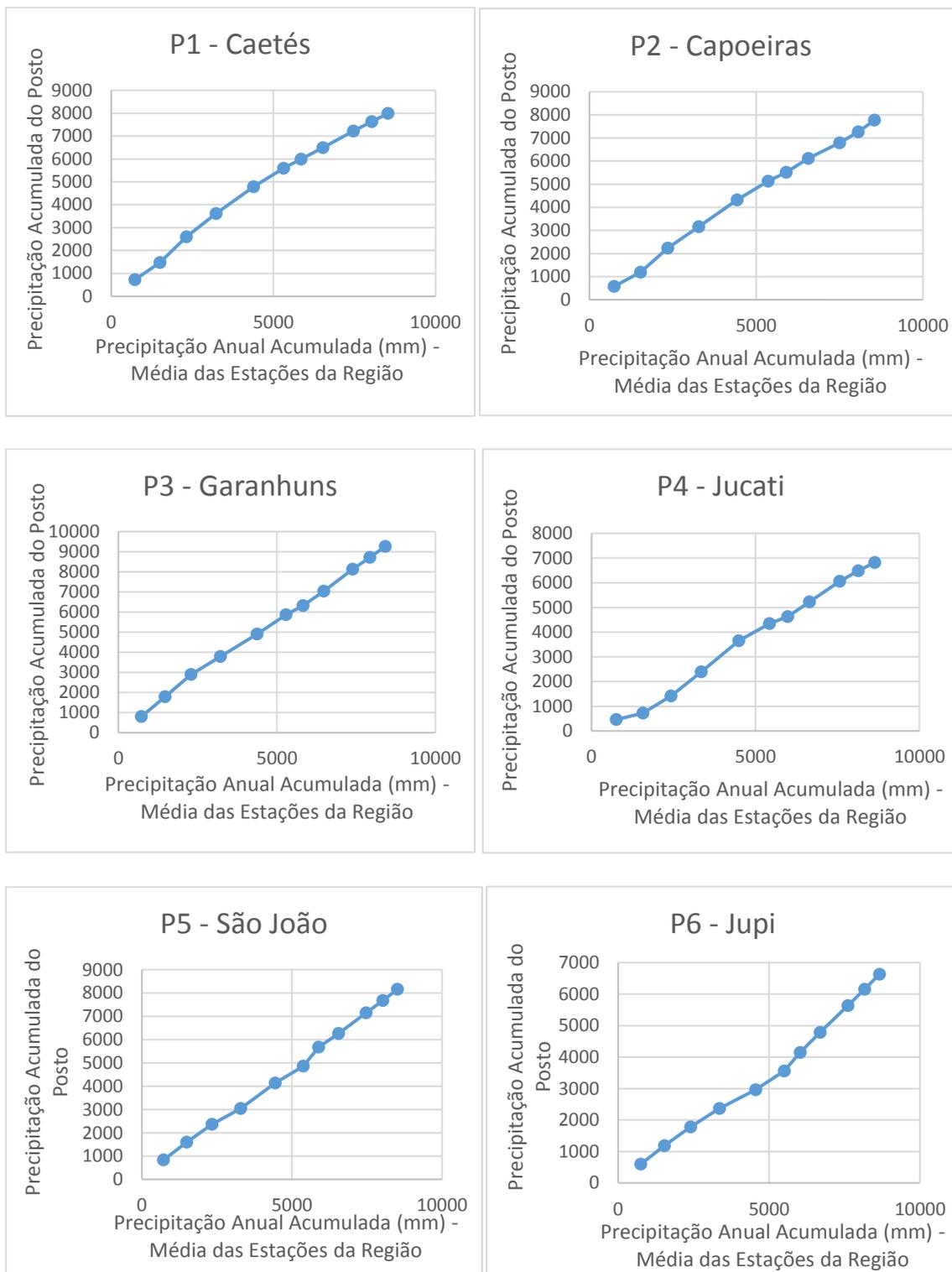
Figura 13 - Mapa dos climas da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: ZANE (2007) e ZAPE (2001), 2017.

Assim, pode ser observado que a bacia hidrográfica do Rio Canhoto tem dois tipos de clima, o tropical seco e o tropical úmido, que serão melhores descritos a seguir:

- Tropical seco: Conhecido como As na classificação de Köppen, tem características de inverno seco e a estação chuvosa no verão, com temperaturas mais baixas em torno de 18°C e a mais alta em 30°C.
- Tropical úmido: Na classificação de Köppen é determinado como BSh, onde é característica a má distribuição de chuvas durante todo o ano, com uma média de temperatura em torno de 27°C e alto nível de insolação.

Através da compilação, correção e análise dos dados obtidos pela APAC, foram geradas as médias de precipitação dos últimos 10 anos na bacia hidrográfica estudada. Correções foram feitas a partir da análise da dupla massa, através da homogeneidade dos dados dos postos pluviométricos. Através da utilização dessa análise, gerou-se gráficos que possibilitam verificar a homogeneidade dos 12 postos dentro e ao redor da área de estudo, podendo ser vistos a seguir, para ter uma melhor qualidade dos dados para

representar e utilizar na elaboração da vulnerabilidade e potencialidade, além do zoneamento ambiental.



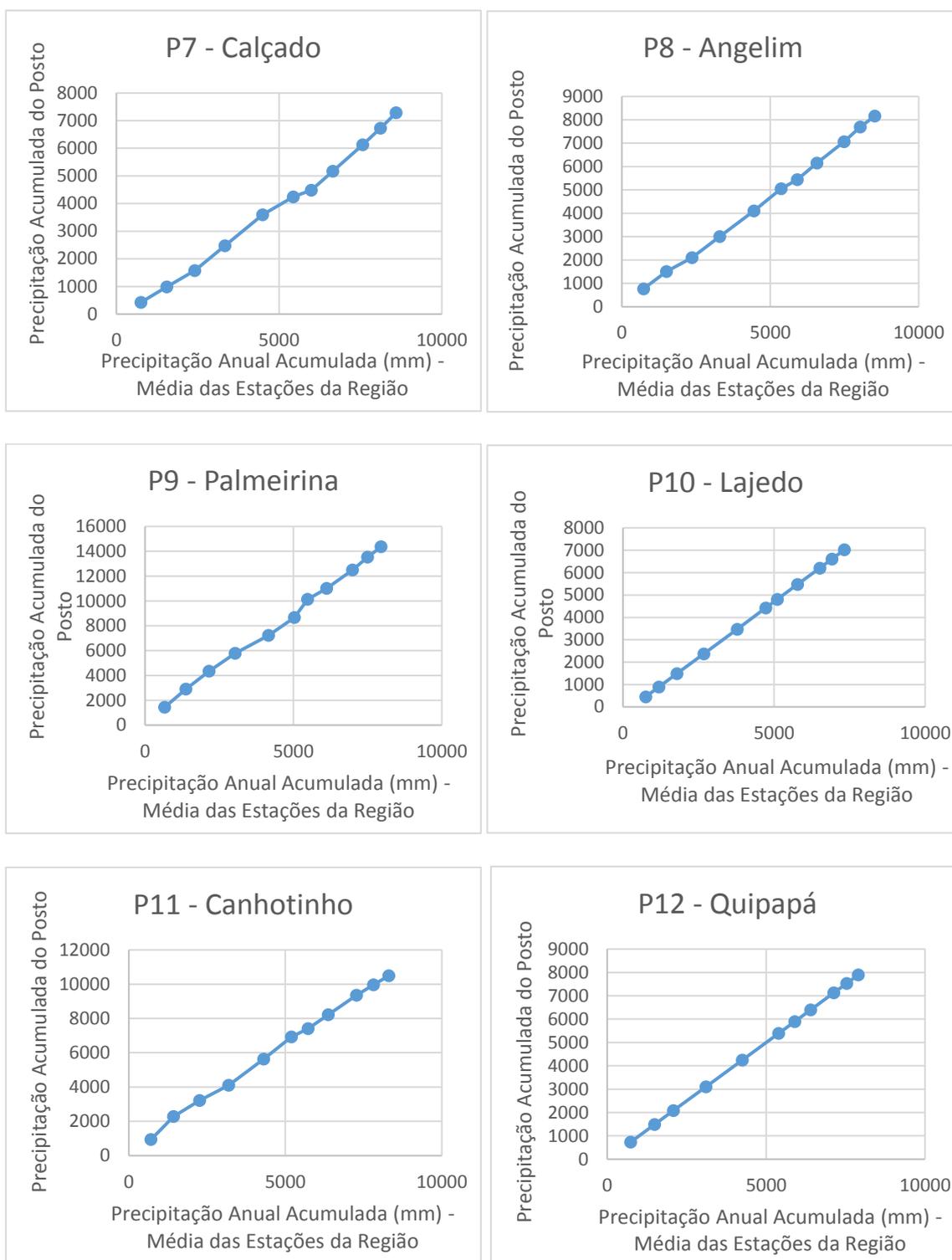


Figura 14 – Gráficos de dupla massa da média de precipitação da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte:APAC, 2017.

De posse desses dados, que se configuram como homogêneos, foi possível elaborar um mapa de precipitação média da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, de 2006 a 2016, que pode ser observado na Figura 15.

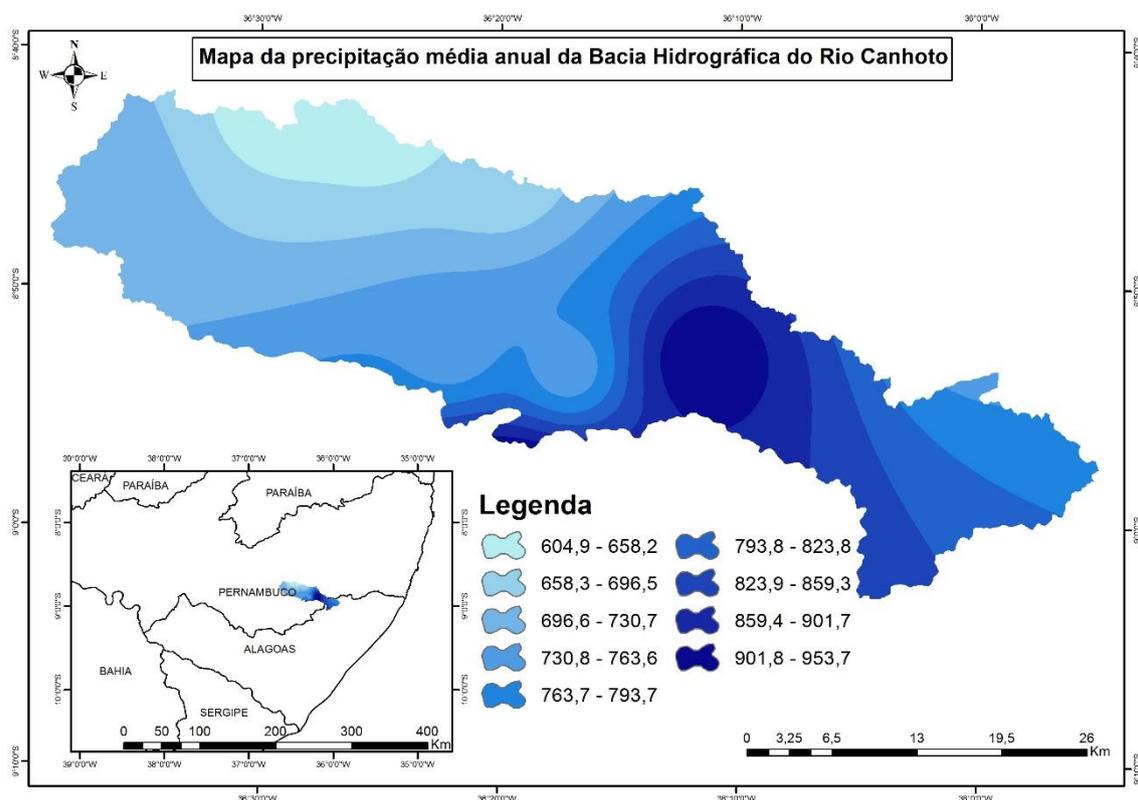


Figura 15 - Mapa da precipitação média anual da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.  
Fonte: APAC, 2017.

Os dados de temperatura da área de estudo foram gerados utilizando-se o software Estima T, que fornece estimativas sobre a temperatura do ar da região Nordeste. Sendo assim, foram extraídas as médias de temperatura entre os anos de 2006 e 2016 para serem utilizadas na análise que este trabalho propõe, o resultado pode ser observado a seguir na Figura 16.

