

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA.

**PHILLIPE VALENTE CARDOSO**

ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO TAPEROÁ, UMA  
CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA ATRAVÉS DA ABORDAGEM  
GEOSISTÊMICA EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS.

RIO DE JANEIRO

2019

**PHILLIPE VALENTE CARDOSO**

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO TAPEROÁ, UMA  
CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA ATRAVÉS DA ABORDAGEM  
GEOSSISTÊMICA EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação  
em Geografia da Universidade Federal do Rio de  
Janeiro para obtenção do título de Doutor em  
Geografia

Orientadora: Carla Bernadete Madureira Cruz

Coorientador: Vinícius da Silva Seabra

RIO DE JANEIRO

2019

## CIP - Catalogação na Publicação

C268z      Cardoso, Phillipe Valente  
             ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA DO RIO TAPEROÁ,  
             UMA CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA ATRAVÉS DA ABORDAGEM  
             GEOSISTÊMICA EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS. / Phillipe  
             Valente Cardoso. -- Rio de Janeiro, 2019.  
             162 f.

             Orientadora: Carla Bernadete Madureira Cruz.  
             Coorientadora: Vinicius da Silva Seabra.  
             Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio  
             de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de  
             Pós-Graduação em Geografia, 2019.

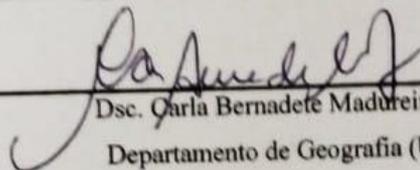
             1. Classificação da paisagem. 2. Semiárido  
             nordestino. 3. Sensoriamento Remoto. 4. GEOBIA. 5.  
             Bacia do rio Taperoá - PB. I. Cruz, Carla Bernadete  
             Madureira, orient. II. Seabra, Vinicius da Silva,  
             coorient. III. Título.

Phillipe Valente Cardoso

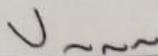
**Zonamento ambiental da Bacia do Rio Taperoá, Uma contribuição metodológica através da abordagem geossistêmica em ambientes semiáridos.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

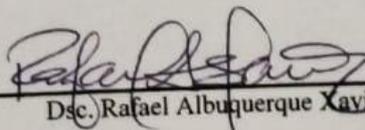
Aprovada em: 20 DE DEZEMBRO DE 2019



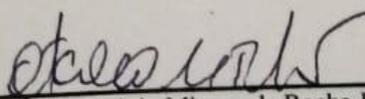
Dsc. Carla Bernadete Madureira Cruz  
Departamento de Geografia (UFRJ)



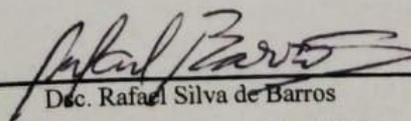
Dsc. Vinicius da Silva Seabra  
Departamento de Geografia (UERJ/FFP)



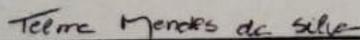
Dsc. Rafael Albuquerque Xavier  
Departamento de Geografia (UEPB)



Dsc. Otávio Miguez da Rocha-Leão  
Departamento de Geografia (UERJ/FFP)



Dsc. Rafael Silva de Barros  
Departamento de Geografia (UFRJ)



Dsc. Telma Mendes da Silva  
Departamento de Geografia (UFRJ)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, pai, mãe e irmã que sempre me apoiaram, fornecendo todos os insumos materiais e não materiais necessários para que eu pudesse superar minhas dificuldades e ir em busca dos meus sonhos. Agradecer também minha avó Carmem, meu tio Ronaldo e tia Tita que apesar de não estarem mais presenciando minhas conquistas, sempre acreditaram em mim, mesmo não sabendo muito o que eu faço. Gostaria também de agradecer minha namorada Andressa, que aturou meus momentos de estresse, me dando forças para não desistir e chamando minha atenção quando precisei.

Agradeço também aos meus orientadores Carla e Vinicius, que não estiveram só presentes nesse momento, mas sim em toda a minha trajetória acadêmica desde a iniciação científica. E a todo laboratório ESPAÇO da UFRJ em que pude conhecer ótimas pessoas, Rafinha, Rafão, Nilton, Stella, Monika e tantos outros que também participaram de minha formação.

Também agradeço a minha turma de faculdade que sempre proporcionaram além do aprendizado, boas risadas e um descanso da cansativa rotina acadêmica. E agradeço ao DAGEOP da UERJ-FFP e meus alunos em especial a Beatriz e Caio que diante da minha correria, nunca hesitarão em me ajudar. Agradeço a banca pela disponibilidade de estar me ajudando a melhorar minha pesquisa e ao Rafael e Patrícia por todo apoio logístico e metodológico sem o qual esse trabalho não seria concluído. E por fim agradeço as pessoas que fizeram parte da minha vida, sempre contribuindo para minha formação intelectual e como pessoa mesmo que de forma passageira.

“É sobre escalar e sentir que o caminho  
te fortaleceu”

Ana Carolina Vilela Da Costa

## RESUMO

A região do semiárido brasileiro apresenta grande fragilidade natural, que associada a fatores como práticas agrícolas inadequadas, queimadas e desmatamento, potencializa o avançado processo de erosão e assoreamento de rios e açudes. A presente pesquisa aborda uma perspectiva moderna de gestão do território, onde toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente. Assim, busca-se a utilização do conceito de geossistemas na análise da paisagem, permitindo a interpretação do espaço geográfico em seu todo complexo sistêmico e, além disso, possibilitando o entendimento de suas funções, inter-relações, distribuições, formações, estruturas e funcionamentos. Desse modo, o uso de técnicas de geoprocessamento em projetos ambientais é uma realidade presente, especialmente no processo de integração de dados, além da combinação de ferramentas de análise espacial, processamento de imagens e modelagem numérica de terreno. Nesse sentido, o objetivo da tese é contribuir metodologicamente através da elaboração de uma matriz geocológica para o zoneamento ambiental aplicado através da análise geossistêmica como subsídio a geração de conhecimento e estratégias direcionadas para a mitigação de processos erosivos, preservação da geodiversidade e biodiversidade na bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB. Os procedimentos desenvolvidos para alcançar o objetivo deste estudo foram estruturados em construção do uso e cobertura da terra através do GEOBIA, construção da matriz geocológica, desde a escolha das variáveis até a elaboração de classes, elaboração do mapa do estado ambiental da bacia hidrográfica do rio Tapeoá através de técnicas de geoprocessamento. Como resultado tem-se o mapa de uso do solo da bacia apresentando o estado de conservação da caatinga, com 58,89% composta por caatinga densa, 27,44% caatinga média-densa e 8,36% caatinga rarefeita. E por fim, o mapa demonstrando o estado de conservação e áreas que devem ser recuperadas na bacia apresentando 45,26 % e 20,79% respectivamente.

## ABSTRACT

The Brazilian semiarid region presents great natural fragility, which affects factors such as improper burned and deforested agricultural practices, enhancing the advanced erosion and silting process of rivers and reservoirs. This research addresses a modern perspective of territory management, where every action of space planning, ordering or monitoring must include an analysis of the different components of the environment. Thus, try to use the concept of geosystems in landscape analysis, allow the interpretation of geographic space in its entire systemic system and, furthermore, enable the understanding of its functions, interrelations, distributions, formations, structures and functions. Thus, the use of geoprocessing techniques in projects is a present reality, especially in the data integration process, in addition to the combination of spatial analysis, image processing and numerical terrain modeling tools. Contribute methodologically through the elaboration of a geoecological matrix for environmental zoning applied through geosystemic analysis as a subsidy to the generation of knowledge and strategies directed to mitigation of erosive processes, conservation of geodiversity and biodiversity in the Taperoá river basin - PB. The procedures implemented to achieve or the objective of this study were structured as: construction and land cover through GEOBIA, construction of geoecological matrix from a choice of variables to class preparation, environmental map of the Tapeoá river basin through geoprocessing techniques. As a result, there is the individual use map of the basin shown or the state of conservation of the caatinga, with 58.89% composed by dense caatinga, 27.44% medium-dense caatinga and 8.36% rarefied caatinga. And finally the map showing the state of conservation and areas that should be recovered in the basin presents 45.26% and 20.79%, respectively.

## **LISTA DE SIGLAS**

AESA/PB - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

APA – Área de Proteção Ambiental

Ac - Açudes

Ag - Agropasto

Al - Algaroba

BDG- Banco de Dados Geográficos

BHRT - Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá

CD – Caatinga Densa

CMD – Caatinga Média-Densa

CR – Caatinga Rarefeita

Ec – Extração de Caulin

FPB – Formação Plutão Bravo

GEOBIA – Classificação Baseada em Objeto

Iu – Infraestrutura Urbana

PDI – Processamento Digital de Imagem

SGNS – Sistemas Globais de Navegação por Satélite

SIG - Sistema de Informações Geográficas

UEPB – Universidade Estadual da Paraíba

MDE – Modelo Digital de Elevação

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comprometimento do equilíbrio do sistema (SEABRA, 2012) .....	30
Figura 2: Capacidade de adaptação e resistência de um sistema. (SEABRA, 2012) .....	31
Figura 3: Sistema Resiliente a pressão com alta e baixa capacidade de recuperação (SEABRA, 2012) .....	32
Figura 4: Sistema resiliente, porém com necessidade de intervenção para sua recuperação. (SEABRA, 2012) .....	32
Figura 5: Bacia Hidrográfica do rio Taperoá.....	48
Figura 6: Pluviometria Média do estado da Paraíba (Fonte: AESA) .....	52
Figura 7: Nível dos reservatórios no estado da Paraíba. (Fonte: AESA).....	53
Figura 8: Boulders no Lajedo Pai Mateus. 28/09/2018.....	54
Figura 9: Mapa de Localização da APA Cariri .....	56
Figura 10: Mapa de localização do Geoparque do Cariri .....	57
Figura 11: Vegetação de margem no rio Taperoá.....	59
Figura 12: NDVI da vegetação de caatinga no decorrer de 2015.....	60
Figura 13: Mosaico das imagens Sentinel 2, período seco. 20/11/2017 até 28/12/2017 .....	64
Figura 14: Imagens Sentinel 2, período úmido. 21/04/2008 até 27/03/2018 .....	64
Figura 15: Imagem Termal da bacia já processada. Tirs1 Banda 10. ....	65
Figura 16: Fluxograma de Atividades .....	66
Figura 17: Presença de Caatinga Densa em áreas planas na BHRT. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018 .....	68
Figura 18: Presença de Caatinga Densa na BHRT em áreas de relevo. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018 .....	68
Figura 19: Caatinga Densa na Imagem Sentinel 2 em áreas de relevo. 28/09/2018 .....	69
Figura 20: Área de Caatinga Média- Densa na BHRT. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018.....	70
Figura 21: Caatinga Rarefeita. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018.....	71
Figura 22: Algaroba com Pequenos Cultivos ao Logo do rio Taperoá. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018 .....	72
Figura 23: Extração de Caulin com Caatinga Densa no Entrono. (Fonte: Arquivo Pessoal).....	73
Figura 24: Área de extração de caulin na imagem Sentinel 2. 28/09/2018.....	73
Figura 25: Formação plutão bravo na imagem Sentinel 2. 28/09/2018 .....	74
Figura 26: Representação da Infraestrutura Urbana na imagem Sentinel 2. 28/09/2018 .....	74
Figura 27: Área com a presença de açudes na BHRT. ....	75
Figura 28:: Divisão das etapas de classificação na árvore de processos do econition.....	76
Figura 29: Resultado da segmentação chessboard com delimitação dos rios.....	77
Figura 30: Parâmetro do processo de segmentação dos açudes.....	78
Figura 31: Açudes em vermelho na BHRT. ....	78
Figura 32: Classificação das áreas de mineração e formação plutão bravo. ....	79
Figura 33: Descritores utilizados na classificação da classe algaroba com pequenos cultivos. ....	81
Figura 34: TGSÍ para a caatinga degradada. ....	82
Figura 35: Pontos para Validação no Google Earth.....	84
Figura 36: Mapa de cobertura e uso da bacia hidrográfica do rio Taperoá.....	89
Figura 37: Gráfico de abrangência de classe em porcentagem na BHRT.....	90
Figura 38: Mapa de cobertura e uso do solo na APA do Cariri .....	95
Figura 39: Cobertura e uso do solo no projeto Geoparque Cariri Paraibano na BHRT .....	96
Figura 40: Planilha eletrônica “BHnorm61” (ROLIM et al.,1998).....	100
Figura 41: Distribuição das estações pluviométricas escolhidas para o cálculo do IA.....	101

Figura 42: Fluxograma do cálculo do índice de aridez. ....	103
Figura 43: Interpolação do índice de aridez. ....	104
Figura 44: Classificação Qualitativa do Índice de Aridez. ....	105
Figura 45: Mapa de erosividade da BHRT. ....	107
Figura 46: Mapa Geológico da BHRT. ....	108
Figura 47: Mapa Geomorfológico da BHRT (Xavier et al, 2014). ....	109
Figura 48: Generalização do mapeamento geomorfológico para a matriz geoecológica. ....	110
Figura 49: Fluxograma de montagem da matriz geoecológica. ....	111
Figura 50: Fluxograma de processamento da matriz geoecológica. ....	113
Figura 51: Delimitação do 1/3 do topo de morro. ....	120
Figura 52: Apps em topo de morro ....	121
Figura 53: Área de APP de topo de morro com extração de caulim. ....	122
Figura 54: SEQ Figura \* ARABIC 54: APPs da BHRT. ....	127
Figura 55: Zoneamento ambiental da BHRT na escala 1:100.000. ....	129
Figura 56: Área de recuperação (R) próxima a formação plutão bravo. ....	130
Figura 57: Extração de bentonita próxima a formação plutão bravo. ....	131
Figura 58: Mapa região Norte da bacia. ....	132
Figura 59: Mapa região Centro-Oeste. ....	132
Figura 60: Mapa região Sudeste. ....	133
Figura 61: Distribuição por classe no Geoparque Cariri. ....	134

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aspectos da paisagem segundo Frohn (1998), Turner et al. (2001) e Rodriguez et al. (2007) apud Seabra (2012).....	41
Tabela 2: Área de abrangência dos municípios componentes da bacia do rio Taperoá.....	49
Tabela 3: Bandas das imagens do satélite SENTINEL 2B. ....	62
Tabela 4: Índices espectrais gerados.....	66
Tabela 5: Pontos aleatórios por classe de mapeamento. ....	83
Tabela 6: Classificação qualitativa do índice Kappa (Fonte: Fonseca, 2000) .....	84
Tabela 7: Áreas por classe na BHRT. ....	90
Tabela 8: Porcentagem das classes na APA do Cariri.....	94
Tabela 9: Cobertura e uso do solo no Geoparque Cariri Paraibano para a BHRT.....	96
Tabela 10: Média de temperaturas em 30 anos da estação São João do Cariri.: ....	102
Tabela 11: Classificação da UNEP.....	103
Tabela 12: espectro de valores do Índice de Aridez .....	104
Tabela 13: Classes de erosividade propostas por Maciel (2014) para BHRT e da Matriz Geocológica.....	106
Tabela 14: Classes Geológicas na BHRT quanto suas áreas de abrangência.: ....	108
Tabela 15: Classes de uso do solo nas APPs de encostas.....	119
Tabela 16: Classes de uso do solo nas APPs em topo de morro. ....	122
Tabela 17: Classes de uso do solo nas APPs em olhos d'água. ....	124
Tabela 18: Classes de uso do solo nas APPs em nascentes.....	125
Tabela 19: Classes de uso do solo nas APPs em rios.....	126
Tabela 20: Quantitativo por classe do zoneamento ambiental. ....	130

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Matriz de confusão com todas as classes do mapeamento	87
Quadro 2: Matriz de confusão com as classes de vegetação.	88
Quadro 3: Classe por Município	92
Quadro 4: Tabela da matriz geoecológica de IA moderado.	115
Quadro 5: Tabela da matriz geoecológica de IA alto.	116
Quadro 6: Matriz geoecológica de IA Muito Alto.	117
Quadro 7: Distribuição das classes de zoneamento por município.	134

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b>	14
<b>2. Objetivo</b>	19
<b>Objetivo Específicos</b>	19
<b>3. Referencial Teórico</b>	20
<b>3.1. O Conceito de Paisagem dentro de uma abordagem geocológica</b>	20
<b>3.2. Geossistemas</b>	24
<b>3.3. Geotecnologias no estudo da paisagem</b>	33
<b>3.4. Conservacionismo e Protecionismo</b>	37
<b>4. Área de Estudo</b>	46
<b>4.1. Bacia do rio Taperoá</b>	46
<b>5.1.1 – Materiais e Pré-processamento</b>	61
<b>5.1.2. Classes de mapeamento</b>	67
<b>5.1.3. Classificação</b>	75
<b>5.2. Conclusão</b>	97
<b>6. Contribuições para o Zoneamento Ambiental da Bacia do Taperoá</b>	98
<b>6.1 Variáveis da Matriz Geocológica</b>	99
<b>6.1.1 Índice de Aridez</b>	99
<b>6.1.2 Erosividade</b>	105
<b>6.1.3 Mapa Geológico da BHRT</b>	107
<b>6.1.4 Mapa Geomorfológico</b>	109
<b>6.2 Construção da Matriz Geocológica</b>	110
<b>6.3 Cruzamento da Matriz Geocológica</b>	113
<b>6.4 Delimitação das Áreas de Preservação Permanentes</b>	118
<b>6.4.1 APP de Encosta</b>	118
<b>6.4.2 APP de Topo de Morro</b>	119
<b>6.4.3 APPs em olhos d'água</b>	123
<b>6.4.4 APP em nascentes</b>	124
<b>6.4.5 APP em rios</b>	125
<b>6.5 Mapa da Matriz Geocológica</b>	127
<b>6.6 Conclusões</b>	137
<b>7. Considerações Finais</b>	139
<b>8. Referências Bibliográficas</b>	143
<b>ANEXOS</b>	150

## 1. Introdução

O uso sem planejamento dos recursos naturais e, conseqüentemente, as alterações sistêmicas nas paisagens tem intensificado as discussões relacionadas à sociedade e natureza. Essas atuam principalmente em questões estratégicas de organização do espaço geográfico em busca de soluções para mitigar os impactos gerados por seu uso. Apesar dessa necessidade, as políticas públicas atuais no território brasileiro tendem a ser fragmentadas, apresentando como consequência soluções pontuais, muitas vezes não definitivas do ponto de vista geossistêmico, e com isso, deixando a margem do problema variáveis fundamentais para o entendimento e gestão do território.