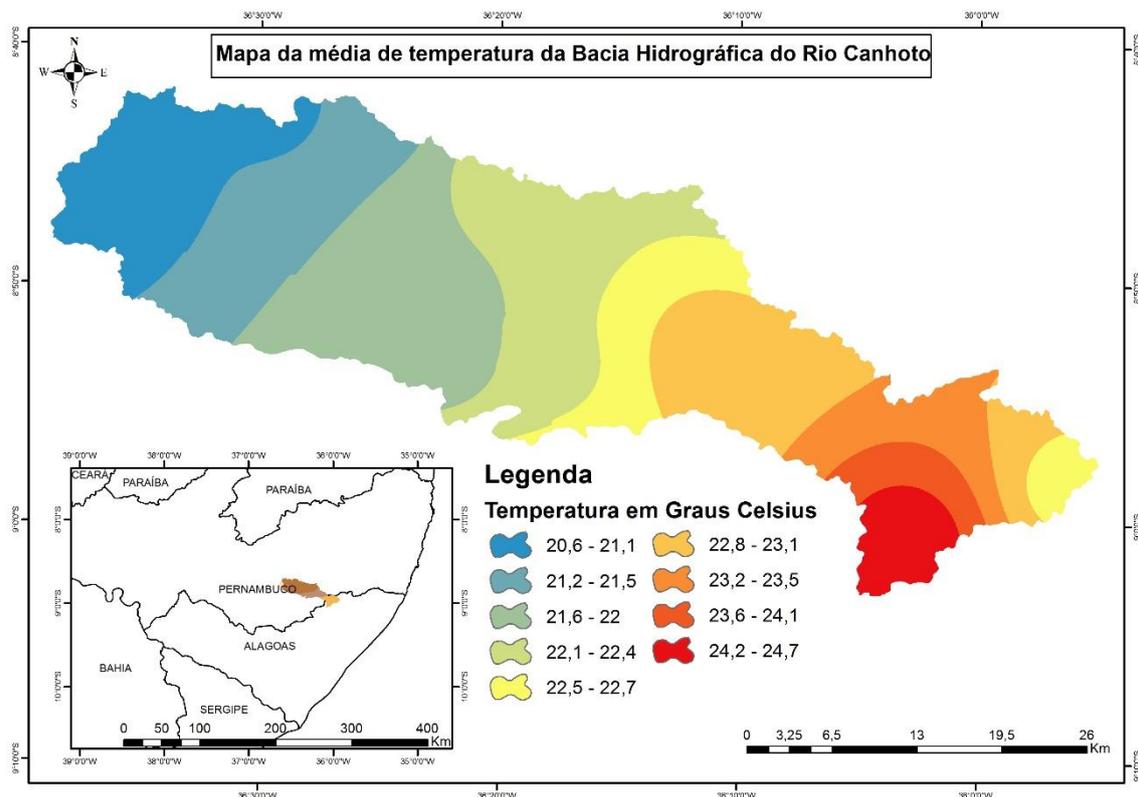


Figura 16 - Mapa da temperatura média anual da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: APAC, 2017.

De acordo com os dados obtidos, nos últimos 10 anos houve médias acima de 20° e abaixo de 25° em toda a extensão da bacia hidrográfica. Devido a área estar localizada em uma altitude próximas aos 1000 metros, esse é um dos motivos do clima mais ameno, além de ter uma alta taxa de precipitação, o que faz com que as temperaturas sejam mais baixas.

#### 4.1.3 Caracterização hidrográfica

Para as condições hidrológicas, foram adotados alguns parâmetros morfométricos para o entendimento da dinâmica hidrológica na Bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Para tanto, a definição dos parâmetros morfométricos foi realizada segundo Christofolletti (1980), considerando as características da hierarquia fluvial, areal, linear e hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Nesse sentido, foram elaboradas 3 tabelas indicando quais foram os dados obtidos e seus conceitos, para as características areais (Quadro 4), lineares (Quadro 5) e dados hipsométricos (Quadro 6).

Quadro 4 - Dados areais

<b>Dado</b>	<b>Descrição</b>
Coefficiente de compacidade	Coefficiente de compacidade e a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia, sendo indicador de propensão de enchentes, quanto mais perto de 1 mais é a chances de enchentes, 1,5 média propensão a enchentes e maior que 1,5 menor a possibilidade de enchente: $K_c = 0,28 P/\sqrt{A}$ (1) Onde: P é o perímetro e A área.
Densidade de Drenagem	É a relação entre a soma do comprimento total dos canais fluviais com a área da bacia. Este índice varia de 0,5 km/km <sup>2</sup> para bacias com drenagem pobre a 3,5 para bacias bem drenadas. Temos: $D_d = C_t/A$ (2) Onde: Dd é a densidade da drenagem; Ct é o comprimento total dos canais; A é a área da bacia.

Fonte. Adaptado por Vilela et al (1975), Christofolletti (1980).

Quadro 5 - Dados lineares

<b>Dado</b>	<b>Descrição</b>
Padrão de drenagem	É o arranjo espacial dos cursos fluviais
Comprimento do Curso principal	É o comprimento do canal principal
Sinuosidade do curso d'água	Relação entre o comprimento do curso principal e a distância o comprimento do talvegue. Representado pela equação: $\text{Sin} = L/L_t$ (3) Onde: Sin é o fator controlador da velocidade de escoamento; L é o comprimento do curso principal; Lt é o comprimento do talvegue
Extensão média do escoamento superficial	Este índice é definido pela distância média que a precipitação teria que escoar em linha reta pela bacia para o ponto mais próximo de um leito de rio qualquer. Dado por: $l = A/4L$ (4) Onde: A é a área da bacia representada de forma retangular; L é a extensão do curso d'água passando pelo centro do retângulo.

Fonte: Adaptado de Strahler (1952), Christofolletti (1980), Tucci (2004), Vilela et al (1975)

Quadro 6. Dados hipsométricos

<b>Dado</b>	<b>Descrição</b>
Perfil Longitudinal	A velocidade de escoamento do curso principal, vai depender da declividade do seu canal. Assim, quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento. Uma forma de traçar a declividade do curso d'água é através do gráfico do perfil longitudinal. Define-se uma linha tal que, a área compreendida entre ela e os eixos das abscissas seja igual a compreendida entre a curva do perfil e a abscissa.
Curva Hipsométrica	É a representação gráfica do relevo médio da bacia. É o estudo da variação de elevação de vários terrenos em relação ao nível do

	mar. Tem como finalidade exprimir a maneira pela qual o volume rochoso abaixo da superfície topográfica está distribuído, através da representação gráfica.
Retângulo equivalente	É um estudo para melhor comparar as características físicas da bacia com o escoamento. São utilizadas as equações: $L = Kc\sqrt{A/1,12 [1 + \sqrt{1 - (1,12/Kc)^2}]}$ $l = Kc\sqrt{A/1,12 [1 - \sqrt{1 - (1,12/Kc)^2}]}$ Onde: L é o lado maior do retângulo equivalente; l o lado menor do retângulo equivalente; Kc é o coeficiente de compacidade da bacia; P é o perímetro, A é a área.

Fonte: Adaptado de Strahler (1952), Christofolletti (1980), Tucci (2004), Vilela et al (1975)

Por sua vez, a hierarquia fluvial é definida como o processo de estabelecer a classificação de determinado curso de água no conjunto total da bacia hidrográfica, utilizando-se os conceitos de Horton, modificados por Strahler, que possibilitam o ordenamento fluvial (STRAHLER, 1952). Nesse caso os canais de primeira ordem são os menores identificáveis e caracterizados por não terem tributários. Já os de segunda ordem são formados pela confluência de dois canais de primeira ordem, e segue-se essa lógica para os demais canais.

Identificou-se que a bacia hidrográfica do Rio Canhoto tem uma hierarquia de 6ª ordem, segundo a metodologia de Strahler (1952) (Figura 17). Esse dado é a base para a definição de outras análises morfométricas, como a identificação dos padrões de drenagem e da densidade de drenagem. Os dados podem ser observados na tabela 7.

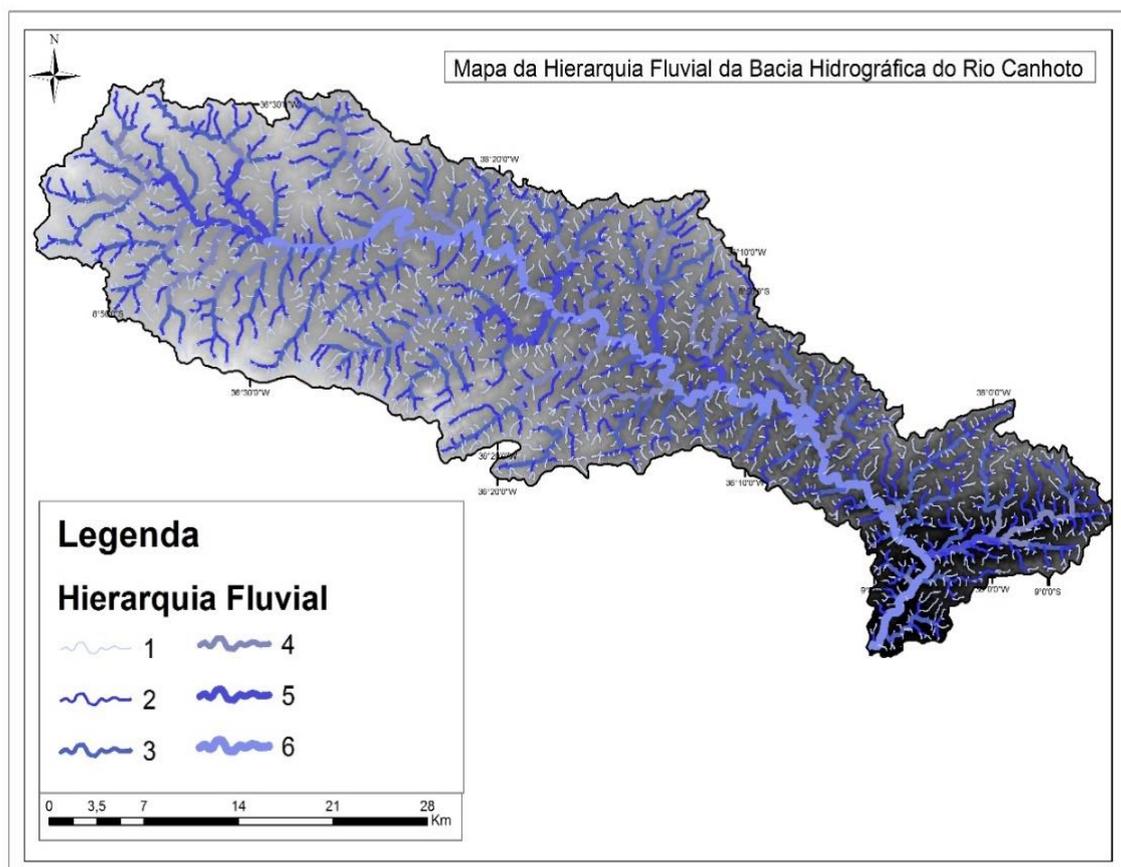


Figura 17 - Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte. Elaborado pelo autor.

Tabela 7. Dados areais

<b>Dados</b>	<b>Resultado</b>
Coefficiente de compacidade	2,12
Densidade de Drenagem	1,8 km/km <sup>2</sup>

Com base nos dados da Tabela 8, pode-se observar que a bacia hidrográfica do Rio Canhoto possui uma área de 1199,36 km<sup>2</sup> e um perímetro de 262,64 km, caracterizando-se por ser uma bacia representativa da região onde está localizada, que em outras palavras, é uma bacia tipicamente homogênea e que permite melhor aprofundamento dos processos hidrológicos.

O coeficiente de compacidade da bacia hidrográfica do Rio Canhoto é de 2,12, mostrando que a área não tem propensão a enchentes. Por fim, a densidade de drenagem resultou em 1,8 km/km, indicando uma drenagem com nível médio de desenvolvimento hídrico.

Tabela 8. Dados lineares

<b>Análises</b>	<b>Análises Observadas</b>
Padrão de drenagem	Dendrítica
Comprimento do Curso principal	121,002 km
Sinuosidade do curso d'água	1,7
Extensão média do escoamento superficial	$l = 2,477$

O padrão de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Canhoto é dendrítico, demonstrando que os rios se unem formando ângulos agudos, sem chegar a ângulos retos. Esse tipo de drenagem geralmente se desenvolve sobre rochas de resistência uniforme ou em estrutura sedimentar uniforme.

O comprimento do curso principal atrelado ao índice de sinuosidade demonstram que não existe muita sinuosidade no curso principal. A extensão média do escoamento superficial é de 2,48 km, que é o percurso que a água da chuva teria que escoar sobre o terreno da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

Elaborou-se o perfil longitudinal do curso principal da bacia (Figura 18), demonstrando que possui um comprimento aproximado de 121 km e uma variação de altitude de 905 metros a oeste e 210 metros a leste. A bacia apresenta uma declividade de 0,00555 m/m, representando uma suave inclinação do curso do Rio Canhoto.

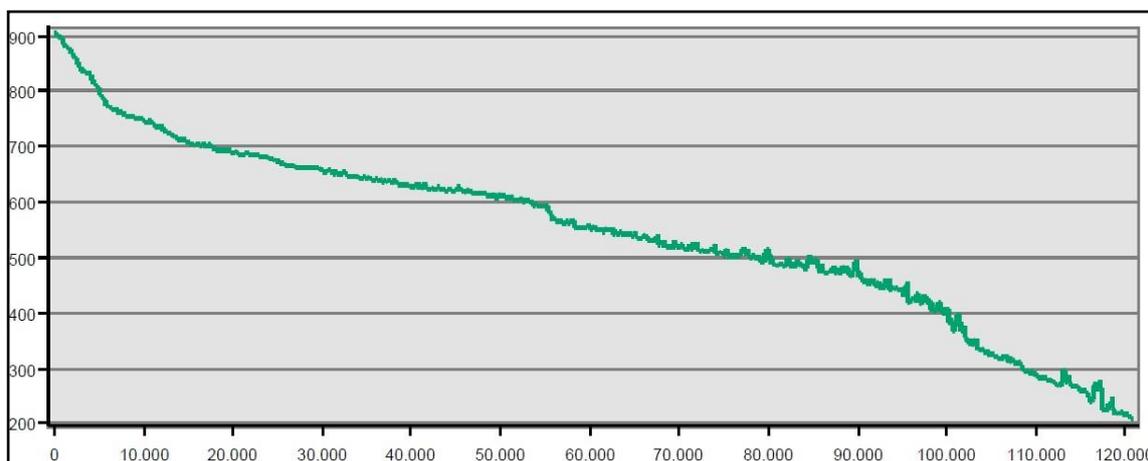


Figura 18 - Perfil longitudinal do Rio Canhoto. Fonte. Elaborado pelo autor.