Nesse contexto, os zoneamentos buscam atuar de forma planejada, integrando elementos e delimitando zonas para a manutenção de regiões segundo um determinado objetivo. Sendo assim, o zoneamento ambiental, por apresentar uma visão integrada, principalmente relacionada ao uso do solo, proporciona uma delimitação de áreas estratégicas para o desenvolvimento de atividades econômicas, a fim de atenuar impactos e determinar áreas fundamentais para a preservação e recuperação ambiental. Essa visão integrativa dos recursos naturais possibilita a sua gestão no território, inclusive as que tem relação com a ocupação humana (ALMEIDA, 2012).

Nesse sentido, o zoneamento ambiental aparece como um aspecto determinante na articulação de um modelo de gestão do território com os usos dos recursos naturais e ecológicos. Gerando uma gestão integrada do território, respeitando uma hierarquia de escalas espaciais e temporais, a estrutura e dinâmica do sistema ambiental, bem como uma análise sistêmica da relação entre os componentes do sistema ambiental. Ou seja, o zoneamento ambiental parte de uma análise integrada entre recursos naturais, questões socioeconômicas e jurídico-institucionais, reconhecendo seus principais aspectos a fim de proporcionar uma base para entender o ambiente. Se converte, portanto, em um recurso político e técnico para o planejamento, visando potencializar o uso do espaço e as políticas públicas.

Desse modo, Gandra (2008), explica que:

O zoneamento ambiental pode ser considerado como a definição de setores ou zonas com objetivos de manejo e normas específicas, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que o desenvolvimento e atividades econômicas de uma região possam existir de forma eficaz e em harmonia com a conservação da natureza e dos recursos naturais. O processo de zoneamento pode ser definido como a fragmentação controlada

e ordenada de um território, segundo critérios discriminados. (GANDRA, 2008, p. 16)

Portanto, segundo Montañó et al. (2005), esse tipo de zoneamento irá servir como um instrumento de auxílio na elaboração de políticas e táticas de desenvolvimento, permitindo a visualização de áreas suscetíveis a processos naturais e áreas com maior ou menor aptidão para inserção de atividades específicas, propiciando uma relação sistêmica entre as zonas.

Seguindo esse raciocínio, Frohn (1998) defende uma perspectiva que integra os estudos geocológicos e as geotecnologias, apontando também que os indicadores da paisagem são empregados para gerar dados quantitativos de padrões espaciais, relativos às áreas, observados em um mapa ou imagem de sensoriamento remoto. Ou seja, para uma proposta de zoneamento ambiental a espacialização de variáveis geossistêmicas é um fator fundamental para a delimitação de zonas, além de auxiliar na qualificação delas.

Assim, o uso de técnicas de geoprocessamento em projetos ambientais é uma realidade presente, especialmente no processo de integração de dados, além da combinação de ferramentas de análise espacial, processamento de imagens e modelagem numérica de terreno (MEDEIROS e CÂMARA, 1998). Seguindo esse pensamento, Fernandes (2009) considera ainda a utilização da geocologia com suporte do geoprocessamento como uma alternativa metodológica para o desenvolvimento de estudos que buscam o entendimento da estrutura, da função e da dinâmica dos elementos da paisagem.

Outro aspecto da utilização das geotecnologias é o potencial dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) na produção de novas informações a partir de um banco de dados geográficos. Tal capacidade, segundo Medeiros e Câmara (1998), é fundamental para aplicações como estudos de ordenamento territorial e estudos ambientais, em que a informação final é interpretada e compilada a partir dos levantamentos básicos realizados.

Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo contribuir metodologicamente para a realização de um zoneamento ambiental dentro de uma perspectiva geossistêmica aplicado à bacia hidrográfica do rio Taperoá, localizada na parte central do estado da Paraíba, na região semiárida do Nordeste do Brasil. A bacia possui uma área aproximada de 5.700 km<sup>2</sup> e abrange sete microrregiões (Serra do Teixeira, Cariri Ocidental, Cariri Oriental, Campina Grande, Curimataú Ocidental, Seridó Oriental Paraibano e Seridó Ocidental Paraibano), distribuídas em três mesorregiões (Sertão, Borborema e Agreste). Inserida nessas regiões, situa-se uma área que está entre as mais secas do Brasil, regionalmente conhecida como Cariri Paraibano, apresentando pluviosidade anual entre 400 e 600 milímetros. Sob o ponto de vista geomorfológico, a bacia hidrográfica do rio Taperoá está inserida totalmente no Planalto da

Borborema e apresenta grande importância geomorfológica regional, pois reúne em seu conjunto vários níveis altimétricos descritos na literatura como remanescentes de antigas superfícies de erosão. (XAVIER *et al.*, 2013). Além disso, na bacia hidrográfica está presente o Açude Epitácio Pessoa, conhecido como Boqueirão, responsável pelo abastecimento de toda região metropolitana de Campina Grande.

A região do semiárido nordestino brasileiro abrange vários estados do país, com destaque para o estado da Paraíba, que tem aproximadamente 86,5% do seu território inserido nessa realidade. A fragilidade natural dessa região, ressaltada por Alves *et al.* (2009), está associada a práticas agrícolas inadequadas, queimadas e desmatamento. Esses são os principais fatores que têm contribuído para o avançado processo de erosão e do assoreamento de rios e açudes.

O clima, a litologia, a forte ação antrópica e as mudanças na cobertura do solo, fazem com que o semiárido brasileiro apresente uma elevada vulnerabilidade à erosão hídrica, levando a excessivas perdas de nutrientes, matéria orgânica e ao assoreamento acelerado dos reservatórios. Diante desse contexto, Souza *et al.* (2004) alertam para os riscos da desertificação na região, principalmente por ser um ambiente ecologicamente instável, situação acentuada pelos limites restritivos dos atributos dos solos e pela agressividade climática.

A temática em torno da erosão tem sido intensivamente estudada segundo várias perspectivas, produzindo conhecimento técnico-científico em áreas como a Hidrologia, Geomorfologia, Geografia, Geologia, Pedologia, Agronomia (SILVA *et al.*, 2003). Essa diversidade de áreas científicas reflete nas inter-relações existentes entre clima, temperatura, relevo, manejo do solo e suas influências no processo de erosão, cujas consequências trazem sérios danos ao desenvolvimento regional.

Nesse contexto, Xavier (2016) destaca a importância do estudo do regime de chuvas e, conseqüentemente, do clima no contexto do semiárido nordestino, trazendo como objetivo a manutenção hidroecológica na região. A entrada de água no sistema semiárido nordestino, associada ao regime de chuvas, é foco de diversas discussões ao longo do tempo. Sendo assim, Tubelis e Nascimento (1980) a colocam como condicionante principal para a determinação do clima na região, que é caracterizado por uma má distribuição espaço-temporal das chuvas. Segundo Nimer (1979) essas características são conseqüências de sistemas atmosféricos variáveis. Desta forma, pode-se afirmar que as chuvas são mais um

condicionante para a manutenção de rios e açudes na região sendo, portanto, um dos principais fatores à vida na região.

Ainda nesse raciocínio, Guerra (1998) aponta a erosividade da chuva, as propriedades físicas do solo, a cobertura vegetal e as características das encostas, como sendo fatores relevantes e controladores da variação das taxas de erosão dos solos. Esses fatores são ainda responsáveis pela variação espaço-temporal da erosão, afetando o escoamento superficial e apresentando características distintas em diferentes regiões.

A questão da erosão se constitui num sério problema nas regiões semiáridas, que engloba parte da região Nordeste do Brasil. Essa está sendo estudada nas últimas décadas por órgãos e pesquisadores preocupados com os aspectos e as relações socioeconômicas e físicas do semiárido (SANTOS *et al.* , 2007). O Nordeste brasileiro, quando comparado a outros ambientes semiáridos, possui características únicas de pluviosidade, extensão e densidade populacional, além de ter uma parcela considerável de sua população dependente de atividades econômicas ligadas à agricultura (SANTOS *et al.* , 2007).

Face ao exposto, a presente pesquisa busca resgatar as discussões de autores, estudiosos das teorias da Geoecologia das Paisagens, no estudo da organização espacial dos complexos naturais, da disponibilização dos recursos naturais e dos impactos resultantes da ação antrópica sobre esses sistemas. Assim, considera-se relevante analisar a interação entre os elementos bióticos, abióticos e socioeconômicos como: uso do solo, relevo, índice de aridez, índice de desertificação geomorfologia e geologia da área para melhor compreender o funcionamento e a organização das paisagens, no intuito de criar zonas destinadas a usos econômicos na região, além de qualificar regiões prioritárias a recuperação e preservação da biodiversidade e da geodiversidade, apontando então possíveis estratégias para a mitigação dos processos erosivos além da preservação da na BHRT.

Desta forma, a pesquisa está baseada em um conjunto de dados temáticos de geologia, precipitação, geomorfologia, imagens de sensoriamento remoto e classificação do uso do solo que foram atualizados e adaptados para compatibilizar com a escala do mapeamento de 1:100.000. Além disso, faz uso de análise espacial, armazenamento e resgate de informações, criando ainda ambientes de saída para os resultados gerados. Para isso, foram empregadas metodologias de aquisição e análise de dados, possibilitadas pelas tecnologias de geoprocessamento, em especial àqueles referentes ao Processamento Digital de Imagens (PDI) e aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

A presente tese está estruturada em uma parte introdutória, seguindo uma visão generalizada da área de estudo e seus problemas, conceitos teóricos, objetivos e métodos utilizados na pesquisa. Em seguida, são passados o objetivo principal da pesquisa seguido pelos objetivos específicos que compõem cada capítulo da tese. Subsequente a isso está o referencial teórico que aborda temas pertinentes a pesquisa com geoeologia das paisagens, geotecnologias, geossistemas, zoneamento ambiental e uma apresentação da Bacia Hidrográfica do rio Taperoá

Após isso, a tese está dividida em dois capítulos. O Capítulo 1 aborda a classificação de uso do solo dando ênfase ao estado da vegetação de caatinga. O capítulo em questão aborda a metodologia da classificação baseada em objeto da cobertura e uso do solo, junto as definições das classes de vegetação de caatinga. O capítulo apresenta resultado quanto a validação do mapeamento da distribuição das classes na BHRT, na APA do Cariri e no projeto do Geoparque Cariri Paraibano, além de uma análise breve dessa distribuição por municípios que compõem a bacia.

Já o capítulo 2 irá apresentar a elaboração da matriz geoeológica, desde escolha de suas variáveis até a definição das classes que iram compor a mesma. Aqui é apresentada a construção da variável Índice de Aridez para a bacia além do recorte de classes de cada variável escolhida. Como produto final da matriz é apresentado o mapa da condição ambiental da matriz quanto áreas de conservação e recuperação considerando as áreas de interesse geológico e os usos na bacia. Também é feita uma análise por área de contribuição dos municípios e do Geoparque Cariri.

## **2. Objetivo**

O objetivo desta tese é contribuir metodologicamente através da elaboração de uma matriz geoecológica, adaptada ao ambiente semiárido, para o zoneamento ambiental aplicado através da análise geossistêmica como subsídio a geração de conhecimento e estratégias direcionadas para a mitigação de processos erosivos, preservação da geodiversidade e biodiversidade na bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB.

### **Objetivo Específicos**

- Qualificar as condições atuais da caatinga na bacia do Taperoá através da elaboração de um mapa de cobertura e uso da terra através de GEOBIA na escala 1:100.000.
- Identificar áreas prioritárias para a conservação e recuperação através da elaboração de um zoneamento ambiental baseado em uma matriz geoecológica.

### **3. Referencial Teórico**

#### **3.1. O Conceito de Paisagem dentro de uma abordagem geocológica**

A palavra paisagem é comumente usada em nosso cotidiano e em diferentes áreas da ciência para dar significado a um determinado lugar. Quando apresenta um viés estético, a paisagem está ligada principalmente à percepção visual, que acaba atribuindo a uma determinada localidade um valor, que pode ser pessoal e subjetivo. Esses valores podem estar relacionados ao belo, cultural, financeiro, social ou natural, interligados dando significado e função as paisagens.

Desta forma, em um primeiro momento, o termo paisagem é introduzido no período da renascença, nas obras de arte relacionadas à natureza. Nesse período, a natureza possui uma tendência estética e desenvolveu-se em áreas como, por exemplo, o paisagismo. Com isso, a paisagem nessa época torna-se um objeto de contemplação da natureza limitada apenas por nossas percepções.

Já na ciência geográfica a palavra paisagem vem abarcar em seu conceito diferentes significados, desde sua institucionalização como ciência. Segundo Gomes (1997), um dos principais objetivos da Geografia é explicar as razões que condicionam a localização espacial de objetos e eventos na superfície terrestre. Assim, essa ciência tem como incumbência estudar a razão lógica para a ocorrência dos elementos que compõem a superfície do planeta, suas inter-relações, e sua organização no espaço (GOMES, 1997). Sendo assim, um dos conceitos chaves da Geografia é a Paisagem que assume um papel relevante na análise espacial.

Para Corrêa (2008), o período que remete à Geografia Tradicional, entre 1870 e 1950, é marcado pelos destaques dados aos conceitos de Paisagem e Região, com discussões sobre o papel da geografia junto as demais ciências. Os conceitos chaves dos debates incluíam também as Região Natural e Região de Paisagem, além de Paisagem Cultural, Gênero de Vida e Diferenciação de Áreas.

Já na década de 1950 com o andamento da visão Teorética-Quantitativa, a Geografia adota uma abordagem baseada nas ciências da natureza. É nesse momento que o raciocínio hipotético-dedutivo e os modelos matemáticos são consagrados. Segundo Corrêa (2008), a Geografia passa a ser considerada como ciência social ou uma ciência espacial, reduzindo a importância do conceito de Paisagem frente ao conceito de Espaço Geográfico. O conceito

de Região também sofre influência quanto ao conceito geográfico, tornando-se apenas uma classificação de unidades espaciais baseadas em técnicas estatísticas (CORRÊA, 2008).

Por último, a Geografia Crítica, fundamentada na dialética e no materialismo histórico, buscou o rompimento com a Geografia Tradicional e a Geografia Teórica-Quantitativa. Nesse momento o Espaço permanece como conceito chave e trabalha junto à sociedade, a partir de uma constituição socioespacial que abarca os conceitos-chave Natureza Operativa, Paisagem, Região, Espaço, Lugar e Território (CORRÊA, 2008). Diante dessas correntes de pensamento é possível observar na Geografia a existência de várias paisagens, que se fazem presentes tanto na Geografia Física quanto na Geografia Humana.

Ainda sobre o conceito de paisagem, RODRIGUEZ et al. (2007) destaca que os estudos da paisagem geográfica têm início no século XIX, com as obras de Humboldt e Dokuchaev servindo como referenciais teóricos, principalmente para as escolas russo-soviética e alemã. Esses referenciais teóricos, segundo Vitte (2010), sofreram influência da obra de Immanuel Kant em 1791, na “Crítica da Faculdade do Juízo”.

Em sua obra, Kant aborda o princípio teleológico da natureza, que é importante para a fundamentação do conceito Paisagem, onde sua finalidade é expressa por processos e manifestações. O trabalho de Kant introduz na paisagem um sentido analítico, buscando um sentido paisagístico através de uma ordem natural.

Desta forma, influenciado pelos pensamentos de Kant, Humboldt trabalha com a vegetação como objeto natural de beleza para ser inventariado e contemplado, mas também, como um elemento de diferenciação da paisagem. Assim, ele caminha além de uma descrição de elementos no espaço, pois, seus estudos permitem compreender as dinâmicas que regem a natureza aplicando métodos explicativos e comparativos. Na Rússia, em 1912, Dokuchaev aborda a Paisagem de uma forma diferenciada, em que as estruturas que compõem a sua natureza, são definidas através de um *complexo natural territorial* (CHRISTOFOLETTI, 1999). Essas escolas definem a paisagem como um complexo natural, possuindo diferentes escalas de influência dentro de espaços geográficos, sendo compostas também por elementos bióticos e abióticos.

Segundo Christofolletti (1999) e Rodriguez et al. (2007), as escolas francesa e anglo-saxônica tem como base os estudos de Sauer e Vidal de La Blache no estudo da paisagem. Seus conceitos consistem em uma paisagem construída através das relações socioeconômicas, ou mesmo dentro de uma perspectiva mais global a fim de evitar maiores rupturas com as Paisagens Naturais. Frente a essa abordagem, Sauer (1998[1925]) conceitua

Paisagem como sendo um organismo complexo, em que através da análise morfológica as formas são compreendidas e associadas. O autor conclui então, que a combinação de elementos naturais e elementos artificiais consequências de ações antrópicas, formam o conteúdo da paisagem.

Riábchicov (1976), aponta como tarefa da Geografia o estudo das paisagens naturais da superfície terrestre, considerando: suas leis zonais e condições geoestruturais de surgimento; seu desenvolvimento; sua ciclagem de substâncias e energia; e, por fim, as intervenções do homem nesta paisagem, a qual o autor denomina de paisagens antroponaturais. Reafirmando essa ideia, Ab'sáber (2003) considera as paisagens uma “herança de processos fisiográficos e biológicos, e patrimônio coletivo dos povos que historicamente as herdaram como território de atuação de suas comunidades”.

Partindo dessas linhas de raciocínio, Bertrand (2004) coloca que a paisagem não é apenas um somatório de elementos geográficos. Para o autor, o conceito é mais abrangente, sendo a paisagem definida como resultado da combinação, dinâmica e reação dialética dos elementos físicos, biológicos e antrópicos em determinada porção do espaço. Desta forma, é importante destacar que não é apenas a paisagem “natural” que deve ser considerada, e sim a paisagem integrando todas as implicações das ações antrópicas. Sendo assim, as diversidades encontradas nas paisagens estão interligadas a um conjunto histórico de desenvolvimento da esfera geográfica e seus componentes. (RIÁBCHICOV, 1976)

Seguindo a mesma linha de raciocínio, Rodriguez *et al.* (2007) definem as paisagens como sistemas espaço-temporais de organização espacial complexa e aberta, formada pela interação entre componentes ou elementos físicos (estrutura geológica, relevo, clima, solos, águas superficiais e subterrâneas, vegetação e fauna) que podem ser transformados ou alterados pela atividade antrópica. O autor coloca que:

(...) a paisagem caracteriza –se pelas seguintes propriedades:

- a comunidade territorial: através da homogeneidade na composição dos elementos que a integram, e o caráter de suas interações e inter-relações
- o caráter sistêmico e complexo de sua formação que determina a integridade e sua unidade
- o nível particular do intercâmbio de fluxos de substâncias, energia e informação, que determina seu metabolismo e funcionamento;
- a homogeneidade relativa da associação espacial das paisagens, que territorialmente caracterizam-se por um nível inferior, com regularidades de subordinação espacial e funcional. (RODRIGUEZ *et al.*, 2007 p.18)

Desta forma, são considerados importantes os métodos e procedimentos técnicos e analíticos que permitem identificar e entender as regularidades da estrutura e do

funcionamento das paisagens e suas propriedades. Além disso, segundo o autor, eles ajudam na compreensão dos índices e dos parâmetros sobre a dinâmica da paisagem, do seu histórico de desenvolvimento, dos estados em que se encontram, dos seus processos de origem e transformação e dos aspectos relacionados à autorregulação e à integração das paisagens.

Com os avanços das discussões sobre o conceito de paisagem dentro da geografia, surge a necessidade da incorporação de conceitos ecológicos em resposta a uma demanda originária dos planejamentos e gestão ambientais e territoriais. Desta forma, inúmeras propostas de estudos da paisagem foram apresentadas. Nesse contexto, o geógrafo alemão Carl Troll, em 1938, pauta seus estudos nos aspectos espaço-funcionais da paisagem, introduzindo o conceito de Ecologia da Paisagem, no qual mais tarde também será utilizado o termo Geoecologia da Paisagem. Troll (1950) expõe que o surgimento da Ecologia da Paisagem deve-se à incorporação do conceito espacial da geografia dentro da ecologia.

Dentro desse contexto, RODRIGUEZ et. al. (2007) colocam que a Geoecologia da Paisagem, diante da demanda de administrar a incorporação ambiental ao processo de desenvolvimento, precisa enfrentar algumas demandas como:

- O estabelecimento e aperfeiçoamento de diferenciação, caracterização e cartografia das unidades geoecológicas.
- Aprofundamento de métodos de análise sistêmica de propriedades e atributos da paisagem.
- Desenvolvimento de conceitos e procedimentos de medição da sustentabilidade geoecológica, como ferramenta eficaz na contextualização dos diferentes caminhos para a construção do desenvolvimento sustentável. (RODRIGUEZ et. al., 2007, p23.)

Face ao exposto, a ecologia da paisagem pauta-se na qualidade do objeto dentro dos geossistemas, em que as paisagens se desenvolvem, se estabelecendo de acordo com um sistema de relações entre paisagens. Isto é, a paisagem entra como um arranjo desse sistema, abordando o relacionamento dos indivíduos com uma dada parte da superfície terrestre.

### 3.2. Geossistemas

Segundo Rodriguez *et al* (2007), os estudos que abordam as metodologias sistêmicas começaram nos anos 60. O autor justifica que o interesse atual na teoria dos sistemas está relacionado com a descoberta de novos objetos, fruto do conhecimento de investigações e pesquisas acumulados, tendo-se então a necessidade de analisar suas interações e uma nova quantidade de variáveis, que tornam os métodos tradicionais de análise obsoletos. O termo geossistema foi utilizado pela primeira vez em 1960 por Sotchava, e apesar de se tratar da aplicação da Teoria Geral dos Sistemas da década de 50 de Bertalanffy, apresenta características conceituais únicas.

Com os avanços da Teoria dos Sistemas, tornou-se possível analisar qualquer regime, estrutura e análise dentro de um sistema (RODRIGUEZ *et al.* 2007). Um sistema então é um conjunto de fenômenos interdependentes que possuem fluxo de matéria e energia e trabalham para um objetivo em comum. Dentro desse raciocínio, o enfoque sistêmico torna-se a base científica da análise da paisagem.

Nesse contexto, Tricart (1977), junto a sua Ecodinâmica, dá um passo importante para a abordagem sistêmica na Geografia. O autor propõe uma metodologia que coloca a Geografia em cooperação com a Ecologia, o que teria como consequência muitas aplicações práticas; e o reequilíbrio da Ecologia, no qual os profissionais, que até então possuíam uma formação voltada para Botânica e Zoologia, deixavam de lado as relações entre os seres vivos e o meio ambiente, dando preferência às relações apenas entre os seres vivos. Para o autor, o apoio da Geografia Física é fundamental para tais análises:

Nossa metodologia é baseada no estudo da dinâmica dos ecótopos, que chamaremos de *ecodinâmica*. A dinâmica do meio ambiente dos ecossistemas é tão importante para a conservação e o desenvolvimento dos recursos ecológicos quanto à dinâmica das próprias biocenoses. Ambos os aspectos da dinâmica dos ecossistemas são estreitamente relacionados entre si... (TRICART, 1977, p. 30)

Essa concepção dinâmica está ligada à organização do espaço, estando intimamente relacionada ao objeto de estudo da Geografia. Segundo o autor, o dinamismo dessa ideia ocorre devido a ação humana que exerce influência na natureza, o que, por sua vez, se encontra em constante processo de alteração, evoluindo de acordo com leis próprias. Desta forma, a ação do homem não se dá num ambiente inerte e imutável que pode ser descrito, como foi por muito tempo, na forma de um inventário, mas sim, num ambiente dinâmico, em processo de transformação. Para estudar o espaço deve-se levar em consideração as ações

dos seres vivos sobre o ambiente, investigando como interferem na dinâmica do espaço geográfico e na paisagem, seja para superar aspectos desfavoráveis ou promover um melhor aproveitamento do meio.

Dentre as ciências que utilizam a abordagem sistêmica, a Geografia tem como objetivo estudar as organizações e interações de elementos dentro de um determinado espaço. Desta forma, Berutchachvili e Bertrand, (1978) apontam o geossistema como unidade espacial de limites bem definidos, analisada de acordo com uma determinada escala. Por isso, para o autor, o ponto de vista geográfico é fundamental na abordagem sistêmica, uma vez que o foco do geográfico está na composição de objetos e fenômenos em determinado ambiente. Christofolletti (1999) também trabalha dentro dessa lógica, com o conceito de organização espacial como um sistema espacialmente funcional e estruturado. Assim, sendo a variável espacial fundamental para os conceitos geográficos, o entendimento de sua organização torna-se, portanto, indispensável para os estudos geossistêmicos.

Esta organização espacial é resultante da interação dos elementos físicos (topografia, clima, solo, rochas, vegetação, etc.) através dos fluxos de matéria e energia que compõem a natureza. O resultado dessas combinações pode gerar um mosaico paisagístico dentro do geossistema, resultante da heterogeneidade do mesmo. Dentro dessa ideia, Monteiro (1978) conceitua geossistemas e os coloca como um:

Sistema singular, complexo onde interagem os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, e onde os elementos socioeconômicos não constituem um sistema antagônico e oponente, mas estão incluídos no funcionamento do sistema. (MONTEIRO, 1978 p.34).

Para compreensão do dinamismo dos processos do espaço geográfico, Sotchava (1978) considera a necessidade de integrar as perspectivas espacial (geográfica) e funcional (ecológica). Sendo assim, o autor incorpora o conceito de geossistemas em suas análises sobre paisagem, fundamentando a Escola Siberiana de Paisagem, que defende a paisagem dentro de uma concepção geossistêmica, permitindo a interpretação da mesma em seu todo sistêmico, tornando possível a compreensão de suas funções, interrelações, distribuições, formações, estruturas e funcionamentos.

Sotchava (1977) pontua geossistema como a conexão da natureza e sociedade. Pois, embora sejam regidos por fenômenos naturais, os fenômenos econômicos e sociais atuam diretamente em sua estrutura e, portanto, devem ser levados em consideração em suas análises. O autor, ainda classifica os geossistemas como dinâmicos, flexíveis, abertos e hierarquicamente organizados, com evolução temporal e uma dinâmica devido a influência

antrópica. Nesse conceito, o elemento fundamental é o espaço e as interações nele contidas sobre o ponto de vista geográfico em três escalas: topológica, regional e planetária.

RODRIGUEZ et al, (2007) também conceituam geossistema colocando-o como uma formação natural, que incluem funções complexas, sejam elas antrópicas e/ou da natureza, como qualquer sistema terrestre. O autor corrobora com as ideias de Aleksandrova e PreobrazhenkII (1982), ao apresentar cinco categorias de geossistemas quando comparados os elementos de formação, o grau de organização do sistema e o caráter das relações:

- **Geossistemas Naturais:** são os sistemas onde componentes individuais da natureza estão em estreita relação uns com os outros e em sua totalidade atua com outros sistemas vizinhos.
- **Geossistemas Técnicos – Naturais:** nesses sistemas os objetos técnicos e naturais estão se relacionando. Essa unidade é determinada por uma coexistência territorial de uma estrutura técnica, dentro do sistema natural, e as funções socioeconômicas, que determinam as interações de material, energia e informação.
- **Geossistemas Integrados:** sistemas de formações territoriais complexas que incorporam subsistemas da sociedade com suas diferentes atividades (cultural, econômica, social, etc.) e da natureza.
- **Geossistemas Ramais:** com um grau de complexidade menor esses geossistemas, o que inclui também a qualidade de subsistemas (turísticos, territórios naturais e históricos culturais, sistemas térmicos, etc.)
- **Geossistemas antro-po-ecológicos:** sistemas sociais, que se auto organizam e são parcialmente dirigidos. Eles têm o homem como objeto centralizador e a interação diante a outros elementos obedecem a sua lógica funcional.

Desta forma, as paisagens, podem ser consideradas geossistemas naturais, técnico-naturais, ou apenas fazendo parte das outras classificações. Logo, a paisagem dentro da análise sistêmica é considerada um sistema aberto, auto regulado constituído por cinco dimensões subsistêmicas distintas (interior dos componentes, interior estuturo-morfológico, exterior complexo, exterior aéreo e subjacente litogênico) (Rodriguez et. al., 2007). Ainda segundo os autores, pode-se definir os geossistemas paisagísticos em: monossistêmicos, constituídos de componentes, como, por exemplo, as ecopaisagens, dinâmicas, redes, reações em cadeias, etc. E polissistêmicos, onde os componentes principais e suas relações, na organização espacial da paisagem, são horizontais.

Em outras palavras, os geossistemas, do ponto de vista paisagístico, são formados de elementos naturais, dentro de um espaço geográfico definido, exercem sua dinâmica interna e externa muitas vezes influenciadas por aspectos antrópicos, originando pressões. Assim sendo, dentro de sua dinâmica, esses sistemas se distinguem por propriedades que os individualizam. Essas são mutáveis e dependendo da pressão podem ter suas características alteradas ao longo do tempo.

Dentro de uma perspectiva de integração dos elementos naturais e socioeconômicos, Monteiro (1996) faz um alerta sobre as dificuldades de destacar as ações do ser humano dentro dos geossistemas e sobretudo em território brasileiro. Para o autor existe a tendência naturalista de aplicação dos geossistemas em paisagens onde a ocupação humana tem baixa densidade ou é inexistente. Por isso, em paisagens ocupadas, principalmente as aquelas que possuem ênfase em uma dinâmica urbano-industrial, são áreas que “precedem as preocupações corretivas com a qualidade ambiental” (MONTEIRO, 1996 p.79), sendo então necessário que sejam incorporadas as ações antropogênicas.

Ainda nesse raciocínio, o autor destaca que a problematização da integração antrópica junto aos geossistemas devem considerar as seguintes variáveis:

- a) Escala de trabalho junto a extensão territorial, esses dois elementos determinam a configuração dos elementos dentro do espaço geográfico.
- b) Histórico da ocupação urbana e sua dinâmica frente ao geossistema (estudo temporal)
- c) Manifestação das ações antropogênicas, quanto ao seu grau de intensidade dentro da estrutura interna e dinâmica funcional dentro do geossistema.

Concluindo, Monteiro (*op. cit.*) aponta os componentes antrópicos como fundamentais, principalmente quando se trata de territórios com o brasileiro de grande extensão territorial e ocupações recentes ou iniciais. Desta forma, a análise antrópica da paisagem deve estar na modelização do geossistema permitindo a identificação e previsão, do comportamento do geossistema que desenvolve:

(...) a partir de estados e da possibilidade de suas sucessões no espaço tempo. A geoquímica do geossistema e as pesquisas metodológicas que lhe são associadas, traçam uma aplicação direta no conhecimento de jazimentos minerais. A teledeteção (análise de imagens de satélites) permite uma vigilância permanente dos “geossistemas” cujos “estados” são analisados após as medidas tomadas pelos satélites. (Monteiro, 1996)

Dentro do complexo geossistêmico, Seabra (2012) aponta que algumas propriedades podem ser divididas em: Gênese, Funcionamento, Estrutura, Estado, Estabilidade, Auto-Regulação, Capacidade Adaptativa, Resistência e Resiliência. A gênese relaciona-se ao processos espaço-temporais de formação dos geossistemas. Assim, para a compreensão de uma determinada paisagem, torna-se necessária não apenas a compreensão dos componentes ecossistêmicos atuais, mas também, de sua dinâmica ao longo do tempo.

Ao considerar a paisagem um geossistema em funcionamento, afirma-se que ela se compõe e se transforma através do intercâmbio de matéria e energia. As suas características relacionadas ao seu funcionamento, então são responsáveis por esse processo, cumprindo ações em determinadas paisagens. Já as estruturas da paisagem apontam a disposição dos elementos que a compõem, suas inter-relações e interações com outros sistemas, principalmente na variável espacial.

Outra característica importante diz respeito à dinâmica temporal de uma paisagem geossistêmica. Essa é suscetível a mudanças de acordo com determinada escala temporal, podendo ser de períodos mais curtos ou mais longos, dependendo das atuações tanto de funcionamento quanto de sua estrutura. Desta forma, o estado do geossistema, diz respeito ao funcionamento e estrutura da paisagem em intervalos temporais. Por exemplo, a paisagem no ambiente do semiárido nordestino altera-se de acordo com a dinâmica de chuvas na região ao longo de 1 ano, esse estado é considerado de média duração. Existem ainda estados de curta e longa duração, o primeiro diz respeito a mudanças repentinas (algumas horas ou dias) na paisagem, que podem ser originadas por exemplo através da ação antrópica, como o incidente na Represa de Mariana<sup>1</sup>. Já os de longa duração envolvem anos ou mesmo centenas de anos, tendo-se como exemplo as mudanças climáticas e geológicas em determinadas região.

Já a estabilidade de um sistema refere-se ao grau de interferência que o geossistema sofre. Qualquer influência que altere o funcionamento da estrutura, resulta num descontrole em toda sua dinâmica, tornando-o instável e, com isso, comprometendo sua capacidade de autorregulação. Quando afetado, o geossistema perde a proporcionalidade em suas entradas

---

<sup>1</sup>A barragem de Rejeito de Fundão (BRF) que pertence a Samarco Mineração S.A., localizada em Mariana (MG), rompeu-se no dia 05 de novembro de 2015, provocando a liberação de toneladas de rejeitos. Isso causou uma destruição ambiental, com presença de lama e rejeitos em rios, como o Rio Doce e seus afluentes, acarretando a morte de várias espécies de peixes, além de ter comprometido vários hectares de vegetação. Fora os impactos sociais, que levou a morte de trabalhadores e moradores e a extinção de alguns subdistritos. (LOPES, 2016)

e saídas, perdendo ainda sua capacidade de voltar ao estágio inicial no tempo destinado. É nesse desequilíbrio que os problemas ambientais ocorrem em diferentes intensidades, por conta do geossistema não conseguir cumprir algumas funções ambientais de sua responsabilidade. A figura 1 demonstra um sistema em equilíbrio, que sofre uma degradação resultante de uma pressão natural ou resultante da ação do homem.

Um exemplo de comprometimento da autorregulação está na área de estudo da presente tese, uma bacia hidrográfica do semiárido nordestino. Nela a vegetação apresenta um grau de umidade maior nas proximidades dos rios da região, que em sua totalidade são intermitentes. Dessa dinâmica surgem espécies de caatinga que cumprem o papel de prevenir o assoreamento dos rios, nos períodos de chuva, sendo assim a supressão dessa vegetação tem causado um aumento da lixiviação e, conseqüentemente, um aumento do assoreamento, não só dos rios da região como também a represa do boqueirão para aonde a bacia converge.



Figura 1: Comprometimento do equilíbrio do sistema (SEABRA, 2012)

É importante ainda destacar, que apesar das alterações, o geossistema busca um equilíbrio, uma nova organização para adaptar-se ao novo cenário. Desta forma, se o sistema conseguir, mesmo com a alteração em sua dinâmica, manter importantes funções que desenvolvia, pode-se dizer que possui grande capacidade adaptativa.

Sendo assim, os estudos, a resistência e resiliência dos geossistemas são fundamentais para o entendimento de suas capacidades de suportar impactos. A primeira está na capacidade de sofrer interferências internas e externas sem apresentar mudanças irreversíveis. A figura 2 apresenta dois esquemas, no primeiro um sistema em readaptação a pressão sofrida, ou

seja, ele sofre alteração em sua dinâmica, mas mantém seu equilíbrio. Já o segundo exemplo o sistema não se altera independente da pressão exercida sobre ele.