Para a curva hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio Canhoto (Figura 19), que demonstra a distribuição do volume rochoso abaixo da superfície, foi gerada a tabela 9 para identificação do ponto médio, da área e acumulação e da porcentagem e acumulação entre as cotas, para a elaboração da curva de nível. A partir da representação do gráfico da curva hipsométrica, pode-se observar a distribuição do material rochoso entre as cotas adotadas.

Tabela 9. Curva Hipsométrica da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

Cotas	Ponto Médio	Área (km <sup>2</sup> )	Área Acumulada (km <sup>2</sup> )	%	% Acumulada	(Coluna 2 x Coluna 3)
210 - 260,5	235,25	3,129	3,129	0,26	0,26	736,0973
260,5 - 311	285,75	22,349	25,478	1,863	2,123	6386,227
311 - 361,5	336,25	47,331	72,809	3,946	6,069	15915,05
361,5 - 412	386,75	32,64	105,449	2,721	8,79	12623,52
412 - 462,5	437,25	24,575	130,024	2,049	10,839	10745,42
462,5 - 513	487,75	47,697	177,721	3,976	14,815	23264,21
513 - 563,5	538,25	92,233	269,954	7,69	22,505	49644,41
563,5 - 614	588,75	121,887	391,841	10,162	32,667	71760,97
614 - 664,5	639,25	153,616	545,457	12,808	45,475	98199,03
664,5 - 715	689,75	218,749	764,206	18,238	63,713	150882,1
715 - 765,5	740,25	171,757	935,963	14,32	78,033	127143,1
765,5 - 816	790,75	149,22	1085,183	12,441	90,474	117995,7
816 - 866,5	841,25	69,533	1154,716	5,797	96,271	58494,64
866,5 - 917	891,75	38,827	1193,543	3,237	99,508	34623,98
917 - 967,5	942,25	5,413	1198,956	0,451	99,959	5100,399
967,5 - 1018	992,75	0,368	1.199,36	0,03	100	365,332

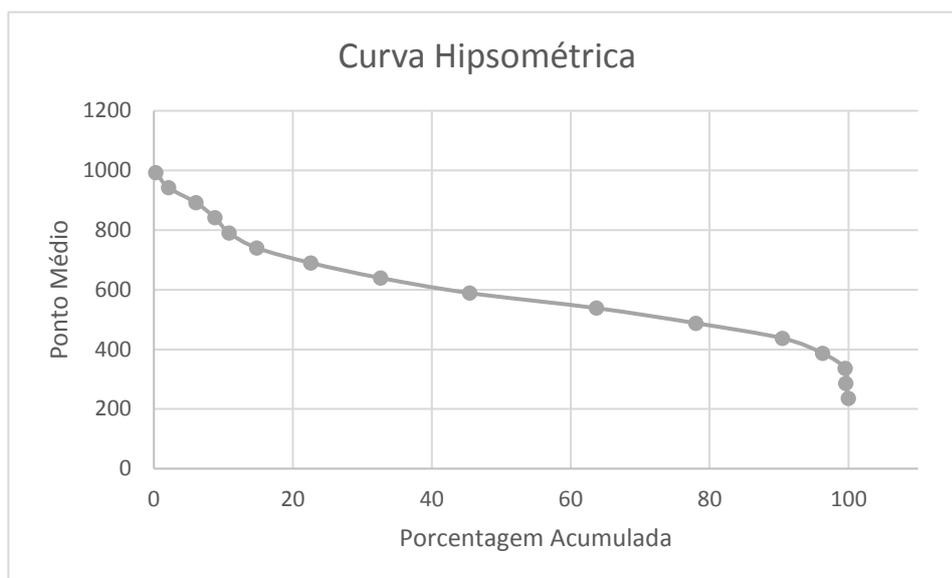


Figura 19 - Curva Hipsométrica da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte. Elaborado pelo autor

Por fim, foi delimitada a fração de área acumulada e o comprimento entre as cotas criadas da bacia hidrográfica do Rio Canhoto (Tabela 10), sendo possível relacionar o escoamento no retângulo equivalente, que pode ser observado na figura 20. Pode-se observar com a elaboração do retângulo equivalente que a distância de escoamento entre as cotas mais altas e mais baixas é pequena, possuindo uma área de escoamento menor, contudo, as cotas médias têm uma distância mais extensa de escoamento.

Tabela 10. Informações para Elaboração do Retângulo Equivalente

Cotas (m)	Fração de Área Acumulada	Comprimentos Acumulados
<b>210 - 260,5</b>	0,26	0,316188
<b>260,5 - 311</b>	2,123	2,574576
<b>311 - 361,5</b>	6,069	7,357417
<b>361,5 - 412</b>	8,79	10,65572
<b>412 - 462,5</b>	10,839	13,13905
<b>462,5 - 513</b>	14,815	17,95887
<b>513 - 563,5</b>	22,595	27,2791
<b>563,5 - 614</b>	32,667	39,5959
<b>614 - 664,5</b>	45,475	55,11894
<b>664,5 - 715</b>	63,713	77,22373
<b>715 - 765,5</b>	78,033	94,57993
<b>765,5 - 816</b>	90,474	109,6588
<b>816 - 866,5</b>	96,271	116,6851
<b>866,5 - 917</b>	99,508	120,6086
<b>917 - 967,5</b>	99,599	121,1556

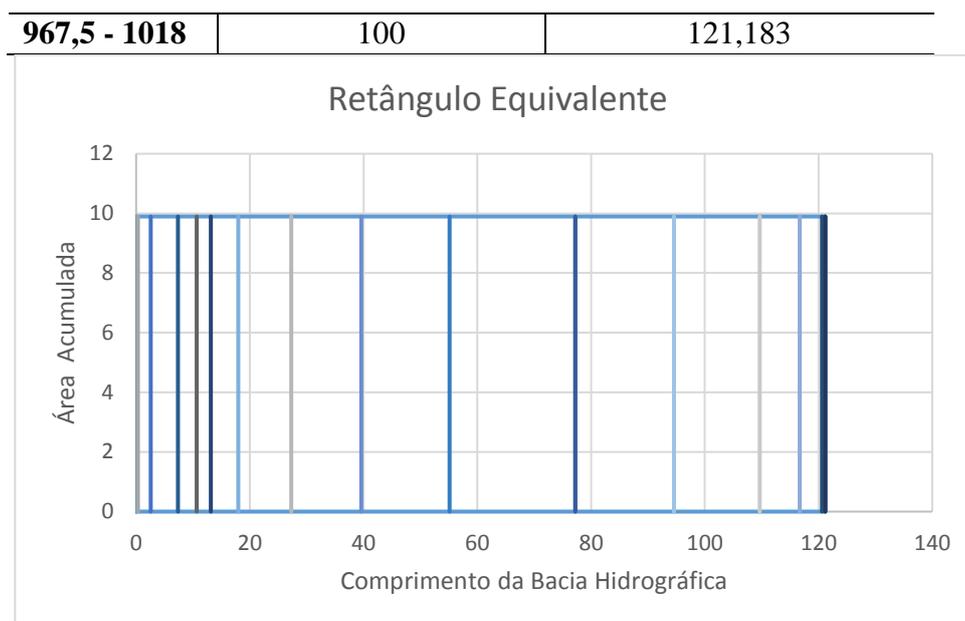


Figura 19 - Retângulo equivalente da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte. Elaborado pelo autor.

#### 4.1.4 Solos

É difícil compreender a dinâmica de uma paisagem sem realizar um estudo dos solos, pois é impossível explicar uma paisagem sem se conhecer as propriedades do solo (TROPMAIR, 2008).

A caracterização do solo ganha maior importância nos estudos sobre os recursos hídricos, pelo fato de que as propriedades dos solos dão informações sobre os aspectos de infiltração e escoamento de água, e se o solo tem uma grande susceptibilidade a erosão.

Na área da bacia hidrográfica do Rio Canhoto existe uma variação de solos rasos e profundos, compreendendo horizontes de solos que compõem todos os horizontes e outros com poucos horizontes.

Na região de Garanhuns, próxima da área de estudo, os solos têm características normalmente de alta saturação, “mostrando horizontes de feições subsuperficiais associadas com umidade, em face de drenagem imperfeita e que tende a ocasionar problemas de encharcamento durante o período chuvoso” (SANTOS, 2013).

Nesse sentido, foi feito o recorte do mapa de solos da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto com o intuito de estabelecer a localização dos tipos de solos e realizar análises sobre as características de suas propriedades, através dos dados do ZANE 2006 e ZAPE 2002 como auxílio ao mapeamento. Existem 4 tipos de classes de solos na bacia

hidrográfica, são eles: Latossolos, Neossolos, Litólicos e Argissolos, que podem ser visualizados na Figura 21.

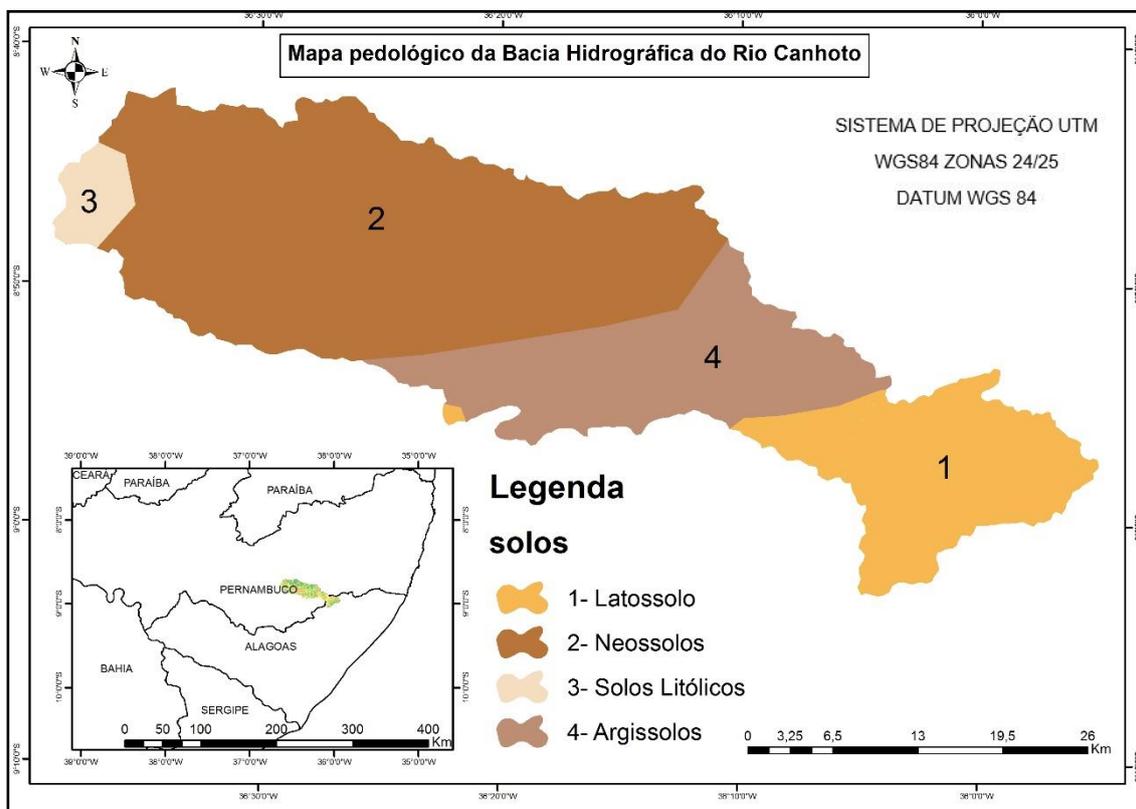


Figura 21 - Mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: ZANE e ZAPE, 2015.

Foi realizado um levantamento das propriedades de cada um dos solos encontrados com o auxílio da Agência de Informação da Embrapa, onde os solos podem ser melhor descritos, as informações sobre cada solo são as seguintes:

- **Latossolos:** São solos formados a partir da remoção da sílica e de outros compostos após a transformação dos minerais primários constituintes. São solos minerais que em condições naturais não são saturados pela água infiltrada (não-hidromórfico), com uma profundidade geralmente de 2 metros, indicando que geralmente são solos bem desenvolvidos, tendo uma sequência de horizontes A, B e C pouco diferenciados, com o horizonte B bastante espesso. O latossolo apresenta um teor de silte em torno dos 20% e de argila variando entre 15 a 80%, sendo um solo bastante permeável. Este tipo de solo é bastante intemperizado, com baixos níveis de nutrição mas pode suportar diversas culturas da agricultura, entretanto, se exposto ao mal manejo, o solo adquire um aspecto ressecado. São solos com potencial a erosão,

principalmente quando o teor de silte e/ou argila são altos, deixando o solo com aspecto arenoso.