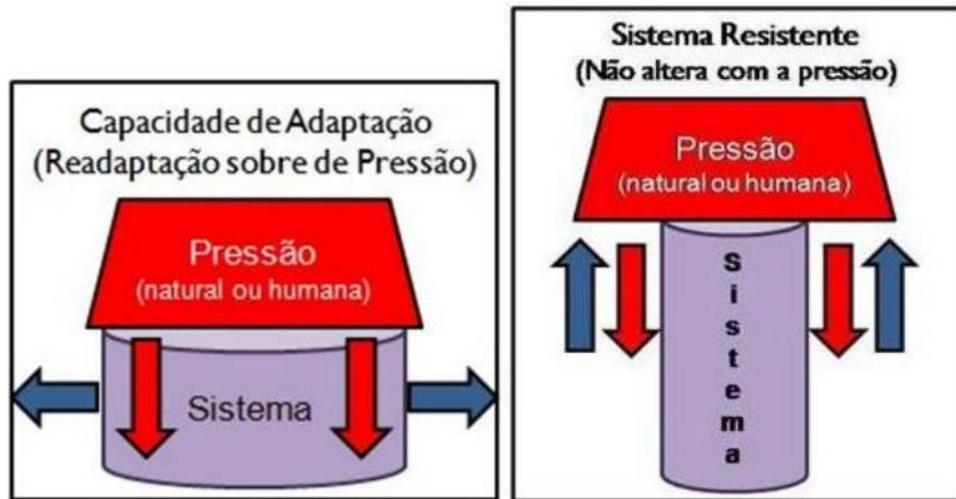


Figura 2: Capacidade de adaptação e resistência de um sistema. (SEABRA, 2012)

Já a segunda permite que o geossistema se adapte, conservando as relações e assimilando as mudanças de seu funcionamento e estrutura para voltar ao seu estado de origem. Quanto maior for a resiliência de um sistema, mais rápido ele responderá a pressões que venham a desequilibrá-lo. Nesse conceito a variável tempo é importância e a rapidez de regeneração do sistema varia diretamente com o impacto sofrido. Desta forma, geossistemas que possuem alta resiliência tem uma taxa de recuperação alta quanto a pressões externas mitigadas e/ou tenham seu limiar de estabilidade respeitados. Já os sistemas com resiliência, mesmo depois de atenuar as pressões, precisam de intervenção para recuperação. As figuras 3 e 4 exemplificam a interferências no sistema e as capacidades de recuperação com e sem intervenções externas.

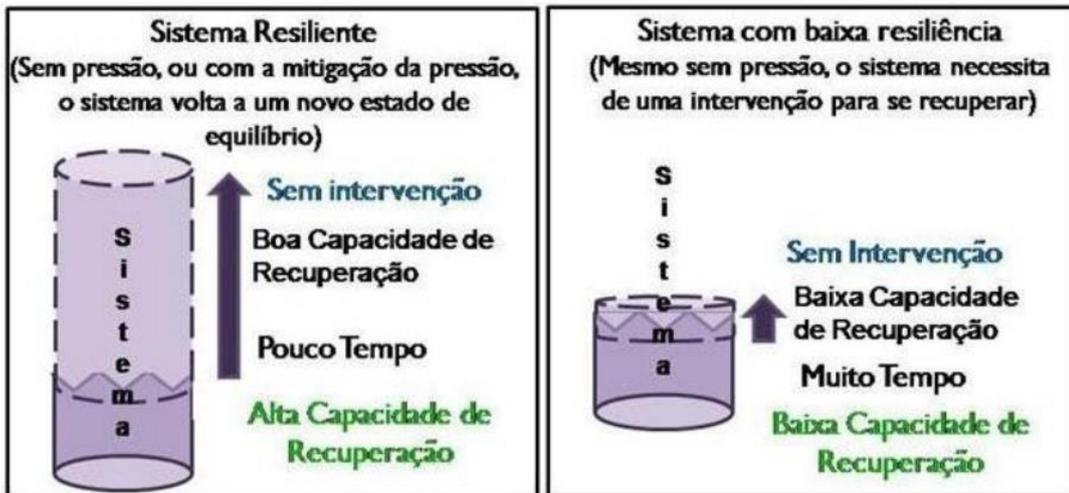


Figura 3: Sistema Resiliente a pressão com alta e baixa capacidade de recuperação (SEABRA, 2012)

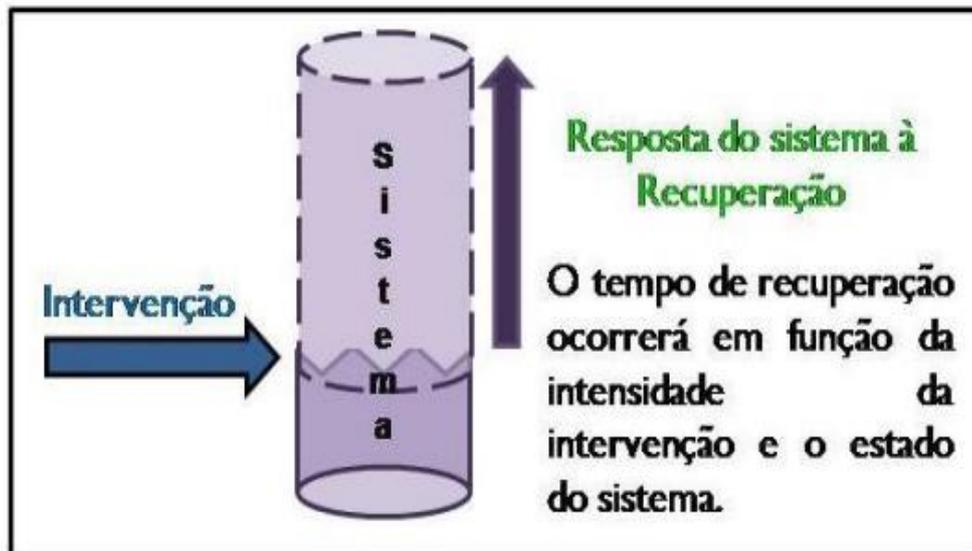


Figura 4: Sistema resiliente, porém com necessidade de intervenção para sua recuperação. (SEABRA, 2012)

### **3.3. Geotecnologias no estudo da paisagem**

A grande diferenciação existente no espaço geográfico permite que através das escalas as paisagens apresentem funções e tamanhos variados. Desta forma, as unidades de paisagem, podem variar desde grandes escalas, cinturões ou zonas de paisagens (por exemplo: clima e vegetação), até pequenas escalas, denominadas por Troll (1997) de pequenas paisagens ou paisagens parciais. Nesse contexto, o autor levanta algumas questões como: “até qual escala se pode efetuar uma divisão geográfica do espaço?”; “qual é a dimensão mínima de uma paisagem geográfica?”.

Segundo Lang e Blaschke (2009), para operacionalizar os estudos de delimitação e categorização da paisagem, devem ser considerados aspectos relacionados à escala, resolução, precisão e agregação. Huggett (1995), complementa essa ideia ao considerar que a ocorrência de múltiplos processos nos geossistemas, em diferentes abrangências e temporalidades, deve vir precedida de estudos da paisagem utilizando a escala geográfica de análise, a escala cartográfica de representação, as diferentes resoluções de imagens e os diferentes níveis de organização das paisagens.

Nesse sentido, Bertrand (1971) destaca que a representação cartográfica das paisagens exige um inventário geográfico completo, considerando importantes as escalas temporal e espacial para os estudos geográficos, relacionando-as a distintas etapas de análise e diferentes processos de hierarquização da paisagem.

Corroborando essa perspectiva, Seabra (2012) ressalta a importância da discussão sobre o emprego correto dos conceitos de escala cartográfica, escala geográfica, escala temporal, erro cartográfico, generalização geométrica, generalização semântica e resolução espacial. O autor destaca ainda que a desconsideração desses fatores ou o emprego incorreto desses conceitos, podem dar origem a análises incorretas da distribuição espacial dos elementos da paisagem e, conseqüentemente, a decisões equivocadas no processo de gestão do território.

O mapeamento multiescalar da paisagem leva em consideração o conceito de redução de escala que, segundo Menezes e Coelho Neto (1997), significa aplicar o principal fator de generalização cartográfica. Assim, os métodos de distinção e cartografia da paisagem permitem investigações e análises tanto de nível regional como local, distinguindo-se de acordo com os níveis de escala (RODRIGUEZ, et al 2007). Com isso, a informação poderá ser analisada segundo diferentes níveis de detalhamento, possibilitando distintas possibilidades de interpretações (MENEZES E COELHO NETO, 1997).

Desta forma, Rodriguez *et al.* (2007) colocam que os processos de regionalização e tipologia da paisagem baseiam-se em complexos individuais, variando de acordo com suas escalas cartográfica e geográfica. Segundo o autor, a regionalização físico-geográfica pauta-se nas análises, classificação e cartografia dos complexos físico-geográficos, com e sem as transformações antrópicas. Esses complexos (unidades geográficas) se caracterizam por serem diferentes, espaço e temporalmente. Além disso, apresentam critérios de distinção que não são relacionados à similaridade, e sim a sua inseparabilidade, as relações espaciais e o desenvolvimento histórico. Sendo assim, cada unidade terá seu próprio nome relacionado a uma única unidade territorial (RODRIGUEZ *et al.* (2007).

Quanto aos métodos de regionalização, o autor também coloca que em suas primeiras etapas utilizam-se três grupos independentes de procedimentos: 1) método de sobreposição das regiões parciais (climática, geomorfológica, dinâmica de uso da terra, etc.), 2) método do fator principal e método da repetibilidade. Esses métodos focam em duas análises: a regional e a genética e evolutiva da paisagem. Portanto, essas análises integram-se: “(...)como um elemento de análise estrutural regional. Esta análise sustenta-se na distinção das unidades regionais, tomando como base a dimensão tipológica das paisagens.” (RODRIGUEZ *et al.*, 2007 p. 75). Assim, as unidades tipológicas inter-relacionadas permitem diferenciar as propriedades genéticas, evolutivas, estruturais e espaciais das unidades regionais.

Para RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI (2007), a tipologia físico-geográfica (geoecologia ou de paisagem) é a cartografia, classificação e análise dos complexos físico-geográficos tipológicos naturais ou modificados pela ação do homem, além do entendimento de sua composição, estrutura, relações, desenvolvimento e diferenciação. Logo, as paisagens podem ser classificadas de acordo com sua estrutura morfológica, seu processo de formação, sua designação e sua função dentro do complexo paisagístico, representadas por índices que reflitam suas propriedades. Essa classificação tem como objetivo o auxílio no planejamento territorial através das ideias geoecológicas.

Para determinar a tipologia de qualquer paisagem, Rodriguez *et al.* (2007) colocam os seguintes princípios a serem seguidos: existência objetiva dos tipos geográficos; integridade e diferenciação; repetibilidade; semelhança substancial estrutural-morfológica; homogeneidade relativa e complexidade. Onde a diferenciação da paisagem, ainda segundo o autor, será pautada em um sistema de níveis de classificação: classe – tipos – grupos – espécies.

Face ao exposto, Longley *et al.* (2013) afirmam que diversos problemas geográficos envolvem diferentes objetivos e metas, em que muitas vezes não podem ser analisados e expressos de formas compatíveis. Para Seabra (2012) os estudos dedicados às análises do funcionamento e das estruturas dos geossistemas exigem o entendimento do comportamento e das interrelações dos diferentes componentes da paisagem, assim como a sua relação com outros geossistemas. Desta forma, é necessário trabalhar com uma grande diversidade de dados, que representam em diferentes escalas e temporalidades as variáveis envolvidas nesses sistemas naturais.

A incorporação crescente do uso de tecnologias com capacidade de desenvolver análises mais consistentes se dá pela necessidade de trabalhar todo esse conjunto de dados, de naturezas variadas, sobre uma perspectiva integradora (CARVALHO, 2003).

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento da informação geográfica para um objetivo específico. Dentre estas tecnologias pode-se destacar os produtos do PDI, SIG, os Sistemas Globais de Navegação por Satélite (SGNS), a utilização de modelos digitais de elevação (MDE), e os Bancos de Dados Geográficos (BDG).

Segundo Stow (1993), a maioria dos estudos geoecológicos faz uso das imagens de sensoriamento remoto para identificar e representar a distribuição de suas estruturas e funções em diferentes escalas temporais e espaciais. Para o autor, os dados resultantes desses levantamentos podem ser armazenados e analisados de forma mais eficiente quando introduzidos nos BDG e processados através de SIG. Os SIG, portanto, tem um caráter integrador frente as demais tecnologias, tendo como principais características:

- Estrutura de entrada, coleta, correção, armazenamento e gerenciamento de dados. Flexibilidade na importação e exportação de dados vetoriais e matriciais. Além disso, a tecnologia não fica restrita apenas a utilização de dados secundários, dando a possibilidade da digitalização através de escaneamentos, além de uma gestão e controle desses dados.
- Possibilidade de trabalhar em diferentes escalas (multiescalaridade) com diferentes tipos de dados através de modelagens. Essa característica torna-se fundamental nos estudos geoecológicos uma vez que determinados fenômenos e elementos da paisagem, não se restringem a uma única escala de representação.

- Análise e manipulação de dados. Os SIG então permitem operações de sobreposição de seus dados, fundamentais para análises espaciais. Além disso tem-se também operações de classificação, reclassificação, relações topológicas entre outras.

A incorporação dessa tecnologia a um BDG de componentes da paisagem, permite a disponibilização destes dados para análises das estruturas e funcionamento dos geossistemas. O modelo conceitual do BDG é definido de acordo com os dados incorporados ao mesmo, considerando tipo de dados, atributos não espaciais e representações geométricas associadas. Este banco pode ser subdividido em projetos compostos por níveis, camadas ou planos de informação, que variam em número, tipo de formato e temas, conforme as tarefas e necessidades de cada estudo (CÂMARA *et al.*, 2001).

Corroborando essa ideia, Lang e Blaschke (2009) afirmam que o uso das ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto viabilizam os estudos das métricas ou indicadores de paisagem, utilizados para a análise de padrões espaciais. Assim, observa-se que cada vez mais essas ferramentas têm se mostrado importantes para a tomada de decisões e tem contribuído consideravelmente para a integração e as análises mais complexas das variáveis. Bridgewater (1993), também aponta os recursos de sensoriamento remoto e SIG como ferramentas fundamentais para a compreensão do efeito das mudanças da paisagem em diferentes escalas nos geossistemas.

Contribuindo para a análise desses sistemas destaca-se a cartografia para os estudos geoecológicos, uma vez que esta ciência se preocupa com a representação gráfica e generalizada dos fenômenos naturais e culturais presentes na superfície terrestre. Desta maneira, oferece o instrumental teórico necessário para que as representações e quantificações efetuadas sejam coerentes e reflitam uma representação mais aproximada do estado da paisagem (SEABRA, 2012).

Segundo Menezes (2000), a Cartografia Geoecológica busca a representação cartográfica de temas ligados à análise das interfaces existentes na paisagem através do geoprocessamento, que se trata de um conjunto de tecnologias utilizadas como suporte a estudos espaciais. Nesse contexto, o autor afirma que os mapas geoecológicos são um dos principais produtos dessas análises, possuindo especificidades, com: interação homem-natureza e suas consequências para o meio ambiente; ação dinâmica (representação das transformações, vetores e interações sobre o tempo); e representação dos inter-relacionamentos entre elementos da paisagem. Sendo assim, Fernandes (2009) apresenta as

geotecnologias como alternativa metodológica para o desenvolvimento de estudos geocológicos que buscam o entendimento da estrutura, da função e da dinâmica da paisagem para definir a espacialização de fenômenos.

O sensoriamento remoto por sua vez, como parte dessas geotecnologias, pode ser entendido como a ciência, técnica e processo que permitem a aquisição de determinado tipo de informação através de sensores de forma remota. Seu avanço tecnológico permitiu o desenvolvimento de sensores com maiores resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais, além do surgimento de diferentes *softwares* de processamento de imagem e métodos de classificação. Somado a isso, veio a popularização das imagens de satélites e como consequência a possível aquisição de diversos desses produtos de forma gratuita para todo território nacional, como exemplo, as imagens SENTINEL 2, que serão utilizadas na presente pesquisa.

Dentro de uma perspectiva geocológica esses produtos são de fundamental importância em suas análises da paisagem, uma vez que permitem através do adequado processamento auxiliar a compreensão da dinâmica do espaço geográfico.

### **3.4. Conservacionismo e Protecionismo**

A Geografia possui como característica epistemológica a interação entre a natureza e a sociedade como objeto de análise. Nesse sentido, para desenvolver seus estudos, os geógrafos algumas vezes utilizam debates de outras ciências ou áreas do conhecimento, que estabeleceram diferentes formas de pensar essa relação do homem com o meio, como forma de adquirir mais subsídios ao tema. Nesse contexto, uma questão pertinente é a discussão em torno das ideias de “conservação” e “preservação”, na medida em que o resgate e a problematização dessas ideias fornecem contribuições relevantes ao objeto de análise dos estudos geográficos.

Diegues (2001) entende a relação entre homem e natureza baseada nos mitos naturalistas de uma natureza intocada, ou seja, de um mundo selvagem (“*wilderness*”). De acordo com o autor, essas ideias de “intocado” e “selvagem” representam simbolicamente um estágio primário, inicial, anterior às eventuais modificações realizadas pelo homem. A partir dessa concepção, o homem é considerado então, como o agente que destrói essa natureza intocada, e esta por sua vez, necessitaria, portanto, de uma proteção integral contra a ação do homem.

Esse pensamento incita uma reflexão a respeito do valor da natureza e da possibilidade da existência de fato de uma natureza intocada. Do ponto de vista marxista, considera-se a natureza como algo anterior à história da humanidade, ou seja, torna-se muito difícil imaginar a superfície terrestre com as características de uma natureza intocada. Assim, o valor que dado à natureza é o ponto de divergência entre movimentos ambientalistas que defendem a ideia biocêntrica enquanto outros defendem a ideia antropocêntrica. Essas ideias aparecem em diversas escolas de pensamento ecológico, disseminando suas orientações e ações preservacionistas e conservacionistas.

Uma dessas escolas do pensamento ecológico, a *Deep Ecology*, chamada no Brasil de Ecologia Profunda, está ligada a ideia biocêntrica e tem como princípio básico avançar pelo conhecimento científico, elencando outros elementos para subsidiar os estudos da natureza, como aspectos culturais e religiosos, incluindo ainda, o homem como parte dessa natureza. Segundo Diegues (2001), essa escola sofreu muitas críticas dos seguidores de outras escolas do pensamento, na medida em que, por maior que seja a solidariedade com o meio natural e por mais que seja evitada uma análise antropocêntrica, o homem sempre agirá como tal, por meio de suas ações, alterando assim a natureza.

Como contribuição às discussões sobre proteção ambiental, as ideias difundidas pelos pensadores da Ecologia Profunda proporcionaram debates a nível internacional a respeito da formulação de políticas ambientais. Nesse sentido, foi possível observar iniciativas como a criação de Unidades de Conservação de Uso Restrito e a adoção de Reservas da Biosfera (MELO E SOUZA, 2009), o que pode ser visto também no Brasil, a partir da criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Contudo, apesar das válidas contribuições dessa escola do pensamento ecológico, suas discussões acabaram deixando de lado outros aspectos relevantes ao tema, que serão destacados por outras correntes do pensamento.

O cientista americano Murray Bookchin é um dos representantes de outra escola do pensamento ecológico, a Ecologia Social, e também é um dos autores críticos ao “misticismo” existente em torno das ideias da Ecologia Profunda. Isso porque, a Ecologia Social defende que o homem deve sim respeitar conscientemente a espontaneidade do mundo natural (DIEGUES, 2001); no entanto, os pensadores dessa escola consideram o homem como um ser social em sua essência, atuando de diferentes formas sobre a natureza, enquanto os seguidores da Ecologia Profunda consideram o homem apenas como uma espécie que habita a superfície terrestre, assim como as demais espécies. A Ecologia Social dá a devida

importância às questões da natureza, vinculando o homem como um agente fundamental na sua transformação, ou seja, para entender os problemas da natureza é necessário analisar primeiramente os problemas sociais (DIEGUES, 2001).

Bookchin (2012) destaca ainda que uma característica relevante da Ecologia Social é o seu viés político, ligado à participação em movimentos partidários e sociais, relacionados a causas ambientais. Por sua vez, Castoriadis e Cohn-bendit (1980) já ressaltavam que o surgimento desses movimentos ligados às discussões ecológicas passou a questionar o modo de vida da sociedade, evidenciando um questionamento efetivamente sobre as relações entre sociedade e natureza. Assim, segundo os autores, esses movimentos ecológicos foram extremamente importantes, já que proporcionaram a discussão de questões que ultrapassam o sistema técnico-produtivo.

No mesmo contexto, em seus estudos sobre as interações entre sociedade e natureza, Santos (1998) destaca a existência de duas abordagens diferenciadas: uma que considera a natureza como um recurso e outra que considera a natureza como suporte à vida. Essas abordagens estimulam a reflexão não apenas por parte de geógrafos, mas também de outros profissionais, pois, diz respeito a questões, como: a necessidade de “preservar” e “conservar” a natureza é para quem? ou seja, quem seriam os beneficiados? Como se daria especificamente a “proteção” ambiental? Aonde deveria haver maior foco dessa “proteção” ambiental, ou seja, que áreas possuem problemas ambientais prioritários? Quem define a prioridade ou urgência de um problema/risco ambiental? Por quê (quais as justificativas)?

No bojo desses questionamentos, recorre-se ao pensamento de Verdum (2005), na medida em que o autor considera que as rupturas na Geografia alteram a forma de intervenção do homem na natureza nas suas diversas formas de organização: primeiramente, rompendo com a ideia de homem como um ser exclusivamente natural, isto é, um rompimento com uma das ideias da Ecologia Profunda e, em segundo lugar, reconhecendo que a diversidade cultural proporciona ao homem diversas formas de modificar e até mesmo recriar a natureza, se aproximando assim, das ideias defendidas por Bookchin na Ecologia Social.

Deste modo, o autor defende que o papel do geógrafo não deve ser somente o de analisar impactos ambientais gerados por intervenções do homem na natureza. Reforça que esses possuem vantagem no desenvolvimento de seus estudos sobre a relação sociedade/natureza, já que podem fazer uso de categorias de análise como, por exemplo, meio ambiente, paisagem, ecossistema e recurso natural. Como resultado, os geógrafos se deparam com desafios como: a) Identificar as marcas do passado da degradação ambiental; b)

Reconhecer o grau de estabilidade e o potencial geoecológico dos ambientes; c) Planejar o espaço de tal forma que os ecossistemas artificiais produzidos pelas diversas formas de modernização e que fornecem os recursos para a sociedade, possam funcionar sem degradações ambientais, permitindo assim a continuidade do desenvolvimento dos processos produtivos.

Verdum (2005) destaca ainda as contribuições de autores brasileiros como Orlando Valverde, Aziz Ab'Saber e Manoel Correa de Andrade, precursores no estudo das transformações do espaço geográfico pelas diferentes modernizações que passou a agricultura, através da abordagem da paisagem cultural, apontando o desenvolvimento rural brasileiro e as degradações ambientais. Segundo Verdum (2005), os autores citados assinalam como desvantagem nos estudos geográficos o desconhecimento do potencial geoecológico dos ecossistemas e dos seus limites. Assim, torna-se necessário ampliar as discussões entorno dos modelos produtivos, da preservação e da conservação ambiental.

Face ao exposto, foi possível compreender como as discussões em torno de preservação, conservação e das escolas do pensamento ecológico são fundamentais no estudo das relações entre sociedade e natureza, fundamentais ao trabalho dos geógrafos. Sendo assim, destaca-se que a abordagem das produções geográficas na atualidade em meio a esses debates evita o tratamento da natureza como intocada, e a coloca como aquela transformada pelo trabalho social.

Nesse contexto, o papel do geógrafo está na elaboração de estudos que considerem, no que tange à relação sociedade-natureza, abordagens como paisagem cultural, domínios morfoclimáticos, geossistemas, entre outros. Essas contribuições devem ser utilizadas como referenciais na adoção de modelos de modernização do espaço, especialmente quando as questões políticas e econômicas se sobrepõem às dinâmicas ambientais.

Neste contexto, as paisagens são definidas como formações caracterizadas pela estrutura e heterogeneidade na composição dos elementos que a integram (componentes geoecológicos); pelas múltiplas relações, tanto internas como externas; pela variação dos estados e pela diversidade hierárquica, tipológica e individual (Turner *et al.* 2001). Nesse contexto Seabra (2012) afirma que:

As pesquisas voltadas para a Ecologia de Paisagem podem ancorar os levantamentos necessários para a determinação dos níveis de favorabilidade a recuperação de áreas degradadas e de fragilidade de ambientes naturais, já que analisam as diferenciações existentes nos complexos sistemas naturais espaciais (paisagens). (SEABRA, 2012, p. 49)

Serão desenvolvidos, portanto, estudos que consideraram alguns aspectos relacionados às estruturas horizontal, vertical e vetorial da paisagem (Tabela 1), apontadas por Frohn (1998), Turner *et al.* (2001) e Rodriguez *et al.* (2007), como de maior relevância na determinação da organização e funcionamento dos geossistemas. Essa matriz tem como objetivo final o Zoneamento Ambiental na região.

Tabela 1: Aspectos da paisagem segundo Frohn (1998), Turner et al. (2001) e Rodriguez et al. (2007) apud Seabra (2012)

	<b>Aspectos ou Componentes da Paisagem</b>
Estrutura Vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fatores Geológicos – estrutura geológica e tipo de rocha ou de sedimento (composição)</li> <li>● Fatores geomorfológicos – Altitude, declividade, amplitude do terreno, morfologia do terreno e orientação das encostas (aspecto)</li> <li>● Fatores climáticos – Faixa térmica, índice de pluviosidade, aridez, radiação solar, direção e intensidade dos ventos</li> <li>● Fatores Pedogenéticos – tipos de solo, características físicas e químicas, profundidade do solo, textura e porosidade</li> <li>● Fatores Hidrológicos – Proximidade com corpos hídricos superficiais, tipos de drenagem, características estacionais, características das águas subterrâneas</li> <li>● Vegetação - Presença de fragmentos florestais e fitofissionomias</li> <li>● Fatores antrópicos – Tipos de uso predominante, extensão do uso, sazonalidade, aspectos de forma, histórico de uso e cobertura da terra, proximidade com rodovias e núcleos urbanos</li> </ul>
Estrutura Horizontal	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Área e forma das unidades de paisagem</li> <li>● Pressão antrópica da matriz de uso</li> <li>● Conectividade/distância de unidades de conservação</li> <li>● Diversidade</li> </ul>
Estrutura Vetorial	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Processos geomorfológicos predominantes</li> <li>● Processos hidrogeológicos predominantes</li> <li>● Processos sucessionais</li> <li>● Proteção Legal</li> <li>● Número de componentes da paisagem afetados (ex: desmatamento)</li> </ul>

### 3.5. Zoneamento Ambiental

O homem atua como agente transformador do espaço, alterando-o do ponto de vista geossistêmico, gerando consequências como erosões, enchentes, desertificações. Essa atuação não ocorre de forma desordenada, segue uma lógica, que muitas das vezes é político-econômica, renunciando as variáveis ambientais que, por sua vez, causam um desequilíbrio no interior dos sistemas. Egler et al. (2003) pontuam essa questão em três agendas de classificação dos problemas: 1) a agenda verde, que discute questões relacionadas a fauna, flora, solo, biodiversidade, etc. 2) a agenda marrom, na qual abrange as questões relacionadas a poluição de degradação urbanas; e 3) a agenda azul, voltada para a preservação e uso dos recursos hídricos. Apesar dessa delimitação, essas agendas não podem ser gerenciadas sem uma integração de suas temáticas.

Pautada nas discussões ambientais anteriores, a Carta Europeia de Ordenamento do Território redigida durante a Conferência Europeia de Ministros em 1984, chega-se à conclusão que para se ter ordem no território é necessário um planejamento. Ela então define ordenamento territorial como:

Uma disciplina científica, uma técnica administrativa e uma política que se desenvolve numa perspectiva interdisciplinar e integrada, visando o desenvolvimento equilibrado das regiões e a organização física do espaço segundo uma estratégia de conjunto. (CONSELHO DA EUROPA, 1988).

Dentro dessa concepção, para que ocorra um planejamento e desenvolvimento equilibrado a dimensão ambiental é uma condição fundamental ao sucesso (Maranhão, 2014; SANTOS, 2010). Nessa lógica, surge o termo Planejamento Ambiental, que é definido como:

[...] um processo contínuo que envolve coleta, organização e análise sistematizada das informações, por meios de procedimentos e métodos, para se chegar a decisões ou escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis em função das suas potencialidades, e com a finalidade de atingir metas específicas no futuro, tanto em relação aos recursos naturais quanto à sociedade. (SILVA; SANTOS, 2004, p. 223)

Já no território nacional, a constituição brasileira de 1988 define no artigo 255 que “Todos têm direito ao ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Além disso, adota competências gerais que cabem a União conforme o inciso IX do artigo 21: “compete a União elaborar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento

econômico e social”. Já aos municípios, segundo o inciso VIII do artigo 30 cabe:[...] promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso do solo, do parcelamento e da ocupação do solo urbano.

Uma das ferramentas que garantem essa política de planejamento e ordenamento territorial, são os zoneamentos. Ou seja, a definição de zonas que vão seguir metodologias próprias de delimitação segundo interesses públicos e/ou privados. Além disso, servem para balizar as políticas de planejamento e gestão do território. Segundo Maranhão (2014), o estatuto da cidade, lei 10.257 de 10 de julho de 2001, regulamenta o zoneamento através de diretrizes que estabelecem uma referência espacial para o uso do solo, em conjunto com as estratégias político-econômicas das regiões de determinado município.

Dentre os tipos de zoneamentos existentes hoje no Brasil tem-se, segundo o ministério do Meio Ambiente (2014):

- **Zoneamento Ambiental (ZA)** – instituído pela lei federal nº6.938/1981 e posteriormente evoluído e sendo transformado no Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) com a edição do decreto federal nº 4.297/2002.
- **Zoneamento Socioeconômico-Ecológico** – Empregados nos estados do Mato Grosso e Rondônia, trata-se do ZEE, dando ênfase para a dimensão social não se restringindo apenas aos aspectos ambientais e econômicos.
- **Zoneamento Agroecológico** – está previsto na lei federal nº 8.171/1991, artigo 19, inciso III, em que são estabelecidos critérios de ordenamento para a ocupação espacial de diversas atividades produtivas. Além disso, a aprovação de crédito rural está condicionada a esses zoneamentos, com destaque para o ZAE da cana-de-açúcar presente no decreto federal nº 6.961/2009.
- **Zoneamento Agrícola de Risco Climático** – elaborado visando mitigar riscos relacionados a fenômenos climáticos, permite a identificação da melhor época de plantio nos diferentes tipos de solos. É feito através de metodologia validada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e adotada pelo ministério da Agricultura (MAPA), no qual são avaliados os riscos climáticos que podem ocasionar perdas na produtividade das lavouras, com calendário de plantio, orientações ao crédito e seguro para a produção.
- **Zoneamento Industrial** – regido pela lei federal nº 6.803/1980, esse zoneamento é realizado nas áreas críticas de poluição, com delimitação de áreas destinadas a instalação de indústrias em concordância com o zoneamento urbano.

- **Zoneamento Urbano** – utilizado nos planos diretores, nesse zoneamento a cidade é dividida em áreas onde são determinadas regras diferenciadas de uso e ocupação do solo. Atuante como meio de controle sobre dois principais elementos: o uso e o porte dos lotes e das edificações. Essa estratégia permite o monitoramento de ações individuais e se as mesmas estão de acordo com os objetivos do município, isso inclui, por exemplo, a proporcionalidade entre as ocupações e a infraestrutura urbana.
- **Etnozoneamento** – Instrumento da Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas (PNGATI) – determinado pelo decreto federal nº 7.747/2012. Esse zoneamento é destinado a categorização de áreas de relevância ambiental, sociocultural e produtiva para os povos indígenas, através do etnomapeamento.

Egler et al (2003), considera o ZEE uma regulação social dos recursos naturais e ecológicos. Desse modo, o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) é entendido como um mecanismo de gestão da ocupação dos espaços e redirecionamento das atividades, com apontamento de estratégias de elaboração e execução de planos regionais priorizando o desenvolvimento sustentável (BECKER; EGLER, 1996). Desta forma, a finalidade do ZEE está em “dotar o governo das bases técnicas para a espacialização de políticas públicas visando a ordenação do território” (BECKER; EGLER, 1996 p.4). Além disso os autores destacam três vantagens desse zoneamento:

- 1) **Instrumento Técnico:** Fornece informação territorial necessária ao planejamento de uma ocupação racional e uso sustentável dos recursos naturais, através de um banco de dados geográfico e classificação do território segundo suas potencialidades e vulnerabilidades.
- 2) **Instrumento Político:** Integra políticas públicas a uma base geográfica evitando o tratamento setorizado e aumentando a eficácia das decisões públicas. Além disso, acelera o tempo de execução, amplia a escala de abrangência das ações, aumentando a eficácia da intervenção pública na gestão do território.
- 3) **Instrumento de planejamento e gestão territorial sustentável:** Não é apenas um instrumento corretivo, é ativo e estimulador do desenvolvimento.

Sendo assim, os ZEE não são apenas uma delimitação de regiões estáticas com características específicas em mapas. Eles são um instrumento técnico-político de

planejamento e gestão territorial, responsáveis pela delimitação de áreas regulamentadoras de uso do solo, além da identificação de áreas potenciais e vulneráveis pautadas no desenvolvimento sustentável do uso do espaço.

A busca dessa sustentabilidade territorial deve ser pautada em um diagnóstico ambiental que agregue as visões de Sociedade e Natureza, compreendendo a paisagem como uma interação dinâmica do sistema natural com as formações socioeconômicas do espaço geográfico. Desta forma, as unidades territoriais básicas são fundamentais para a análise do ZEE, que contém atributos ambientais permitindo uma diferenciação das unidades vizinhas e ao mesmo tempo possuem vínculos dinâmicos que se articulam em redes com as unidades vizinhas. (Elger; Becker, 1996).

Egler e Becker (1996) pontuam que essas entidades geográficas devem ser contínuas no espaço, possíveis de serem cartografadas e terem uma classificação tipológica que permita o agrupamento em diferentes ordens de grandeza. Como unidades territoriais básicas, tem-se: bairros, municípios, estados, unidades de paisagens, bacia hidrográfica, entre outras.

A presente pesquisa trabalha com o termo Zoneamento Ambiental e não Zoneamento Ecológico e Econômico que por lei passa a valer pelo decreto federal nº 4.297/2002. Entende-se que esse último abrange variáveis socioeconômicas mais detalhadas como índices de produção industrial e produção agrícola na região. O zoneamento da presente pesquisa abrange o uso do solo de forma generalizada, não detalhando, por exemplo, os tipos de agricultura dentro da BHRT, o que é fundamental no processo de um ZEE proposto pela lei. Desta forma, a pesquisa foca principalmente no estado de conservação, quanto a densidade de ocupação, da vegetação de caatinga na região e quais áreas são prioritárias a recuperação seguindo critérios de favorabilidade. Com isso a pesquisa oferece subsídios para a tomada de decisões estratégicas quanto a ocupação, objetivando a atenuação dos processos de erosão e consequentemente assoreamento na região.

## **4. Área de Estudo**

### **4.1. Bacia do rio Taperoá**

As áreas semiáridas do nordeste brasileiro tornam-se protagonistas de discussões que vêm se renovando nas últimas décadas. O presente fato é atestado por uma reestruturação de ideias entorno da importância do bioma Caatinga e na busca de estratégias dentro de um Plano Nacional para a manutenção da região no que diz respeito a sociedade e natureza (Maciel e Pontes, 2015).

Maciel; Pontes (2015) apontam que o motivo desses debates está na fragilidade do ambiente do semiárido associada a capacidade de adaptação de sua população, inserida dentro de um “contexto nacional globalizado”. Como consequência estão as mudanças no sistema paisagístico, recriando identidades geográficas distintas, ou seja, espaços de singularidades naturais.

O bioma caatinga é constituído de um grande mosaico constituído de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas englobando os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e o norte de Minas Gerais (LEAL, et al., 2005). Abrangendo cerca de 735.000 km<sup>2</sup>, ou aproximadamente 11% do território nacional, é dividido em duas regiões, o Agreste e o Sertão.

Dentre suas características mais marcantes está o regime de chuvas que, segundo Prado (2003), possui uma precipitação média anual entorno de 240mm e 1.500mm, com a maior parte do território tendo chuvas menores que 750 mm chegando a totais abaixo de 500mm em algumas regiões. Esses valores são concentrados, em sua maioria, em três meses de chuvas, caracterizando longos períodos de seca. Segundo Prado (2003) e Leal et. al. (2005), a quantidade de meses é variável, aumentando da periferia ao centro. Outra característica do sistema de chuvas, está em sua irregularidade anual, resultando em grandes secas cíclicas (Krol et al., 2001). Essas características impactam diretamente na vida da população, que tem que criar alternativas para adaptar o dia-a-dia a essa realidade.