- Neossolos: São solos em início de formação sobre mantos de intemperização muito profundos, não-hidromórfico, conhecido por ser pouco desenvolvido e pela pouca profundidade. Este solo geralmente tem uma profundidade de < 50 cm, com apenas os horizontes A e B. Apresenta pequena variação de cor em relação a profundidade, tendo uma textura arenosa média, fazendo com que o solo tenha uma alta permeabilidade. O regossolo possui baixa fertilidade natural, mas se houver um manejo adequado do solo, suporta diversas culturas. Por ter um aspecto granulométrico é um solo facilmente erodido, principalmente se localizado em declividades consideráveis, sem proteção vegetal ou expostos a ações humanas degradantes.
- Litólicos: São solos geralmente encontrados nas regiões com baixa precipitação pluviométrica, sendo pouco afetado pelo intemperismo químico. Este solo é pouco desenvolvido, tendo uma baixa profundidade, com seu horizonte A sobrepondo a rocha matriz e por vezes com o horizonte C com pequena espessura. É um solo não-hidromórfico, apresentando muitos cascalhos e sendo muito pedregoso. O solo litólico é muito difícil de desenvolver alguma cultura de produção, por ser raso e não ter um bom desenvolvimento, é um solo que naturalmente não é fértil e muito susceptível a erosão laminar.
- Argissolos: São solos minerais, que naturalmente não são saturados pela água (não-hidromórficos), em que geralmente no horizonte A apresenta coloração clara. Tem profundidades bastante variada, sendo difícil generalizar se são solos bem desenvolvidos. Apresenta nítida diferença entre seus horizontes, onde geralmente o horizonte B varia de vermelho ou amarelo. Este solo tem uma diversidade de classes texturais. O podzólico apresenta grande diversidade em suas propriedades, podendo encontrar podzólicos férteis ou inférteis para agricultura, e com vulnerabilidade ou resistência aos processos erosivos. Entretanto, a bacia hidrográfica do Rio Canhoto apresenta solos com uma textura mais arenosa, sendo caracterizado como um solo bastante susceptível a erosão.

A partir do mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, pode-se perceber que há potencial para ocorrer processos de erosão, que poderão ser catalisados ainda mais com as atividades humanas.

#### 4.1.5 Vegetação

A caracterização da vegetação é importante pois permite realizar uma primeira análise da paisagem, identificando possíveis relações com as características climáticas e dos solos, além do que a observação da cobertura vegetal permite caracterizar áreas que estão sofrendo com a degradação ambiental.

Lima *et al.* (2015) mostram que a importância da vegetação para o ambiente está em evitar a compactação do solo e diminuir o impacto das gotas de chuva sobre o solo. Nesse sentido, é necessário averiguar qual é o tipo de vegetação, e qual a condição da cobertura vegetal, entendendo o nível de proteção que os vegetais podem fornecer.

Dessa forma, Bertrand (1972) diz que a vegetação dá suporte ao entendimento do meio, visto que a vegetação geralmente comporta uma verdadeira síntese ambiental. A partir disso sabe-se que a vegetação tem um papel bastante interessante no que diz respeito aos processos morfodinâmicos, em outras palavras, aos fatores transformadores do ambiente. Em suma, a vegetação para Bertrand (2004) se comporta sempre como verdadeira síntese do meio.

Por localizar-se em uma zona de transição ambiental, entre a Mata e a Caatinga, a bacia apresenta uma heterogeneidade vegetal responsável por condições diferentes. A zona de Mata é uma sub-região do litoral brasileiro, tradicionalmente conhecida por ser coberta pela Mata Atlântica. Já a caatinga é o único ambiente exclusivamente brasileiro, com vegetação peculiar adaptada às condições de semiaridez.

Estão inseridas nessas sub-regiões três tipos de vegetação características dessa área de transição ambiental, com espécies subperenifólias, subcaducifólias e xerófilas. A partir da confecção do mapa de vegetação da bacia hidrográfica do Rio Canhoto (Figura 22), foi possível observar que a mesma possui três tipos de vegetação, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Aberta e Áreas de Tensão Ecológica, que serão descritas a seguir (IBGE, 2012).

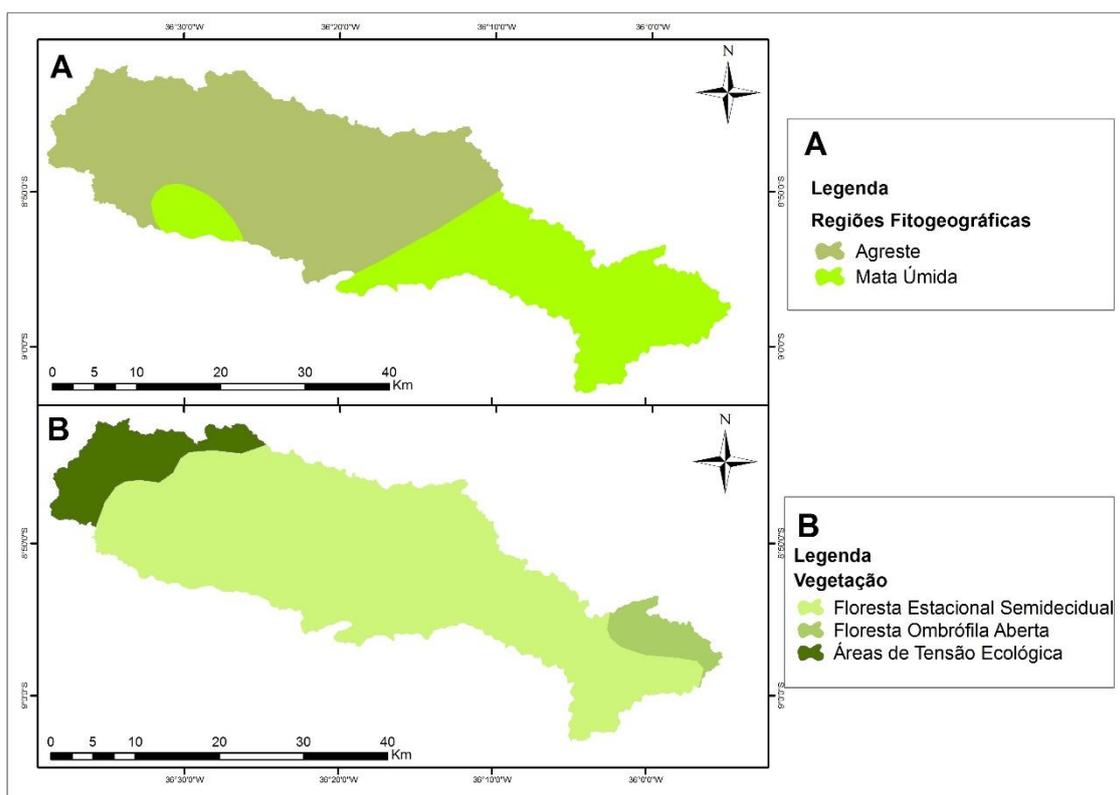


Figura 22 – Mapa das regiões fitogeográficas e da vegetação da bacia hidrográfica do rio Canhoto. Fonte: ZANE e ZAPE, 2017. Elaborado pelo autor.

- Floresta Estacional Semidecidual: Na Bacia hidrográfica do Rio Canhoto, este tipo de vegetação é constituído fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas, associadas a secas hibernais e chuvas intensas no verão, determinando um repouso fisiográfico e queda parcial das folhagens.
- Floresta Ombrófila Aberta: Este tipo de vegetação é caracterizado no objeto de estudo por ter mais de 60 dias secos por ano, assinalados na curva ombrotérmica. Apresentando uma faciação fisionômica ecológica, definida como floresta ombrófila de densa-submontanha. Seu nome advém por consequência da fitomassa e o fitovolume de recobrimento, que vão diminuindo gradativamente de densidade.
- Áreas de Tensão Ecológica: Constitui uma área de transição com uma mistura muito forte na Bacia hidrográfica do Rio Canhoto, entre a área de Floresta Estacional Semidecidual e a Savana Estépica da Caatinga do Sertão Árido Nordeste.

Para melhor entendimento no que se refere a distribuição da vegetação na Bacia hidrográfica do Rio Canhoto, foi elaborado, com o índice de vegetação SAVI (por extenso), um mapeamento da cobertura vegetal (Figura 23), utilizando as imagens de

satélite e definindo-se cinco classes: Vigor Muito Alto, Vigor Alto, Vigor Intermediário, Vigor Baixo e Vigor Muito Baixo.

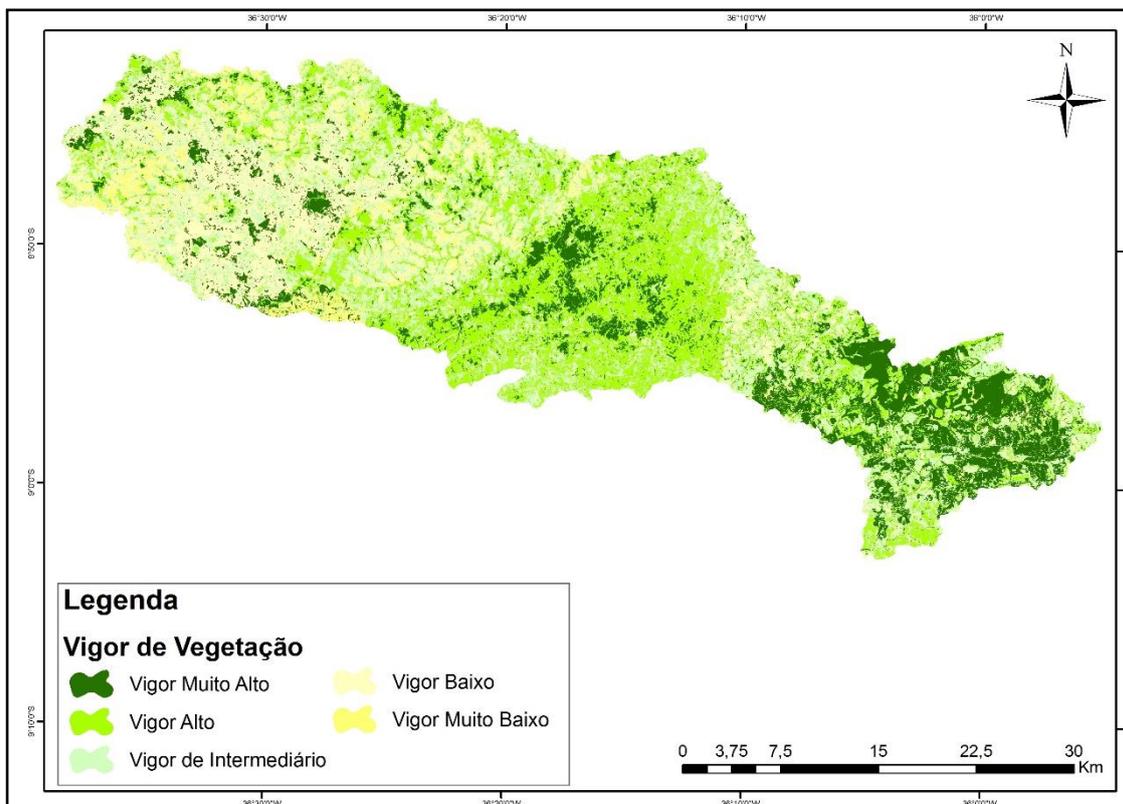


Figura 23 – Mapa da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Canhoto. Fonte: Elaborado pelo autor.

Através do mapeamento da cobertura vegetal, gerado com o SAVI, percebe-se a distribuição espacial e a variação do vigor de vegetação na bacia hidrográfica do Rio Canhoto, permitindo a elaboração do gráfico da Figura 24.

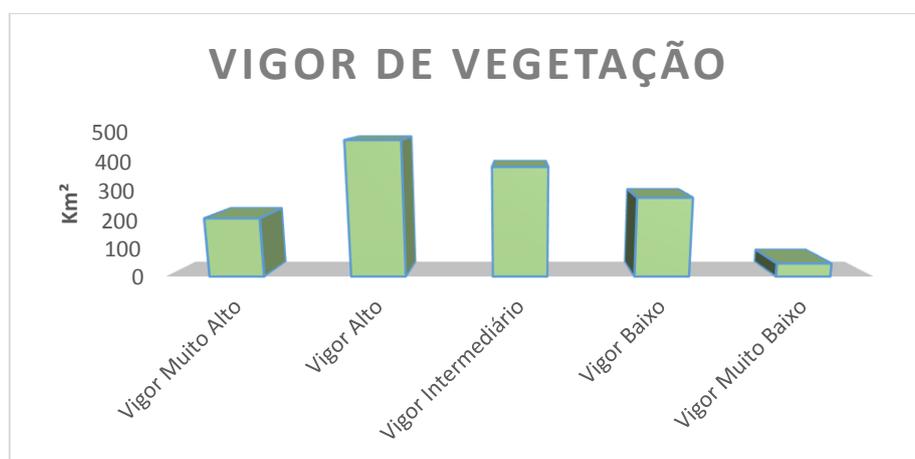


Figura 24 – Gráfico da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Canhoto. Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido a data da imagem ser após o período de chuva, houve uma predominância de áreas com vegetação de Vigor Alto, Intermediário e Baixo, e a classe com menor área é a de Vigor Muito Baixo.