Como alternativa a essas condições de seca no semiárido nordestino, em 2007 deu-se início às obras de transposição do rio São Francisco. Considerado um dos mais importantes rios em território nacional, sua transposição consiste no desvio de 1% a 3% de suas águas para que no período de estiagem abasteça rios e açudes. O projeto então tem como objetivo a construção em dois eixos de 700km<sup>2</sup> de canais para desviar volume do rio. O eixo norte irá captar as águas em Cabrobó (PE) e encaminhar as águas ao sertão de Pernambuco, Paraíba,

Ceará e Rio Grande do Norte. Já o eixo leste, entrou em funcionamento em abril de 2017 e capta as águas em Floresta (PE) e beneficia regiões de Pernambuco e Paraíba.

Nesse contexto a unidade geográfica escolhida para o trabalho é a BHRT (Figura 5), localizada no interior do estado da Paraíba, na região semiárida, mais precisamente entre as coordenadas geográficas 35°00'00'' e 37°15'00'' de longitude Oeste e 6°50'00' e 7°35'00'' de latitude Sul.

A bacia está integralmente inserida dentro do Bioma da Caatinga e engloba 29 municípios totalizando uma área de aproximadamente 5.882 km<sup>2</sup>, onde 4 municípios estão totalmente e 21 parcialmente inseridos em seu limite. Os municípios de São João do Cariri e Taperoá apesar de estarem parcialmente inseridos, devido a sua extensão territorial, ocupam 19% da área da bacia. Já outros municípios, localizados nos divisores de água ocupam menos de 1% do território da bacia, são eles: Areia de Baraúnas, Barra de Santa Rosa, Boqueirão, Campina Grande, Cubati, Salgadinho, São Domingos do Cariri, São Vicente do Seridó, Sumaré e Teixeira (Tabela 2).

O rio principal é o que dá nome a bacia, Taperoá, de regime intermitente, com nascente na Serra do Teixeira desaguando no rio Paraíba. Sendo seu principal afluente esse rio é considerado de grande importância estratégica para a gestão de recursos hídricos no Estado da Paraíba. Concluído em 1956, o açude abastece 8 municípios da mesorregião da Borborema e 6 do Agreste Paraibano, incluindo a segunda maior cidade do estado Campina Grande, através das adutoras do Cariri e do Boqueirão. (ALMEIDA, 2012). Tendo capacidade inicial prevista para 534.680.00 m<sup>3</sup> de água, esse reservatório vem sofrendo um grave processo de assoreamento em virtude das erosões do solo causadas pelos desmatamentos na região. Britto e Vianna (2006) alertam para a diminuição de sua capacidade máxima que passa a ser de 411.686.287 m<sup>3</sup> em 2004. É importante destacar também que os rios da BHRT abastecem 11 reservatórios distribuídos ao longo de toda a bacia

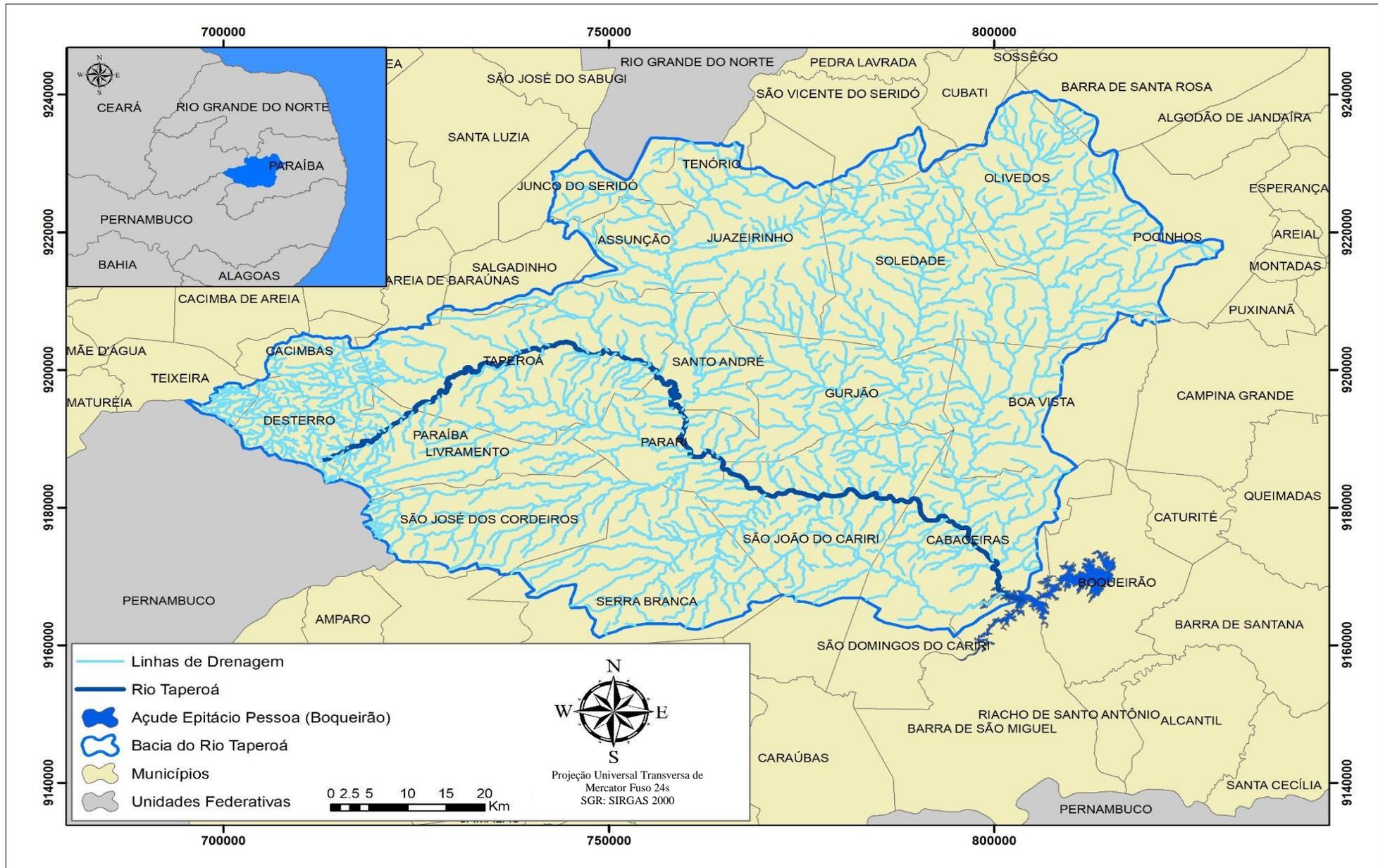


Figura 5: Bacia Hidrográfica do rio Taperoá

Tabela 2: Área de abrangência dos municípios componentes da bacia do rio Taperoá.

<b>Municípios</b>	<b>Área da Bacia (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem da Bacia</b>
Areia de Baraúnas	3,53	0,06%
Assunção	118,1	2,01%
Barra de Santa Rosa	24,17	0,41%
Boa Vista	270,86	4,60%
Cabaceiras	371,61	6,32%
Cacimbas	69,67	1,18%
Campina Grande	1,36	0,02%
Cubati	1,15	0,02%
Desterro	177,6	3,02%
Gurjão	340,51	5,79%
Juazeirinho	395,19	6,72%
Junco de Seridó	95,25	1,62%
Livramento	270,45	4,60%
Olivedos	311,48	5,29%
Parari	207,69	3,53%
Pocinhos	312,82	5,32%
Salgadinho	29,33	0,50%
Santo André	197,71	3,36%
São Domingos do Cariri	57,7	0,98%
São Vicente do Seridó	52,67	0,90%
São João do Cariri	495,32	8,42%
São José dos Cordeiros	365,14	6,21%
Serra Branca	416,37	7,08%
Soledade	559,78	9,52%
Sumaré	0,52	0,01%
Taperoá	624,34	10,61%
Teixeira	30,04	0,51%
Tenório	82,31	1,40%
Total	5882,67	100%

Almeida (2012) destaca que apesar do grau de importância hídrica dessa bacia, ela vem sendo protagonista de uma série de problemas ambientais como desmatamento, poluição atmosférica, hídrica e do solo, erosão, escassez de recursos naturais na região, levando a diversos problemas sociais, e ausência de políticas públicas que visam a mitigação desses problemas. A autora em seu trabalho destaca três pontos-chaves de conflito na BHRT: 1) a

conservação dos recursos naturais, 2) a subsistência da população pobre, residente na bacia e 3) o crescimento socioeconômico.

É possível afirmar que grande parte desses conflitos, advém do histórico de ocupação na região, onde anteriormente ao processo de colonização, a região era ocupada pelas tribos indígenas Cariris e os Tarairiús (ALMEIDA, 2012). Ainda de acordo com a autora a relação tribos e natureza retirando apenas o necessário, pautada na subsistência e migrando quando as condições naturais não favoreciam, é possível deduzir um baixo índice de degradação ambiental comparado aos processos posteriores.

Com a sedentarização dos colonos portugueses no litoral paraibano em 1585, estabeleceu-se a produção de açúcar na Zona da Mata. Nesse momento, as primeiras de cabeças de gado foram trazidas ao Brasil para auxiliar a produção de açúcar. Com o avanço dos engenhos açucareiros, alavancados pelos lucros, ocorreu um desvinculo com a criação dos rebanhos, sendo esses empurrados para o interior da Paraíba onde encontra-se a BHRT. Essa expansão para o interior teve destaque no século XVII junto a concessão das sesmarias. Nesse momento o Cariri, Agreste e parte do Sertão foram ocupados e colonizados, de leste a oeste, tendo como áreas prioritárias as margens do rio Paraíba e afluentes (ALMEIDA, 2012). Almeida (2012) destaca ainda que esse momento foi marcado por intensos conflitos entre o colonizador branco e as tribos indígenas.

O modo de viver dividiu a população em dois agrupamentos, criadores e agricultores, acentuando-se a diferença entre ambos pelos usos e costumes, resultantes do meio. Assim, a expressão – Sertão – ficou restrita à zona onde era exercida em grande escala a indústria pecuária (JÓFFILY, 193, p.13).

Como destacado, inicialmente a motivação econômica para ocupação do Sertão foi a pecuária bovina, que tinha como objetivo prover de carne e animais de tiro os engenhos do litoral, utilizados para transportar açúcar, lenha e cana. Apesar da força motriz da ocupação ser a pecuária bovina, Souza (2008, p.59) ressalta que “os ovinos e principalmente os caprinos, por sua vez, também pastavam nessas áreas”. Assim, o Sertão foi sendo povoado de forma temporalmente contínua e espacialmente dispersa. A pecuária não era usada apenas como fonte de renda, mas também, como meio de subsistência alimentar (carne e leite) e como matéria prima (couro) para uma série de bens e utensílios usados pelo sertanejo (vestuário, calçado, arreio e utensílios domésticos) (MOREIRA; TARGINO, 1997).

Apesar das limitações naturais da região semiárida e devido aos custos elevados da compra de mantimentos provenientes do Brejo, desenvolveu-se concomitante à pecuária o cultivo do algodão e da agricultura de subsistência (feijão, milho, mandioca) principalmente

nas várzeas dos rios que mesmo no período de estiagem apresentavam-se favoráveis a esta atividade.

Com o exposto, observa-se que as principais formas de uso da terra no interior da Paraíba até meados do século XX foram o pasto para o gado, a agricultura de subsistência e a cultura do algodão. A respeito desta assertiva Abreu (1982, p.46) informa que: “em geral, e nas zonas de vegetação xerófila, plantam-se cereais e algodão e pastagem para o gado. Moreira; Targino (1997, p.77) também destacam que “com a consolidação da cotonicultura no Sertão, estabelece-se a combinação gado-algodão-policultura, trinômio, marco da organização do espaço agrário sertanejo paraibano até a segunda metade do século XX”.

Já no que se refere as questões climáticas na BHRT, de acordo com a classificação de Köppen há o predomínio do clima tipo Bsh: semiárido quente. Com uma amplitude de 200mm/a a 600mm/a, e segundo a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA (2007), as temperaturas raramente são inferiores a 24°C e sua estação seca pode atingir 11 meses. O mapa representado na Figura 6 apresenta as médias pluviométricas do estado da Paraíba, e nele pode-se observar que ao interior do estado, onde encontra-se a BHRT, apresenta regiões com médias de 200mm/a a 600mm/a de chuvas.

Dentro desse contexto, o Ministério da Integração Nacional com a finalidade de definição de políticas de combate à miséria relacionada a seca nas regiões nordestinas, conceitua semiárido como regiões que apresentem uma média anual inferior a 800mm e índice de aridez de até 0,5 e risco de seca maior que 60% (DUARTE, 2008). Essa variação pluviométrica com estações secas extensas, impacta o armazenamento de água e, consequentemente, as atividades causando impacto direto nas condições socioeconômicas na região. A figura 7 apresenta a capacidade de máxima dos reservatórios por bacia hidrográfica no Estado da Paraíba e a capacidade atual na data de 04/04/2017. Devido ao grande período de secas na região, os reservatórios estavam atuando bem abaixo de sua capacidade com destaque para os reservatórios da Bacia do Taperoá tendo apenas 5,5% de sua capacidade.

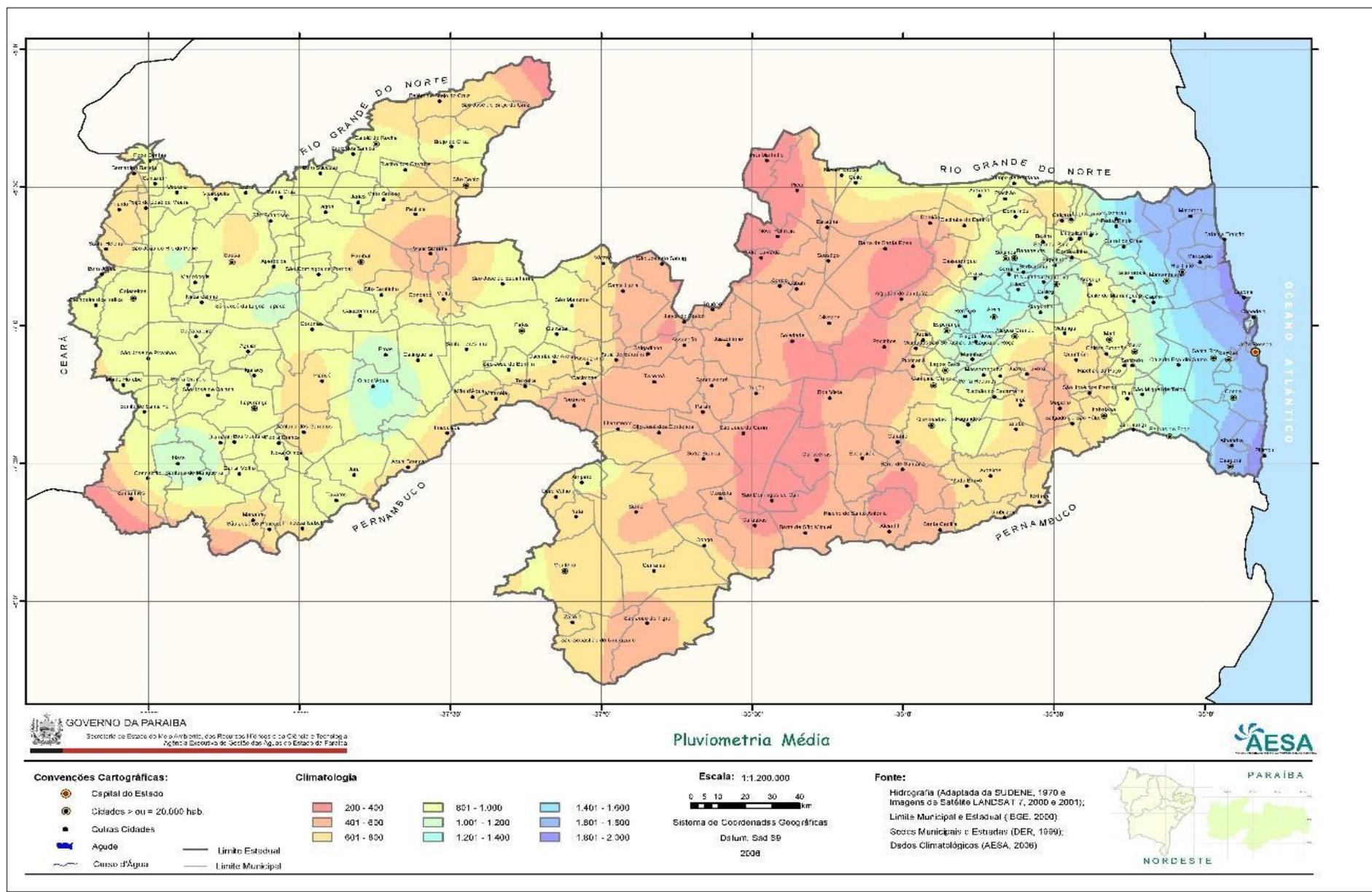


Figura 6: Pluviometria Média do estado da Paraíba (Fonte: AESA)

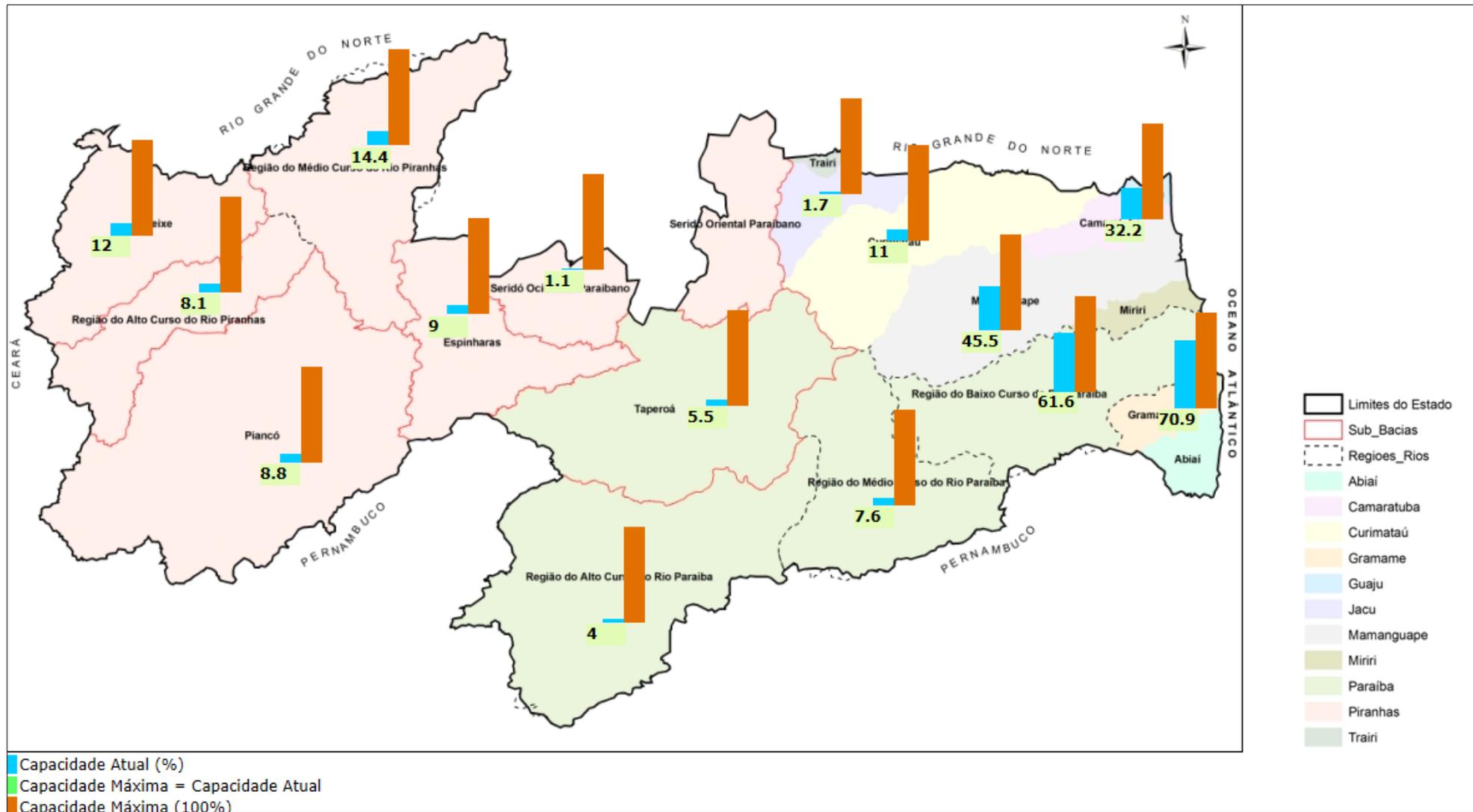


Figura 7: Nível dos reservatórios no estado da Paraíba. (Fonte: AESA)

Quanto a geomorfologia, a BHRT encontra-se no planalto da Borborema, apresentando vales estreitos dissecados. Além disso, apresenta duas unidades morfológicas: a primeira representada por relevo suave ondulado a montanhoso e, a segunda, referente aos divisores de águas representados por relevo ondulado a montanhoso (Xavier, et.al. 2013). Quanto a litologia da área é representada por rochas magmáticas, com granitos e presentes pontuais de basalto, e metamórficas com gnaisses, filitos, xistos e migmatitos.

A variedade paisagística destaca-se na região “com a presença de batólitos, inselbers e diques associados ao derramamento de magma ocorrido no período Neoproterozóico além da ocorrência de *pillow* lavas na Bacia Sedimentar de Boa Vista, nos depósitos bentoníticos (GEOPARQUE CARIRI, s.d). Além disso, a atuação de agentes intempéricos levou a formação de diques em forma de muralhas além de boulders na região, a exemplo do Lajedo Pai Mateus (Figura 8), pelo esculpimento das rochas (MENESES E NASCIMENTO, 2014b) Além disso cabe destaque também o grande potencial paleontológico e arqueológico da região, com artes rupestres na forma de gravuras (itacoatiaras), pinturas em rochas e a descoberta de registros fósseis de animais da megafauna (LIMA; MENESES, 2012).



Figura 8: Boulders no Lajedo Pai Mateus. 28/09/2018

A variedade de geoformas e processos associados expressam uma evolução singular da superfície terrestre da BHRT, fazendo com que a essa tenha então um valor científico-educacional, histórico-cultural, estético e/ou econômico –social significativo, que são características fundamentais para Reynard e Panizza (2005) caracterizarem um patrimônio geológico. Desta forma, a preservação desses locais é fundamental do ponto de vista científico, cultural e ambiental, e é dentro desse raciocínio que a Área de Proteção Ambiental do Cariri foi criada pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado da Paraíba mediante o Decreto Estadual 25.083 de 8 de junho de 2004, baseando sua delimitação na carta topográfica Boqueirão (folha SB.24-Z-D-III) na escala de 1:100.000 da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1972).

A APA tem como área 18.560 hectares e abrange os municípios de Boa Vista, Cabaceiras e São João do Cariri (Figura 9). A criação da APA do Cariri segundo Machado Filho (2011, p. 13), se deve ao fato “desta área apresentar turismo ecológico devido à beleza cênica dos lajedos e matacões espalhados por toda sua extensão”. Lages et. al. (2013) complementam afirmando que essas características paisagísticas e geológicas são encontradas apenas em algumas regiões do mundo como Davil’s Marbles na Austrália, Erongo Mountains na Namíbia e a região de Hoggar na Argélia.

Assim sendo, a necessidade de preservação dessa geodiversidade aliada a preocupação quanto a conservação de remanescentes florestais presentes na área, justificou a criação da APA na região. No entanto Ballen *et. al.* (2016) e Lima (2016) destacam a ineficiência governamental de gestão para a área e ainda uma ausência de estudos científicos de inventário e monitoramento para a conservação dos recursos naturais

Apesar da APA do Cariri ter como objetivo a preservação da biodiversidade e geodiversidade, a riqueza dessas diversidades na BHRT extrapola seus limites dando espaço então ao projeto de criação do Geoparque Cariri Paraibano. O parque ainda em fase de implementação tem sua proposta elaborada junto a Universidade Federal da Paraíba (Campus IV – Litoral Norte), o Serviço Geológico do Brasil, organizações sociais e comunidades locais dos municípios de Cabaceiras, Boqueirão, São João do Cariri e Boa Vista, que devem fazer parte da delimitação do geoparque (Figura 10). O projeto possui um site o <https://geoparquecariri.org.br/>, o qual já existe o mapeamento de alguns geosítios e divulgação de trabalhos publicados relacionados ao projeto

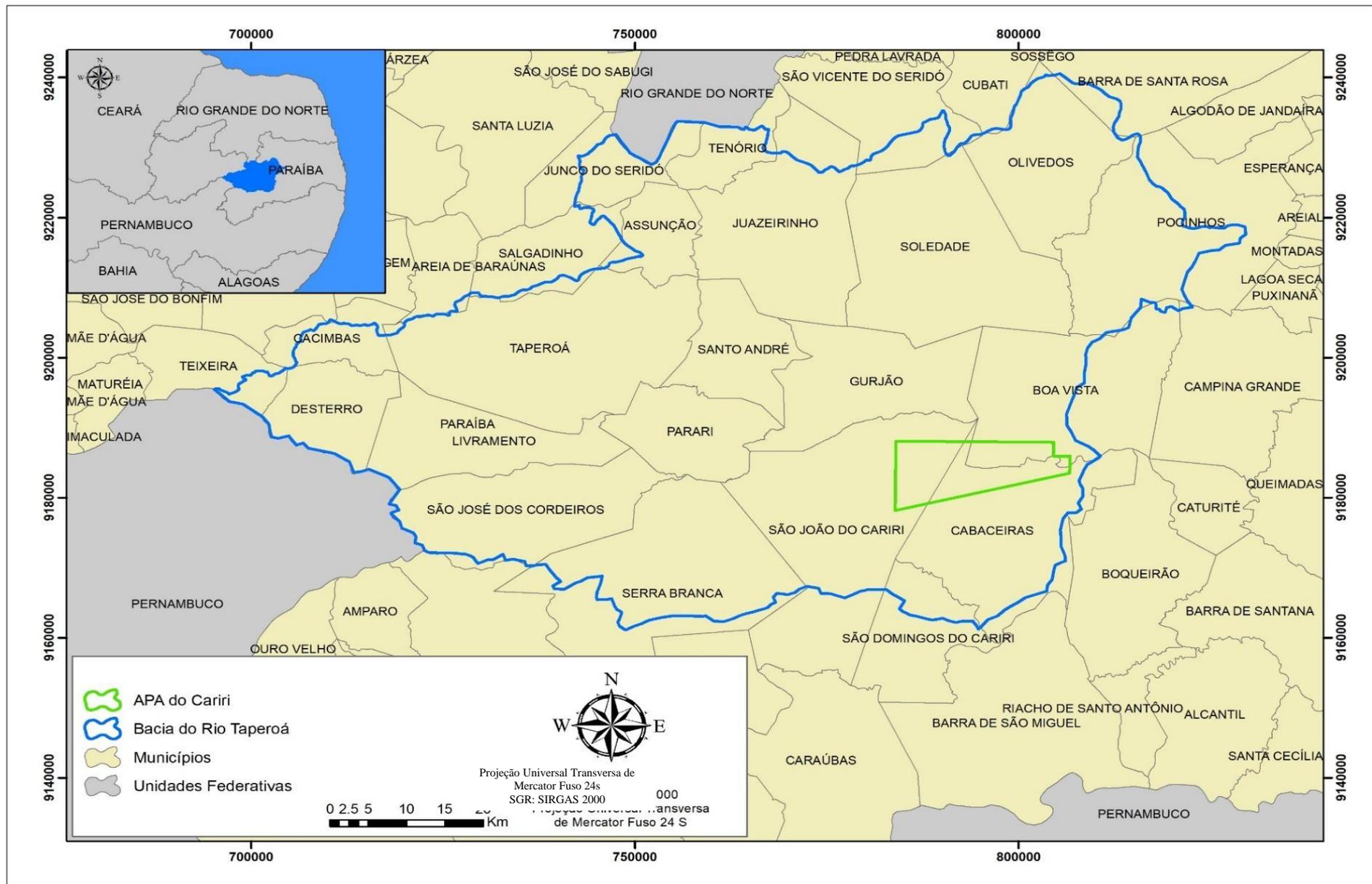


Figura 9: Mapa de Localização da APA Cariri

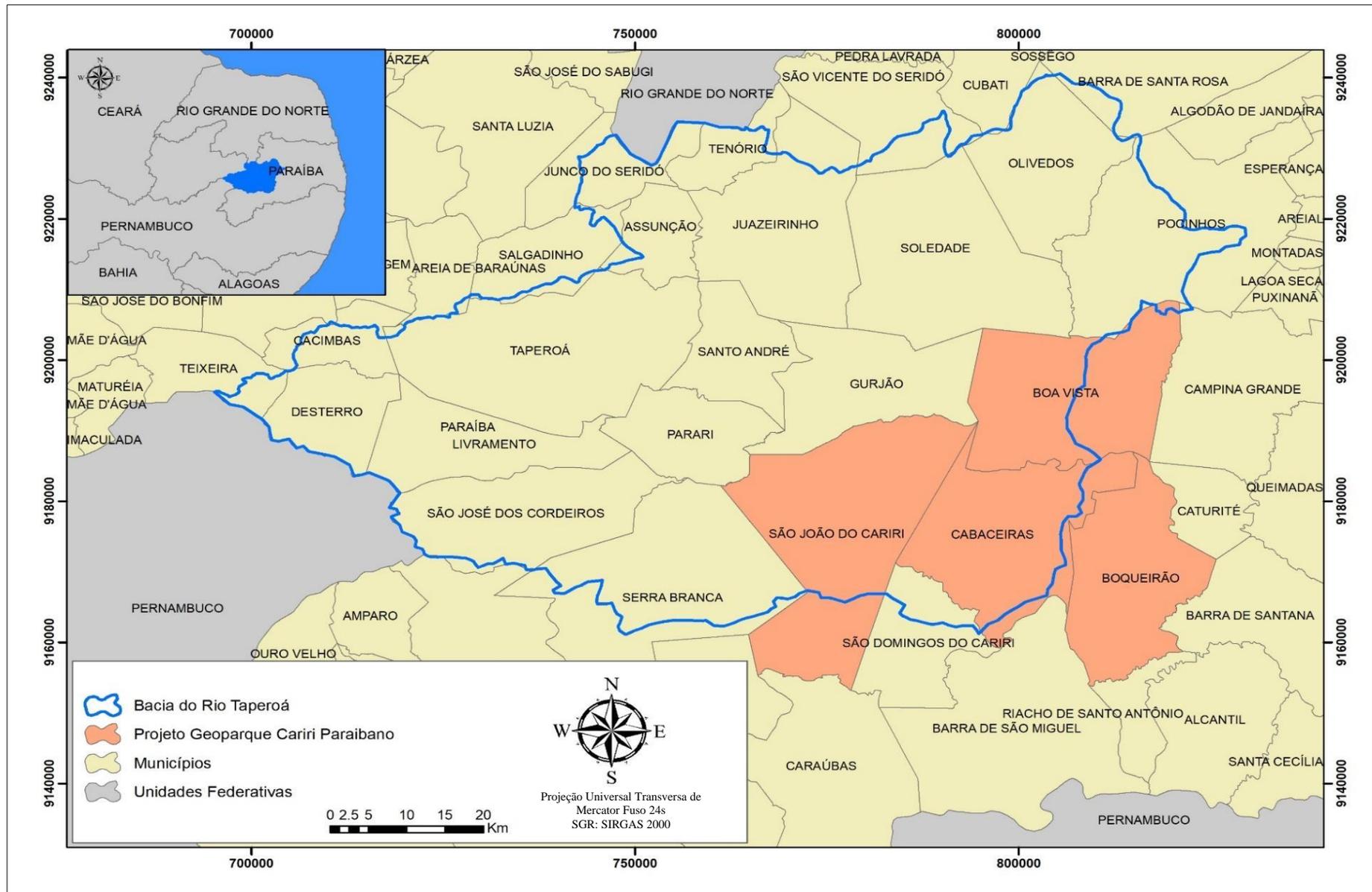


Figura 10: Mapa de localização do Geoparque do Cariri

## **5. Cobertura e uso do solo na bacia hidrográfica do rio Taperoá.**

O presente capítulo tem como objetivo gerar o uso da terra na bacia hidrográfica do rio Taperoá na escala 1:100.000, junto com uma discussão sobre tipos de uso e estado da vegetação na região. Nesse capítulo estará presente a metodologia de mapeamento e uma discussão sobre os estados da caatinga, sua fragmentação e os tipos de usos apresentados na BHRT.

A bacia está localizada no bioma Caatinga, que possui características únicas em sua vegetação em virtude da forte influência do regime de chuvas na região. Com isso, basta apenas poucos milímetros cúbicos de chuva para que a vegetação passe de um estado seco, com ausência total de folhas, para um estado no qual o verde ganha um grande destaque na paisagem. Cabe também ressaltar a importância das áreas de fundo de vale e mata ciliar dos rios e açudes, que atuam como retentores de umidade e, por isso, também apresentam uma dinâmica da vegetação diferenciada na região (Figura 11).

Ainda sobre a vegetação, LOEFGREN (1910) em suas observações divide as espécies xerófilas nordestinas em permanentes e periódicas. As primeiras são adaptadas as condições de umidade, ou seja, tropófitas. Essas, segundo o autor, são xerófitas nas épocas secas e mesófitos nas épocas chuvosas, são caracterizadas por árvores e arbustos de porte considerável. Já as segundas só se desenvolvem na presença de água, sendo exclusivamente mesófitos. Em geral são herbáceas, apresentando também sublenhosas. Uma das características dessas espécies é a velocidade de rebrotação referente a um regime de chuvas.



Figura 11: Vegetação de margem no rio Taperoá

Além disso, a caatinga apresenta, quanto a sua fisionomia e estrutura, uma grande heterogeneidade. Quanto a sua estrutura é bastante uniforme, apresentando espécies arbóreo-arbustivas e de cactáceas (RIZZINI, 1997). Segundo Rizzini (1997), Caatinga é definida como um complexo de vegetação decídua e xerófila constituída de vegetais lenhosos, cactáceas e bromeliáceas. Segundo o autor existem formas divergentes de subdivisão da caatinga, em que:

(...) as discrepâncias observadas entre os que melhor conhecem vão a ponto de rejeitar a palavra sertão, que os demais empregam e outro considerar caatinga e sertão equivalentes, declarando esse o uso popular, quanto os demais dão o segundo como subtipo da primeira. É fácil, porém verificar que há uma tendência ou direção estabelecida quanto ao sentido dessas palavras usuais. O que não é fácil é apresentar uma subdivisão lógica da caatinga que seja, concomitantemente, aderente aos fatos observados in natura, visto estes variarem amplamente na magna área que ela reveste. (RIZZINI, 1997. P.522)

O autor ainda subdivide a caatinga em duas faixas de vegetação que originam tipos distintos de paisagem, apresentando a umidade como base: o agreste, mais próximo do mar, apresenta maior grau de umidade, tendo solos mais profundos e vegetação mais alta e densa;

o sertão, seco com solos rasos, apresentando vegetação mais rasa e pobre, ocupa grandes extensões no interior nordestino (RIZZINI, 1997).

Desta forma, constata-se que a divisão da fitofisionomia da caatinga está distante de ser simples. Nos trabalhos de Lima (1957), Duque (1964), Azevedo (1966), Rizzini (1997) é possível encontrar divergências em suas classificações, porém, a lógica relacionada a classificação permanece a mesma. Sendo assim, o tamanho, densidade e a umidade são fundamentais no processo de classificação da vegetação. Dentre as classificações utilizadas está a do Manual de Técnico de Vegetação do IBGE, que é umas das referências de destaque na definição da vegetação dos biomas brasileiros. Observando essas três classificações é possível encontrar semelhanças em algumas classes e complementos em relação a outras.

Cabe ainda ressaltar que a dinâmica da caatinga, quanto à sazonalidade e às áreas úmidas, precisa ser levada em consideração na modelagem do conhecimento. Na Figura 12 é possível observar o comportamento da caatinga através do *Normalized Difference Vegetation index* (Índice de Vegetação de Diferença Normalizado – NDVI) de 30 amostras das diferentes classes de caatinga obtidas das imagens MODIS no decorrer de 2015 na BHRT.