Outro ponto a ser abordado, é que à montante da bacia hidrográfica do Rio Canhoto existe um uso e ocupação da terra intenso e relevo mais plano, acarretando numa maior transformação da paisagem, com pouca vegetação.

#### 4.1.6 Uso e Ocupação do Solo

O uso inadequado da terra pelo homem é um elemento catalisador para a degradação ambiental e o desequilíbrio ecológico do meio ambiente (MOTA, 1981). Nesse sentido, os processos de ocupação e expansão do meio são sérios problemas, principalmente quando ocorrem de forma desordenada, utilizando os recursos naturais sem o devido planejamento.

Na bacia hidrográfica do Rio Canhoto há uma predominância de atividades rurais, sendo a pecuária a principal atividade. Destaca-se por ser uma das principais regiões leiteiras de Pernambuco, com mais 70% de toda a produção de leite, formando um eixo importante para produção e distribuição de leite para o Norte/Nordeste (BORGES *et al.* 2009).

Sendo bastante comum a utilização de áreas próximos aos cursos de d'água e com inclinações acentuadas destinadas ao pasto para o gado, além de pequenas plantações nas planícies fluviais, que podem ser observadas a seguir:



Figura 25 e 26 – Fotografias da bacia hidrográfica do rio Canhoto, no município de Canhotinho. Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que a cidade Garanhuns, que se encontra na bacia hidrográfica do Rio Canhoto, é a mais importante além de ser polo do agreste meridional de Pernambuco. Por sua relevância turística, comercial e educacional, tem um caráter central em relação as demais cidades inseridas na bacia hidrográfica em estudo, sendo a 9º cidade pernambucana mais populosa, com 129.408 habitantes (IBGE, 2010).

A problemática está relacionada com um processo de uso e ocupação desordenado e sem nenhuma política pública voltada ao ordenamento territorial na bacia hidrográfica do Rio Canhoto, provocando a retirada indiscriminada da cobertura vegetal e a exposição do solo, represamento dos cursos d'água diminuindo a capacidade de transporte de sedimentos para os corpos d'água. Podendo ser observados nas seguintes imagens:



Figura 27, 28, 29 e 30 – Fotografias da bacia hidrográfica do rio Canhoto, no município de Canhotinho. Fonte: Elaborado pelo autor

Como resultado desse processo, aumentam os níveis de degradação ambiental, e, por conseguinte a vulnerabilidade ambiental da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

Na porção superior da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto são encontradas maiores restrições hídricas. Isso ocorre devido a estrutura fundiária (pequena

propriedade) e a agricultura de subsistência prevaemente, atrelado ao nível técnico adotado de super exploração das terras, que é acima da capacidade potencial (SANTOS, 2013).

Foi elaborado um mapeamento do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, com o intuito de espacializar as atividades antrópicas, na tentativa de obter mais informações sobre a dinâmica socioeconômica.

Para elaboração do mapa de uso e ocupação da terra, foram utilizadas imagens da constelação Sentinel-2, na composição das bandas 8 (infravermelho), 2 (vermelho próximo) e 4 (verde), por apresentarem forte semelhança com as cores da natureza e por facilitar a interpretação da cobertura e do uso da terra (IBGE, 2013).

Foi realizada a classificação supervisionada de máxima verossimilhança, com a utilização dos classificadores por região, sendo adotadas as seguintes classes para o uso da terra, de acordo com o IBGE (2013): Corpos D'água; Áreas descobertas; Área de Vegetação Natural; Culturas Agrícolas; Pastagens e Áreas Urbanizadas.

Diante da identificação e classificação das classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Canhoto, foi possível a elaboração do mapa temático representando a sua espacialização (Figura 31).

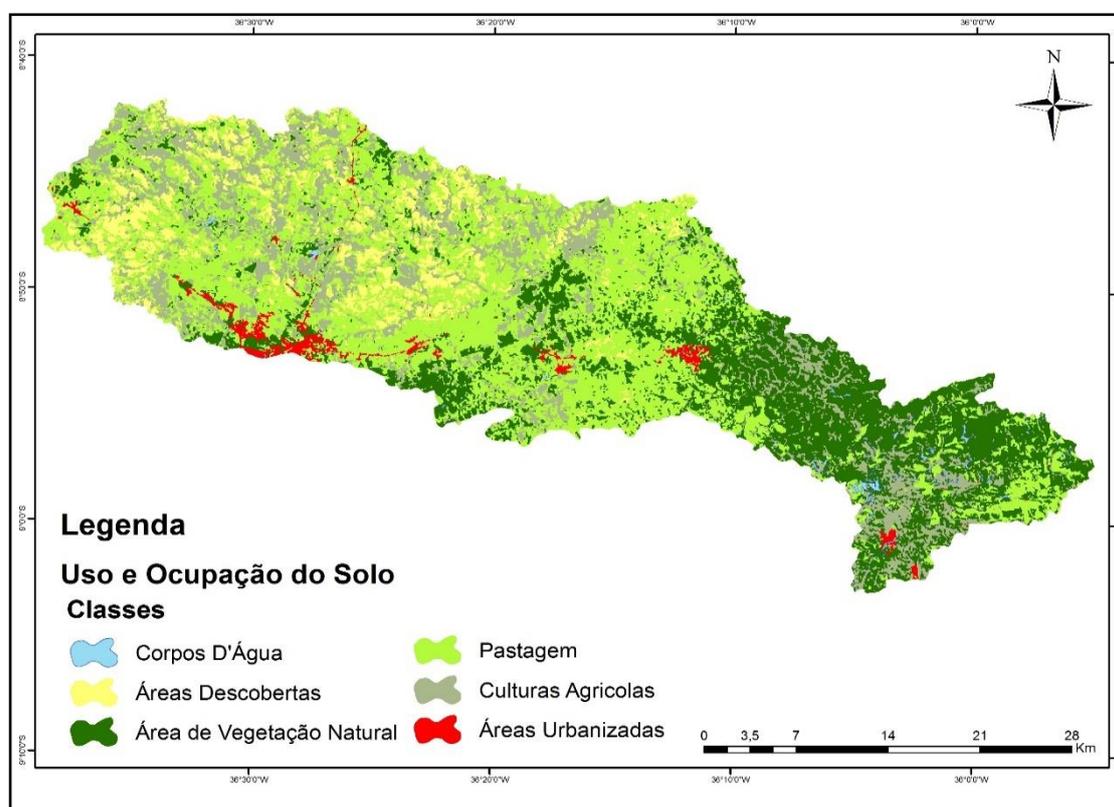


Figura 31 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do mapa gerado, pode-se observar a distribuição espacial dos Corpos D'Águas, Áreas Descobertas, Áreas Urbanizadas, Área de Vegetação Natural, Pastagem e de Culturas Agrícolas, permitindo algumas análises de suas características.

Foi identificada uma grande distribuição de Corpos D'Água na bacia hidrográfica, perto ao exutório, onde há presença de vegetação e clima mais úmido.

Os resultados mostram que as Áreas Descobertas são em menor dimensão que as áreas com cobertura vegetal.

Com a utilização do mapa, pode-se perceber nitidamente a distribuição das áreas urbanizadas na bacia hidrográfica do Rio Canhoto, sendo encontrados as cidades de Caetés, São João, Angelim, Canhotinho, São José da Laje (cidade e distritos) e parte da cidade de Garanhuns, sendo esta a maior porção de área urbanizada.

As áreas com Vegetação Natural se concentram mais próximas ao exutório da bacia hidrográfica, principalmente onde o relevo é mais acentuado e é mais úmido.

#### **4.2 Análise das Potencialidades e Vulnerabilidades Ambientais**

Diante dos dados obtidos, foi possível gerar o mapa das potencialidades e vulnerabilidades ambientais da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, seguindo os procedimentos metodológicos mencionados anteriormente.

A partir dos procedimentos propostos por Priego *et al.* (2010), Tricart (1977), Tagliani (2002), Ab'Sáber (2003, 2003, 2005 e 2007) e Grigio (2003), através da técnica de Álgebra de Mapas, combinando informações dos mapas de Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Clima foi possível determinar as áreas com maiores potencialidades e vulnerabilidade, podendo realizar cálculos estatísticos da área e comparações para identificar o quanto a ação humana transforma a dinâmica natural da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

Assim, foi elaborado um mapa das potencialidades e vulnerabilidades da área de estudo, estabelecendo 5 classes que podem ser observadas na Figura 32.

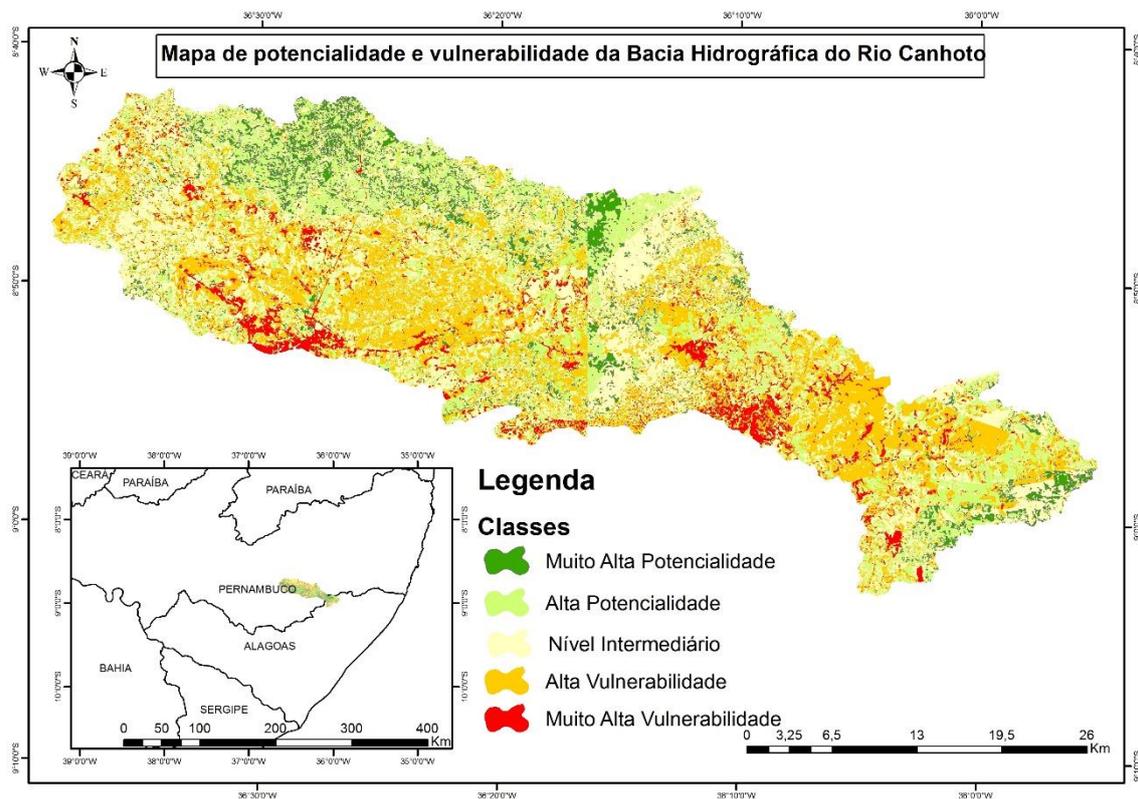


Figura 32 – Mapa das potencialidades e vulnerabilidades da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse sentido, visualmente as classes de Alta e Muito Alta Vulnerabilidade são mais presentes, em detrimento da Alta e Muito Alta Potencialidade, que são menores, mas ainda bastante presentes na bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

A partir da espacialização e observação das áreas de cada classe de potencialidade e vulnerabilidade ambiental, é possível perceber que as áreas de maior preocupação são onde o uso antrópico vem sendo mais modificante, como por exemplo, as áreas de urbanização e de agropecuária, ressaltando que estas crescem sem uma política ambiental para desenvolvimento.

Já nas áreas de potencialidade são áreas onde existe uma maior concentração de cobertura vegetal e um uso antrópico menos degradantes, além de localizar em áreas onde com baixo nível de dissecação, concentrando menos perda de solo através dos processos de erosão. Sendo claramente a classe de Alta Potencialidade mais perceptível no mapa.

Para melhor interpretar essas informações de potencialidade e vulnerabilidade, foi realizado a quantificação de cada classe do mapeamento, na tentativa de precisar as

características da bacia. Assim, foi elaborada o seguinte gráfico com a quantificação em km<sup>2</sup> (Figura 33):

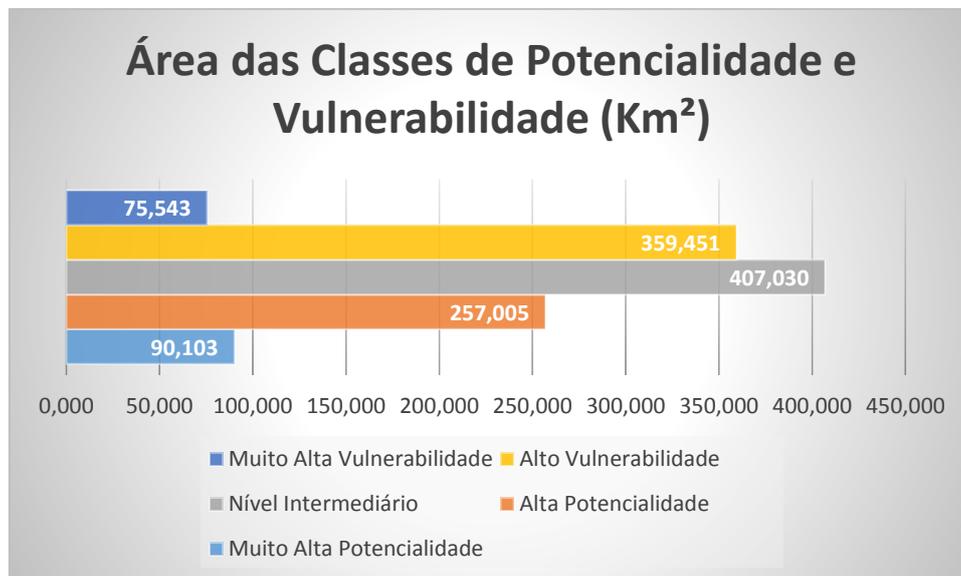


Figura 33 – Gráfico da área de potencialidade e vulnerabilidade da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: Elaborado pelo autor.

Através do gráfico que representa as áreas das classes de potencialidade e vulnerabilidade ambiental, pode-se observar que existe uma maior área de Nível Intermediário, mostrando um estado equilíbrio. A segunda maior área que ocorre na bacia é a de Alta Vulnerabilidade, seguida pela de Alta e Muito Alta Potencialidade, e por fim de Muito Baixa Vulnerabilidade.

Pode-se considerar que a vulnerabilidade ambiental é maior que as áreas de potencialidade na bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Somando as classes de vulnerabilidade, tem-se cerca de 434,99 km<sup>2</sup>, maior que as áreas com nível intermediário. Em contraponto, somando as classes de potencialidade tem-se 347,11 km<sup>2</sup>, representando uma diferença de 87,89 km<sup>2</sup> entre as classes de vulnerabilidade e potencialidade.

Com esses resultados, pode-se perceber que a maior parte da bacia hidrográfica do Rio Canhoto apresenta vulnerabilidade ambiental, o que gera preocupação por parte dos gestores, visto a grande quantidade de pessoas que depende dessa área para desenvolver suas atividades, a fim de garantir a sobrevivência. Entretanto, existem ainda grandes extensões com potencialidade ambiental, o que pode propiciar a existência de diversas atividades econômicas de forma sustentável.

Ainda para melhor visualização desses dados, foi elaborado um gráfico de porcentagem das classes de potencialidade e vulnerabilidade ambiental da área de estudo, na tentativa de melhor compreender as diferenças entre as mesmas.

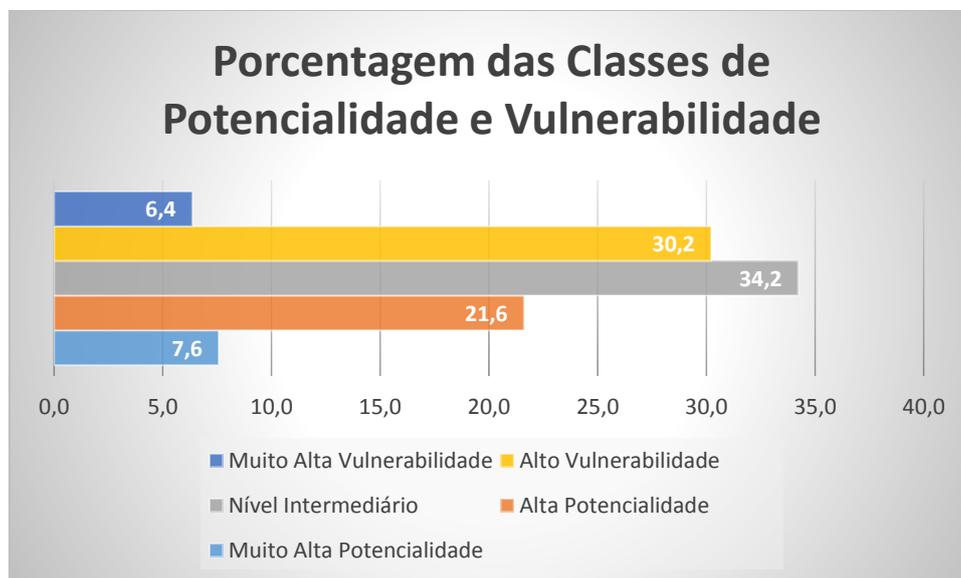


Figura 34 – Gráfico de porcentagem de potencialidade e vulnerabilidade da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: Elaborado pelo autor.

Corroborando com os dados apresentados no gráfico de áreas, pode-se observar as diferenças entre as classes de potencialidade e vulnerabilidade ambiental em porcentagem. Assim, existe uma variação de 26% entre a maior classe, que é de Nível Intermediário, sobre a menor que é a de Muito Alta Vulnerabilidade. Ressalta-se a proximidade desses dados, explicados devido as características semelhantes que existem em toda a extensão da bacia hidrográfica.

Assim, pode-se perceber a complexidade existente na bacia hidrográfica, por não haver uma alta variação alta entre as classes de potencialidade e vulnerabilidade ambiental.

### **4.3. Zoneamento Ambiental**

Com a geração do mapa de potencialidades e vulnerabilidades ambientais, foi possível estabelecer zonas ambientais que caracterizam o grau de relação que a sociedade deveria estabelecer com essas áreas, para possibilitar um adequado desenvolvimento das atividades humanas.

A metodologia utilizada foi baseada na análise paisagística, caracterizando a descrição e classificação de fatores de transformação da paisagem, visando o ordenamento da área de estudo. Busca-se compreender esse espaço e os atores modificadores do mesmo.

Para melhor observação e estudo sobre essa proposta, segue um mapa do zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio canhoto (Figura 35), estabelecendo 4 classes de formas de utilização das áreas, sendo elas: Reabilitação, melhoria, aproveitamento e preservação.

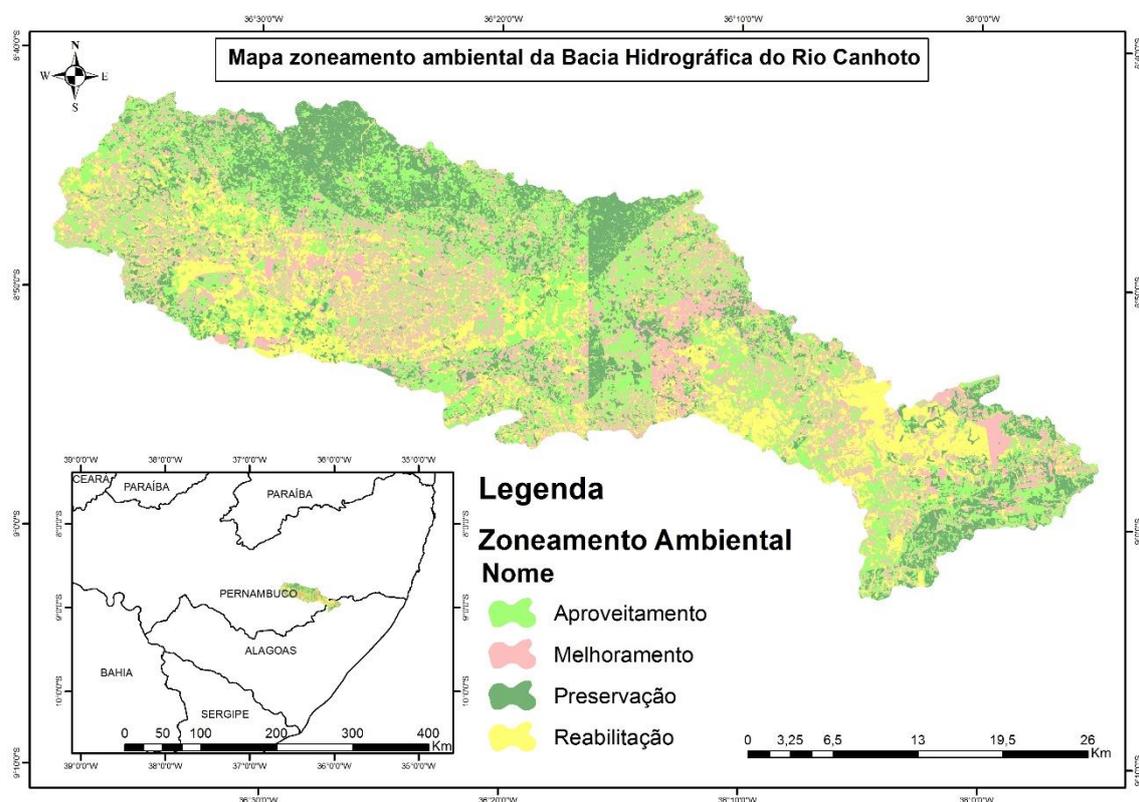


Figura 35 – Mapa de zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do mapeamento das zonas ambientais utilizando os dados e informações das potencialidades e vulnerabilidades ambientais, tem-se uma ferramenta para gestão ambiental da bacia hidrográfica, tanto na questão de preservação como de reabilitação. Nesse sentido, o mapa apresenta as 4 classes distribuídas de forma bastante diversificada.

É perceptível que as áreas de preservação e aproveitamento ocorrem nos trechos mais afastados dos centros urbanos e em localidades com pouca dissecação, sendo boas para o desenvolvimento de atividades humanas sustentáveis.

Em contraponto a isso, as zonas ambientais que necessitam de reabilitação e melhoramento são áreas de extensiva utilização agrícola e de criação de animais, além de áreas urbanizadas. Isto ocorre porque essas áreas já foram e são bastante exploradas e precisam de ações de gestão para a recuperação ambiental.

Para melhor compreensão desses dados, foi elaborado um gráfico com a quantificação das áreas das 4 classes do zoneamento ambiental (Figura 36), com o intuito de melhor precisar as áreas que precisam de cuidados.

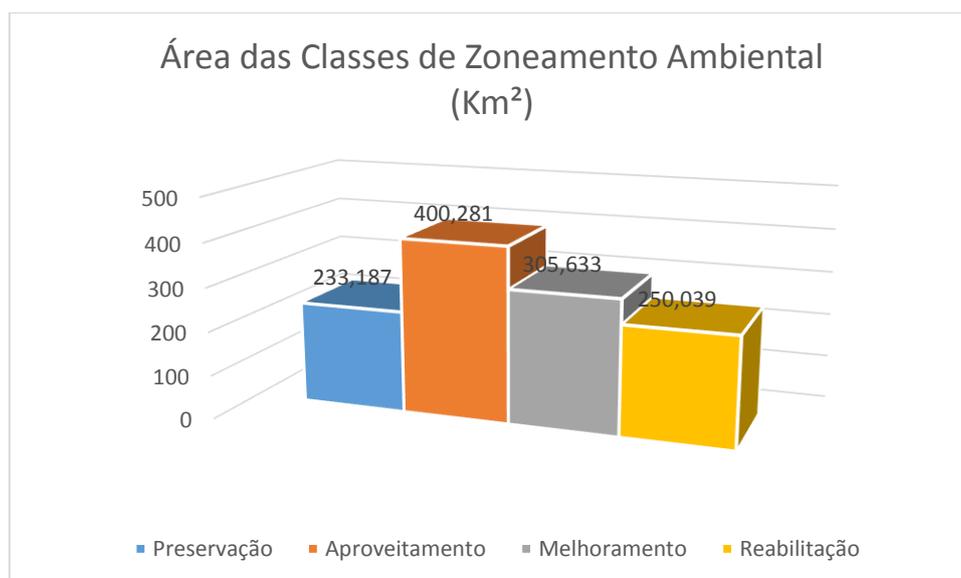


Figura 36 – Gráfico das áreas do zoneamento ambiental da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da quantificação das áreas das classes de zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, percebe-se que a classe de Aproveitamento é a mais extensa, destacando-se que é possível “aproveitar melhor a atual feição de uso, intercalando com outros usos funcionais e/ou ambientais”. Nesse sentido, é possível diversificar os tipos de uso de tempos em tempos, através de técnicas que não degradem o ambiente.

Com menor extensão em área está a classe de Melhoramento, com cerca de 305,63 km<sup>2</sup> de áreas que necessitam otimizar o uso atual através de técnicas alternativas para atingir os objetivos do fluxo funcional, sem perder o valor ambiental. Esta classe é mais sensível aos problemas existentes na bacia hidrográfica, pois, representa áreas mais vulneráveis que a de Aproveitamento.

Com uma extensão ainda menor que as anteriores, está a classe de Reabilitação com 250,04 Km<sup>2</sup> de áreas que precisam de mudança significativa, pois são áreas com

grande vulnerabilidade ambiental e com usos antrópicos bastante desordenados e agressivos ao meio ambiente, como um crescimento urbano desorganizado e uma agropecuária degradante.

Por fim, em representando a menor extensão observada na área de estudo, está a classe de Preservação, com aproximadamente 233 km<sup>2</sup>, correspondendo a áreas com boa potencialidade, mas que é necessário manter um planejamento voltado para a sustentabilidade.

Diante disso, para melhor visualização das relações entre as classes mapeadas, foi elaborado um gráfico da porcentagem das classes de zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

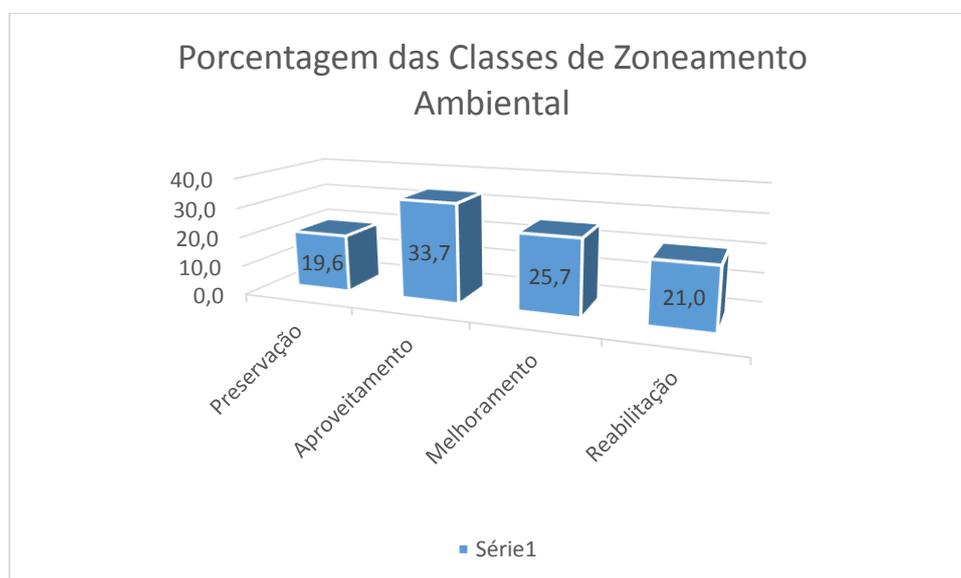


Figura 37 – Gráfico em porcentagem do zoneamento ambiental da Bacia hidrográfica do Rio Canhoto. Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante desse gráfico, pode-se perceber a pouca variação entre as classes do zoneamento ambiental. A variação entre as classes é de 14,1 % entre a classe de Melhoramento e de Preservação.

Ressalta-se, de todo modo, que o zoneamento ambiental é um instrumento importante para o planejamento das atividades humanas, uma vez que leva em consideração as limitações e possibilidades das condições ambientais existentes em um determinado local.

### **4.3.1 Análise e Comparação da Potencialidade e Vulnerabilidade Ambiental com o Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Canhoto**

Com o mapeamento das áreas de potencialidade e vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, foi possível estabelecer um zoneamento ambiental que sugere o tipo de manejo do solo para cada área, definindo quais delas precisam de uma maior atenção e quais podem ser utilizadas com menores restrições.

Como o zoneamento ambiental foi gerado respeitando a metodologia composta por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2010) e Ferreira (2016) a partir da potencialidade e vulnerabilidade ambiental, será feita uma correlação dos resultados obtidos nos dois produtos.

Para tanto, ressalta-se que a escala cartográfica adotada em toda pesquisa foi de 1:100.000, permitindo a análise de vários elementos influenciadores da potencialidade e vulnerabilidade ambiental, além do zoneamento ambiental. Entretanto, nesse momento a utilização da escala foi um fator complicador da análise e comparação dos dois produtos gerados pela pesquisa.

Dessa forma, pode-se perceber que majoritariamente as áreas de vulnerabilidade ambiental, considerando os níveis de Alta e Muito Alta Vulnerabilidade da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, correspondem às áreas de reabilitação no zoneamento ambiental, resultado obtido devido a intensa atividade agropecuária e ao crescimento urbano desordenado, fazendo com que essas áreas necessitem de uma intervenção no sentido de que haja um manejo adequado.

Essa, entretanto, é uma postulação difícil de acontecer, principalmente nas zonas urbanas que ocorrem na área de estudo, devido as construções, as vias e a especulação imobiliária.

Considerando que as áreas de Alta e Muito Alta Vulnerabilidade Ambiental somadas correspondem a 435.000 km<sup>2</sup> e a da zona de Reabilitação a 250 km<sup>2</sup>, observa-se que nem toda área mais susceptível precisa de mudança mais significativa, mas podem ser utilizadas com cuidados e com um manejo específico.

Nesse sentido, pode-se perceber que boa parte dos níveis de potencialidade e vulnerabilidade ambiental estão relacionadas com as zonas de Aproveitamento e

Melhoramento do Zoneamento Ambiental, que visam proporcionar uma melhoria da qualidade ambiental.

Observando os mapeamentos elaborados, é possível verificar que a maior parte das áreas de vulnerabilidade ambiental está relacionada com as áreas de Reabilitação, Aproveitamento e Melhoramento. Pode-se entender que se a área não precisar de grandes mudanças nas suas atividades, precisa otimizar o uso através de melhores alternativas para atingir os objetivos do fluxo funcional ou intercalar com outros usos funcionais.

Sendo as zonas de aproveitamento e melhoramento voltadas também para áreas de vulnerabilidade, elas compõem os níveis Intermediário, de Alta Potencialidade e de Muito Alta Potencialidade, que por terem possibilidades mais favoráveis de desenvolvimento sustentável, precisam de manejo e técnicas que permitam o uso funcional sem degradar o ambiente.

Nesse sentido, as zonas ambientais de Melhoramento e Aproveitamento somam juntas cerca de 705 mil km<sup>2</sup> da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, aproximadamente 59 % da bacia hidrográfica, com possibilidades de utilização da área para um desenvolvimento sustentável, mostrando que mais da metade da área de estudo é passível de ser utilizada com diversas atividades econômicas.

Por fim, as zonas de Preservação são áreas que visam manter o ambiente protegido de uma ocupação mais intensa que possa provocar danos ambientais. Essas áreas compõem boa parte das áreas de Alta Potencialidade que podem vir a ser áreas de reserva legal, APPs e áreas que resguardam uma funcionalidade ambiental na bacia hidrográfica.

A zona ambiental de Preservação compõe cerca de 20% de toda a área de estudo, demonstrando a necessidade de manter as áreas protegidas, gerando um equilíbrio ambiental na bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

Assim, entende-se que o mapeamento e a análise da potencialidade e vulnerabilidade ambiental, tanto como o zoneamento ambiental, foram importantes para compreensão da dinâmica e o auxílio ao planejamento e gerenciamento da área.

## 5. Considerações Finais

Estudos que possibilitem o entendimento da dinâmica socioambiental do meio são importantes para o estabelecimento de políticas públicas mais efetivas para o desenvolvimento sustentável, fornecendo informações para implantação de planos para o uso e ocupação da superfície terrestre. Desta forma, este trabalho pode servir de auxílio no planejamento do uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

Trabalhos científicos possibilitam a melhor utilização de informações voltadas a implantações de manejos mais sustentáveis, analisando e integrando diversos tipos de fatores para fornecimento cada vez maior de dados.

Ressalta-se a fundamental importância das ferramentas do geoprocessamento e sensoriamento remoto para a realização do trabalho, dando condições de coletar, processar e integrar dados ambientais e socioeconômicos, oferecendo suporte para análise das potencialidades e vulnerabilidades ambientais da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, além de possibilitar a elaboração de um zoneamento ambiental.

Com a utilização de novos dados no mercado como o Sentinel-2, foi possível ter uma resolução espacial melhor para a tomada de informações e elaborar alguns dos mapas temáticos, sendo um avanço para a área de forma geral, pois não há muitos trabalhos utilizando as imagens dessa constelação de satélites.

Atrelado a utilização das ferramentas do geoprocessamento está ao trabalho de campo que consistiu em verificar os dados obtidos com as técnicas utilizadas e abarcar mais informações para geração de mais indicadores para a potencialidade e vulnerabilidade da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

Destaca-se que os procedimentos metodológicos utilizados foram importantes para o desenvolvimento desta pesquisa, possibilitando elaborar um banco de dados geográficos com diversas informações sobre a área de estudo, que foram extraídas de vários órgãos e instituições, e também sendo elaborados pelo próprio autor.

Banco de dados geográfico que foi constituído de elementos hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, condições climáticas, pedológicos, vegetação, uso e ocupação do solo, capazes de compreender a dinâmica ambiental existentes na bacia hidrográfica do rio Canhoto, além de fornecer informações para realização do trabalho, gerando as potencialidades e vulnerabilidades ambientais.

Assim, foram obtidos resultados sobre as potencialidades e vulnerabilidades ambientais da bacia hidrográfica do Rio Canhoto, que mostram que a área apresenta

grande vulnerabilidade, se somadas as classes de alta e muito alta vulnerabilidade encontradas, cerca de 434,99 km<sup>2</sup>.

Entretanto, existem áreas de potencialidade bastante expressivas com 447,11 km<sup>2</sup>, representando 87,89 km<sup>2</sup> entre vulnerabilidade e potencialidade. Mas são números que demonstram ser possível desenvolver socioeconomicamente atividades sustentáveis, principalmente no campo, por ser uma localidade onde a agropecuária é bem mais atuante na economia da bacia hidrográfica do Rio Canhoto.

Diante disso tudo, a maior classe é o nível Intermediário que apresenta tanto características de potencialidade como de vulnerabilidade ambiental, cerca de 407 km<sup>2</sup>. Destacando a heterogeneidade do objeto de estudo, por ter diversos elementos físicos com características diferentes e atividades socioeconômica atuantes de forma desiguais, a ponto de ser um nível existente em toda a extensão da bacia hidrográfica.

Desta forma, é necessário um maior cuidado com as atividades antrópicas ali desenvolvidas, para que não haja um maior desgaste da ambiental da localidade, acarretando em degradação ambiental na bacia.

Por sua vez, a proposta de zoneamento ambiental elaborada foi um importante instrumento para identificar a necessidade de intervenção na área de estudo. Podendo perceber que em toda a extensão da bacia hidrográfica existem pontos que tem que ser preservados, aproveitados, melhorados e reabilitados.

Na bacia do canhoto existe um grande nível de potencialidade que se aproveitado de forma sustentável, pode melhorar o desenvolvimento socioeconômico da região, diminuindo gastos e degradações no solo, visto que as atividades agropecuárias são as que mais geram riquezas para a localidade.

Entretanto, a bacia hidrográfica do rio Canhoto sofre com extensões de áreas que necessitam de cuidados no manejo, de reabilitação e melhoramento. Normalmente são as áreas que tem o uso do solo mais intensivo da agropecuária e próximos a zona urbana. Localidades que não existe planejamento de atuação e nem desenvolvimento de políticas para preservação, conservação ou utilização sustentável daquelas áreas, resultando num futuro próximo, um nível de degradação que deixe o solo utilizável.

Desta forma, pôde-se constatar que a influência antrópica na bacia hidrográfica do Rio Canhoto é muito grande, com grandes áreas com vulnerabilidade ambiental. Em contrapartida, há muitas áreas com potencialidade que precisam ser bem geridas para que não ocorra degradação.

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa, observa-se a necessidade de políticas públicas que viabilizem a preservação e conservação dos recursos da área de estudo, previstos no Novo Código Florestal. Para assim, melhorar a utilização da área de estudo, com o intuito de desenvolver a área de forma sustentável trazendo um crescimento socioeconômico.

## Referências

AMADOR, M, B, M. **A visão sistêmica e sua contribuição ao estudo do espaço pecuário de Venturosa e Pedra no agreste de Pernambuco/** Maria Betânia Moreira Amador. – São Paulo: Blucher Acadêmico, 2008.

AMORIM, R, R. Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Caminhos de Geografia**. v. 13, n. 41, p. 80-101, 2012.

ARAÚJO, M, S. **Indicadores socioambientais e aplicabilidade no alto curso da bacia hidrográfica do rio Mundaú-PE**. 2013.

ARGENTO, M. S. F. Teoria Geral de Sistemas aplicada ao Meio ambiente. Rio de Janeiro: 2003.

BAPTISTA, G. M. M, **Diagnóstico Ambiental de Erosão Laminar: modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Universa, 2003.

BARRELLA, W. PETRERE JR, M., SMITH, W. S., & MONTAG, L. D. A. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico- Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília. SAE-Secretaria de Assuntos Estratégicos/ MMA - Ministério do Meio Ambiente. 1997.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. São Paulo: Editora Gráfica Cariú, Caderno de Ciências da terra, 1972.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004.

BORGES, J, M; JUNIOR PENAFORTE, M, A; AZEVEDO, D, S; BORGES FILHO, E, L. **Administração das propriedades com pecuária leiteira no município de Garanhuns**. IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, UFRPE, 2009.

BOTELHO, R. G. M.. **Planejamento Ambiental em microbacia hidrográfica**. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org). Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BOTELHO, R, G, M; SILVA, A, S. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil /** Antonio Carlos Vitte, Antônio José Teixeira Guerra (Organizadores). – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRASIL, Decreto Nº 4.297, de 10 de julho de 1992. Regulamenta o art. 9º, inciso ii, da lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o zoneamento ecológico econômico do Brasil ZEE, e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, DF. DISPONÍVEL EM: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4297.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm)> Acesso em: Maio de 2015.

BRASIL. Lei 9. 433 de 8 de janeiro de 1997. Institui A Política Nacional De Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o Inciso Xix Do Art. 21 da constituição federal, e altera o art. 1º da lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial Da União**, Brasília, Df (1997). Disponível Em: < [Http://Www.Planalto.Gov.Br/Ccivil\\_03/Leis/L9433.Htm](Http://Www.Planalto.Gov.Br/Ccivil_03/Leis/L9433.Htm)>. Acesso em: Maio de 2015.

BRASIL. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, df (1981). Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>

BRASIL. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste: Diagnóstico do Quadro Natural e Agrosocioeconômico**. V.2. EMBRAPA/CPATSA.Petrolina (PE), 1991.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Claredon Press, 193p. 1987.

CÂMARA G., CASANOVA, M., HEMERLY, A., MAGALHÃES, G., MEDEIROS, C. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas-SP. UNICAMP, 197p. 1996.

CÂMARA, G; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 04 mar de 2016.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: Junho de 2016.

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

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de bacias hidrográficas**. Geomorfologia. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

CLEMENTINO, M, L, M. **Ordenamento e planejamento territorial**: a falta que faz o plano metropolitano. X Coloquio Internacional de Geocrítica. Barcelona, 26 - 30 de mayo de 2008.

CONCAR. **Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. 2010. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br>. Acesso em: 22/08/2010.

CORRÊA, A. et al. Megamorfologia e morfoestrutura do Planalto de Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, n. 1-2, p. 35-52, 2010.

CREPANI, E. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. **INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. São José dos Campos, p 124, 2001.

CRONEMBERGER, Felipe Mendes et al. Mapeamento Bioclimático do Estado do Rio de Janeiro.

CUNHA, J.A. **A gestão municipal através de tecnologia de geoprocessamento e cadastro urbano: Gerenciamento de dados físicos e sócio-econômicos do município de Serra Negra do Norte-RN**. Dissertação de Mestrado - PPGEO, UFRN, 101p. 2001.

DISTRITO FEDERAL. Zoneamento Ecológico-Econômico do DF Subproduto 3.5 - Relatório de Potencialidades e Vulnerabilidades. 2012.

FERREIRA, Antonio Geraldo; DA SILVA MELLO, Namir Giovanni. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FERREIRA, C, C; PIROLI, E, L. Zoneamento ambiental as paisagens: estudo de caso do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Sucuriú, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 341-357, 2016.

FIGUERÊDO, M, C, B; TEIXERA, A, S; ARAÚJO, L, F, P; ROSA, M ,F; PAULINO, W, D; MOTA, S; ARAÚJO, J, C. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental de Reservatórios à eutrofização**. Eng. sanit. Ambiente. Vol.12 - Nº 4 - out/dez 2007.

FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2007, p.2643-2650.

GOMES, D, D, M. **Geoprocessamento aplicado a análise da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio Jaibaras – Ceará**. Daniel Dantas Moreira Gomes. Fortaleza, 2011.

GOMES, D, D, M. **Geoprocessamento aplicado à análise e zoneamento dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do Rio Mundaú / Daniel Dantas Moreira Gomes**. – 2015.

GOMES, D, D, M; MEDEIROS, C, N; ALBUQUERQUE, E, L , S; DUARTE, C, R; VERÍSSIMO, C, U, V. Geotecnologias aplicadas ao diagnóstico geoambiental da bacia hidrográfica do rio jaibaras no semiárido cearense. **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº65/1, 2013.

GRIGIO, A. M. **Aplicação do sensoriamento remoto e SIG na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré-RN: Simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. Dissertação de Mestrado. PPGG. UFRN, 232p. 2003.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. Dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2006.

IBGE, **Manual técnico de geomorfologia / IBGE**, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009.

\_\_\_\_\_, **Censo 2010 e Religião/IBGE**, v. 10, n. 28, p. 1122-1129, 2010.

\_\_\_\_\_, **Manual técnico da vegetação brasileira** / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. Ed. – Rio de Janeiro. : IBGE, 2012.

\_\_\_\_\_, **Manual técnico de uso da terra** / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 3.ed. – Rio de Janeiro. : IBGE, 2012.

\_\_\_\_\_, **Manual técnico de uso da terra**, IBGE, Rio de Janeiro, 3º Edição, 2013.

KARNAUKHOVA, E. **A intensidade de transformação antrópica da paisagem como um indicador para a análise e a gestão ambiental**: ensaio metodológico na área da bacia hidrográfica do Rio Fiorita, Município de Siderópolis, SC). 2000.

KUHNEN, A. **Meio Ambiente e vulnerabilidade**: A percepção ambiental de risco e o comportamento humano. Geografia (Londrina) v. 18, n. 2, 2009.

LANDAU, E, C; GUIMARÃES, D, P. **Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA**. In Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4010.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares**: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p.33-43, 2000.

LIMA, E. M. **Evolução Paleoambiental do Município de Garanhuns-PE, a partir de Análises Sedimentológicas: Aplicação do Método de Luminescência Ópticamente Estimulada – LOE**. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Dissertação de Mestrado, 105f, 2014.

LOCH, R.E.M. **Algumas considerações sobre base cartográfica**. In: 1º COBRAC. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais, Florianópolis, p. 23. 1994.

LOPES, J, L, S; CESTARO, L, A; KELTING, F, M ,S. Zoneamento ambiental como instrumento de uso e ocupação do solo do município de Aquiraz-CE. **Boletim Goiano de Geografia. Goiânia**, v. 32, n. 1, p. 93-104, jan./jun. 2012.

MARANDOLA JR., E. Tangenciando a vulnerabilidade. In: HOGAN, D.; MARANDOLA JR., E. (Org.). **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais**. Campinas: Nepo.Unicamp, 2009.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. As dimensões da vulnerabilidade. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 1, 2006.

MILARÉ, E. **Direito do Ambiente**. São Paulo: Revista dos Tribunais. 2000.

MONTEIRO, C,A,F. **Geossistemas: a história de uma procura**. Ed. Contexto (Novas Abordagens - GeoUSP, 3), São Paulo, 127 p. 2001.

MOTA, S. **Planejamento Urbano e Preservação Ambiental**. Fortaleza, Edições UFC. p.241, 1981.

NASCIMENTO, F, R; SAMPAIO, J, L, F. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 6, n. 1, 2004.

NASCIMENTO, W, M; VILLAÇA, M, G. Bacias hidrográficas: planejamento e gerenciamento. In: **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas – MS – Nº 7 – ano 5**, Maio de 2008.

NASCIMENTO, F, R. **Categorização de Usos Múltiplos dos Recursos Hídricos e Problemas Ambientais**. Revista da ANPEGE, v. 7, n. 1, p. 81-97, out. 2011.

NASCIMENTO, F, I, C; SANTOS, W, L; LIRA, E, M; ARCOS, F, O. Caracterização Morfométrica como Base para o Manejo da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Acre. In: **Revista Brasileira de Geografia Física V.06, N.02 (2013) 170-183**.

NORONHA, E, A, P. **Análise das potencialidades e vulnerabilidades socioambientais decorrentes do processo de expansão da industrialização no município de Vitória de Santo Antão-PE**. / Eugênio Augusto Pessoa de Noronha, Recife – 2013.

NOVO, E. M. **Sensoriamento Remoto e Aplicações**. 2ª Edição Revisada. São Paulo, Ed. Edgard Blücher. 1992.

OJIMA, R. **A vulnerabilidade socioambiental como conceito interdisciplinar: avanços e potencialidades para pensar mudanças ambientais**. R. Pós-Grad. Ci. Soc. UFRN, Natal, v.13, n. 1, p. 110-120, jan./jun. 2012.

OLIVEIRA, S.M., SOUZA, R.P., DAVIS JR, C.A., AMARAL, F.M.P. **Adequação da delimitação dos setores censitários a outras unidades espaciais urbanas.** Anais do I Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações do IBGE. Rio de Janeiro. 1996.

PENAFORTE, M, A; BORGES, J, M; AZEVEDO, D, S; BORGES FILHO, E, L. Perfil dos produtores de leite do município de Garanhuns. **Eventos UFRPE**, resumos, 2009.

PRIEGO, A; BOCCO, G; MENDOZA, M; GÁRRIDO, A. **Propuesta para la generación semiautomatizada para unidades de paisaje.** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.

RODRIGUES, M. **Metodologias para integração espacial de informações urbanas: perspectivas de utilização.** São Paulo. Ed. IPT. 1981.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das paisagens: uma análise ambiental.** Fortaleza: Ed. UFC, 2010.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto/** Roberto Rosa. – 7 ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

ROSENDO, J. dos S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari-MG-utilizando dados do sensor Modis.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

ROSOLÉM, N, P; ARCHELA, R, S. **Geossistema, Território e Paisagem como método de análise na Geografia.** I Identidade epistemológica e desafios da Geografia Física no início do século XXI, Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

ROSS, J, L, S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** 2ªed. SP: Contexto 1991.

ROSS, J, L , S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 2011.

SALES, V, C. Geografia, sistemas e análise ambiental: abordagem crítica. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 16, p. 125-141, 2004.

SANTOS, A, P; MEDEIROS, N, G; SANTOS, G, R; RODRIGUES, D, D. Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica em Modelos Digitais de Superfície com o Uso de Feições Lineares. Boletim Ciências Geodésicas, sec. Artigos, Curitiba, v. 22, no1, p.157 - 174, jan-mar, 2016.

SANTOS, D, J; RUCHKYS, U; GOMES, M. **Avaliação multicritério da vulnerabilidade ambiental e natural na identificação de áreas prioritárias para conservação do patrimônio espeleológico.** Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas, 7(1/2), 2014.

SANTOS, K, A. **Modelagem do acompanhamento e controle de cheias em bacias hidrográficas de grande variação de altitude:** estudo de caso, bacia do Rio Mundaú /Keyla Almeida dos Santos - Recife: O Autor, 2013.

SCARLATO, F.C.; PONTIN, J.A. **O Ambiente Urbano.** Editora Atual, São Paulo-SP, 79p. 1999.

SCHIAVETTI, A; CAMARGO A, F, M; **Conceitos de bacias hidrográficas:** teorias e aplicações / Editores Alexandre Schiavetti, Antonio F. M. Camargo. - Ilhéus, Ba: ditus, 2006.

SHIRATSUCHI, L, S; BRANDÃO, Z. N., VICENTE, L. E., VICTORIA, D. D. C., DUCATI, J. R., DE OLIVEIRA, R. P., & VILELA, M. D. F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. BERNARDI, ACC; NAIME, JM; RESENDE, AV; BASSOI, LH, p. 58-73, 2014.

SILVA, J, S, V; CARVALHO, J, S, P; SANTOS, R, F; FELGUEIRAS, C, A. Zoneamentos ambientais: quando uma unidade territorial pode ser considerada homogênea? Revista Brasileira de Cartografia. n. 59/1, p. 83-92, 2007.

SILVA, A, M da et al. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de Latossolos no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, 2008.

SILVA, D, F. et al. Análise da Precipitação na Bacia do Rio Mundaú Usando IAC. **UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 7, n. 1, 2015.

SOARES, G. F. S. **Direito internacional do meio ambiente**: emergência, obrigações e responsabilidades. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

SOUZA, M.J.N. **Contribuição ao estudo das unidades morfoestruturais do Estado do Ceará**. Revista de Geologia, v. 1, DEGEO/UFC, p. 73-91. 1988.

SOUZA, M.J.N. **Geomorfologia e condições ambientais dos vales do Acaraú-coreaú (CE)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Ed. do Autor, São Paulo. 1981.

SOUZA, M.J.N.; BRANDÃO, R. L.; CAVALCANTE, I. N. **Impactos ambientais em zonas costeiras: Principais problemas relacionados ao meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza**. Anais do I Simpósio Sobre Processos Sedimentares Ambientais na Zona Costeira do Nordeste do Brasil. Recife-PE. 1995.

SOUZA, M.J.N. **Questões metodológicas da Geografia Física**. Fortaleza, Mestrado Acadêmico em Geografia – UECE, 2000.

SOUZA, ER de; FERNANDES, M, R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, 2000.

STRAHLER, A, N. **Dynamic basis of geomorphology**. Geo, soc, América Bulletin, nº 63, p. 923-938, 1952.

TAGLIANI, C. R. A. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informação**. Galeria de artigos acadêmicos. Disponível em [www.fatorgis.com.br](http://www.fatorgis.com.br). Acessado em 05/09/2011. 8p. 2002.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate**. Geogr. Rev, v.38. 1948. p.55-94.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, 91p. 1977.

TROPPEMAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente**. Helmut Troppmair. 8º Ed – Rio Claro: Divisa, 2008.

TUCCI, C, E, M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3º Ed, Porto Alegre: ABRH, 2004.

TUTTI, C, E, M; MENDES, C, A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica** / Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, 2006.

VALERIANO, M, M. Modelo Digital de Elevação com SRTM disponíveis para América do Sul. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2004.

VILELA, S, M; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. 1 Ed. São Paulo: McGraw do Brasil, 1975. 245 p.

VILELA FILHO, L. R. (2002). Estimativa da perda de solos em uma bacia hidrográfica sob o cultivo de frutíferas, no município de Valinhos (SP). 2002. 153 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia)** – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.