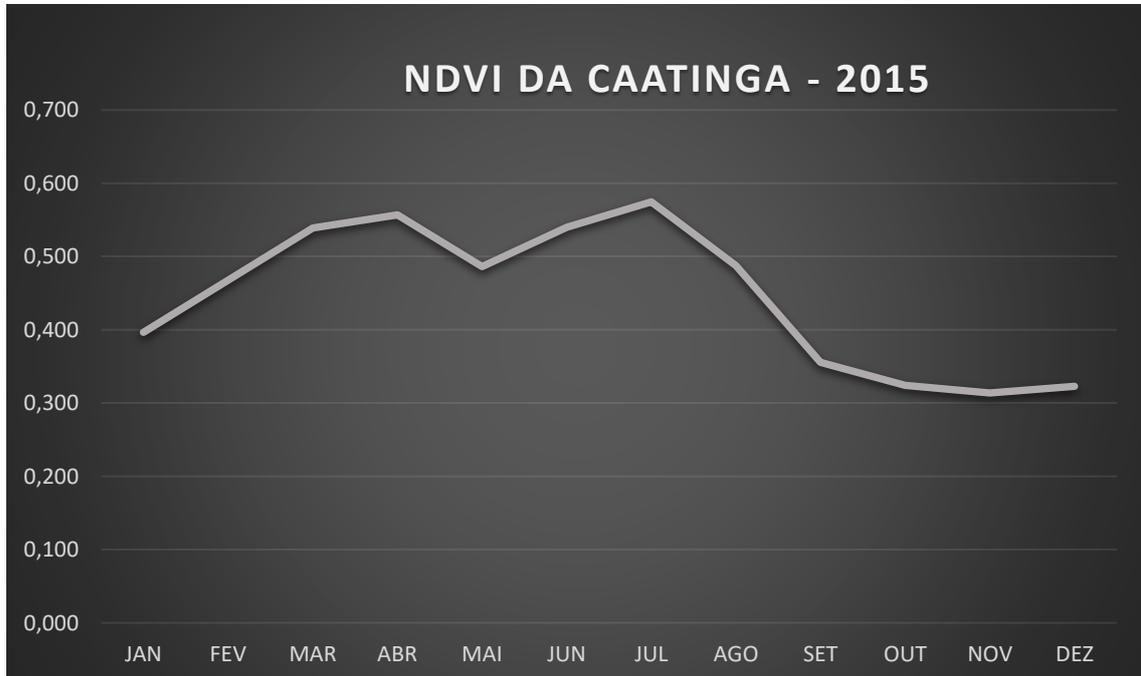


Figura 12: NDVI da vegetação de caatinga no decorrer de 2015.

Na figura é possível observar a influência da sazonalidade no comportamento da vegetação. Seus valores representam maior ou menor quantidade de folhas na região,

indicando, com isso, uma vegetação verde ou ressecada. Os valores apresentam seu ápice entre Março/Abril e Julho/Agosto, enquanto os valores mais baixos encontram-se de Outubro a Dezembro. Por isso, além da escolha de classes, deve-se levar em conta a questão sazonal no processo de qualificação, em que a vegetação da caatinga nem sempre vai ter uma reposta espectral semelhante nas épocas secas e úmidas ao longo do ano.

Cabe destacar que o objetivo do mapeamento não é diferenciar os tipos de caatinga, e sim, analisar seus remanescentes junto aos outros tipos de uso da terra. Deste modo, a diferença dos subtipos de caatinga não está sendo considerada, pois, o presente mapeamento foi construído para atender a escala cartográfica 1:100.000.

### **5.1. Materiais e Métodos**

A metodologia da classificação de cobertura e uso da terra está dividida em três etapas: 1) Materiais e Pré-Processamento, que apresenta a escolha dos sensores, o preparo das imagens e a elaboração de índices espectrais; 2) Classes de Mapeamento: definição e caracterização das classes de cobertura e uso da terra dentro da BHRT; 3) Classificação, com a criação do mapa temático, seguindo a técnica de orientação baseada em objeto.

#### **5.1.1 – Materiais e Pré-processamento**

É inegável a importância do sensoriamento remoto e seus avanços tecnológicos nas últimas décadas, com sensores e métodos cada vez mais específicos a determinadas demandas. Nesse contexto, está inserida a missão SENTINEL-2, com imagens em múltiplas resoluções espectral e alta resolução espacial para apoiar os estudos de monitoramentos Copernicus<sup>2</sup>. O SENTINEL - 2 *Multispectral Instrument* (MSI) possui 13 bandas espectrais, dentre elas 4 bandas com resolução espacial de 10 metros, 6 bandas de 20 metros e 3 bandas com 60 metros. Os dados adquiridos, a cobertura da missão e a alta frequência de revisita permitem a geração de geoinformação em escalas locais, regionais, nacionais e globais. A tabela 3 sintetiza as bandas por cor, comprimento de onda central e resolução.

---

<sup>2</sup> A Missão Copernicus possui um conjunto de satélites dedicados ao monitoramento da atmosfera, marinha, uso do solo, mudanças climáticas, desastres naturais e serviços de segurança. Iniciado com o lançamento do Satélite Sentinel -1A em 2014 a União Europeia então inicia um processo para colocar uma constelação com mais de 20 satélites até 2030 para atender a essas demandas.

Tabela 3: Bandas das imagens do satélite SENTINEL 2B.

NÚMERO DA BANDA	COR	COMPRIMENTO DE ONDA CENTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL(m)
Banda 1	Aerossol	443	60
Banda 2	Azul	490	10
Banda 3	Verde	560	10
Banda 4	Vermelho	665	10
Banda 5	Red Edge 1	705	20
Banda 6	Red Edge 2	740	20
Banda 7	Red Edge 3	783	20
Banda 8	Infravermelho Próximo (NIR)	842	10
Banda 8A	Red Edge 4	865	20
Banda 9	Vapor D'água	940	60
Banda 10	Cirrus	1375	60
Banda 11	SWIR 1	1610	20
Banda 12	SWIR 2	2190	20

Desse modo, ao discorrer sobre as disponibilidades de novos sensores imageadores e o consenso de que um pixel não é a melhor unidade espacial para expressar os elementos da paisagem, contribuíram para esses avanços. As técnicas de classificação imagens de satélite baseadas em objeto (GEOBIA - *Geographic Object-Based Image Analysis*) buscam matematizar o raciocínio do espaço geográfico através de padrões referentes a informação espectral dos alvos (cor), textura, tamanho, forma e informações de contexto espacial. Além disso, esses sistemas possibilitam utilizar técnicas através de assinatura espectral dos alvos (classes de uso do solo) para aplicação de modelos booleanos e/ou fuzzy (Cruz *et. al.*, 2007).

A classificação de imagens baseada em objetos inicia seu processo com a segmentação de uma ou mais imagens em objetos de tamanhos e formas variadas. Essa etapa é fundamental para a delimitação dos elementos da paisagem e na definição das escalas de mapeamento, podendo ser feitas em vários níveis hierárquicos. Os algoritmos de segmentação em geral são baseados nas propriedades de descontinuidade e semelhança dos valores de nível de cinza dos pixels das imagens (Gonzalez e Wintz, 1987; Haralick e Shapiro, 1985). Os objetos então criados nesse processo, através de limiares de valores que

definem forma, tamanho e quantidade de pixel agrupado. Esses objetos serão relacionados a classes de uso do solo, como áreas: de caatinga, agropasto, mineração, espelhos d'água, entre outras. Com os objetos já criados são selecionados descritores através da modelagem do conhecimento, ou seja, são selecionadas expressões matemáticas que simulem a distribuição espacial das classes estipuladas no mapeamento

Para atender as demandas da classificação, optou-se por utilizar as imagens Sentinel 2B, considerando duas datas distintas, uma no período seco e uma em período úmido na região. A escolha teve como objetivo identificar o máximo de cobertura de caatinga densa (Preservada), além de corpos hídricos, que também sofrem variação nesses dois períodos.

As imagens e datas escolhidas foram 20/11/2017 até 28/12/2017 para o período seco e T24MXT de 21/04/2018 e T24MYS, T24MYT, T24MZS e T24MZT de 21/04/2018 até 27/03/2018, para o período úmido. Também foi feito o *download* da imagem Landsat 8 de 12/08/2016 para identificação de regiões mais quentes e, conseqüentemente, mais expostas e sujeitas a desertificação. Todas as imagens foram baixadas do site EarthExplorer mantido pela United States Geological Survey – USGS, Serviço Geológico dos Estados Unidos.

Após essa etapa, as imagens passaram por um pré-processamento que envolveu a correção atmosférica através da técnica pixel escuro (DOS) no software Quantum GIS 3.4 e em seguida sofreram o processo de remostarem do pixel para 10 metros, equalização, mosaico e recorte da bacia no software ArcGis 10.4. (Figura 13 e 14). Já a imagem Termal da LandSat 8 passou por um processo de transformação para a conversão de Níveis de Cinza em Graus Celsius. (Figura 15)



Figura 13: Mosaico das imagens Sentinel 2, período seco. 20/11/2017 até 28/12/2017

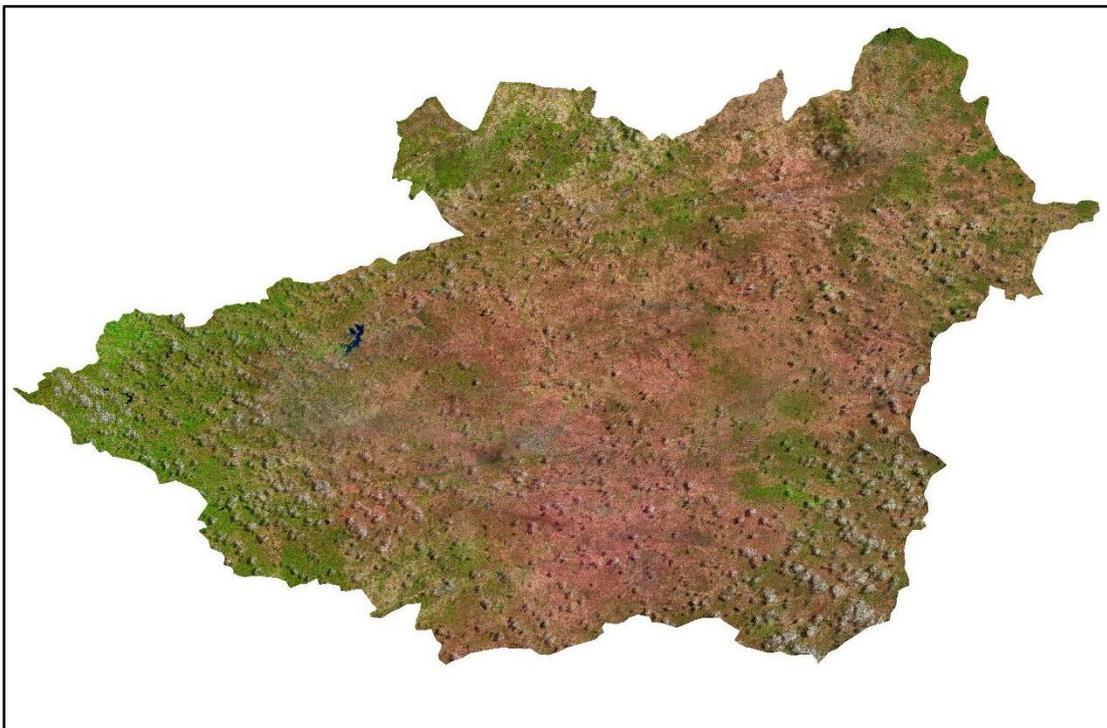


Figura 14: Imagens Sentinel 2, período úmido. 21/04/2008 até 27/03/2018

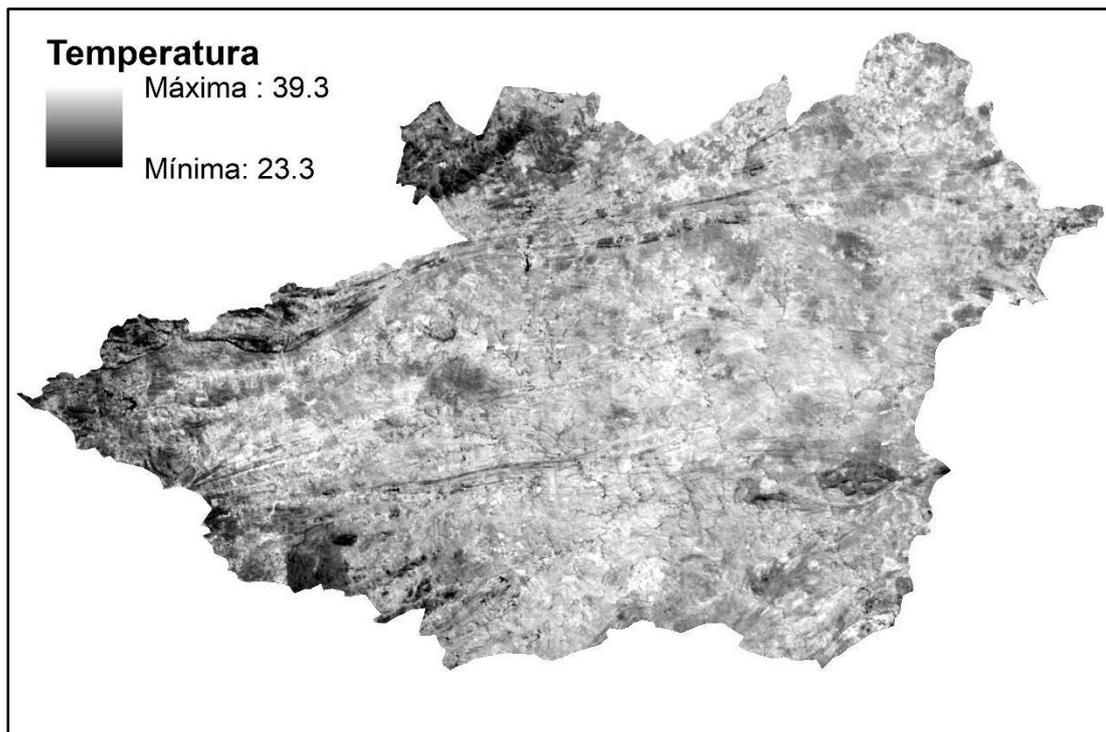


Figura 15: Imagem Termal da bacia já processada. Tirs1 Banda 10.

Após esses processos iniciais foram elaborados os índices espectrais, tanto na imagem de período úmido, quanto na imagem de período seco, utilizando Arctoolbox do ArcGis 10.4 para fazer a matemática de bandas espectrais. Esses índices auxiliaram no processo de classificação que são apresentados na Tabela 4. Além disso, foram geradas as imagens de principais componentes (PCA) para os dois períodos através do ENVI 5.0. Esse método estatístico tem como objetivo a análise e redução dos dados eliminando sobreposições, deixando nas imagens somente as feições mais representativas.

Para isso foram utilizadas todas as bandas espectrais e geradas duas imagens, uma para cada período com as feições mais representativas de todas as bandas espectrais. Por fim, o fluxograma (Figura 16) sintetiza o pré-processamento dos materiais a serem utilizados na classificação e seleção de classes temáticas.

Tabela 4: Índices espectrais gerados.

ÍNDICE	FÓRMULA	DESCRIÇÃO
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$NDVI = \frac{Banda\ 8 - Banda\ 4}{Banda\ 8 + Banda\ 4}$	Analisar a condição da vegetação, através das bandas na faixa de cor no vermelho e infravermelho (NIR).
NDWI (Normalized Difference Water Index)	$NDWI = \frac{Banda\ 3 - Banda\ 8}{Banda\ 3 + Banda\ 8}$	Identificar corpos d'água através das bandas na faixa de cor no verde e infravermelho (NIR).
SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$SAVI = \frac{1,5(Banda\ 8 - Banda\ 4)}{(Banda\ 8 + Banda\ 4 + 0,5)}$	Analisar a condição da vegetação, ajustada de acordo com o solo.
MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)	$MNDWI = \frac{Banda\ 3 - Banda\ 11}{Banda\ 3 + Banda\ 11}$	Mesmo objetivo do NDWI, com modificação para a banda SWIR 11
NDBI (Normalized Difference Built-up Index)	$NDBI = \frac{Banda\ 11 - Banda\ 8}{Banda\ 11 + Banda\ 8}$	Usado principalmente para identificar construções, através da faixa de banda NIR e SWIR 1.
TGSI - Top Soil Grain Size Index - TGSI	$TGSI = \frac{Banda\ 4 - Banda\ 3}{Banda\ 4 + Banda\ 2 + Banda\ 3}$	Detectar a composição da granulometria da camada superficial do solo e seus atributos físicos.

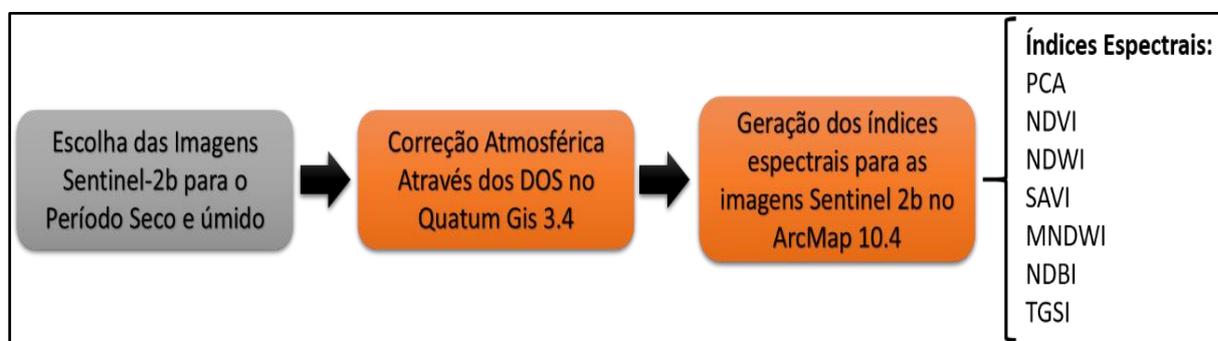


Figura 16: Fluxograma de Atividades

### 5.1.2. Classes de mapeamento

O processo de elaboração da legenda para a BHRT para a escala 1:100.000, possui um nível de complexidade, uma vez que a bacia possui diferentes estágios de conservação da caatinga, de atividades econômicas pontuais, além de áreas de interesse geológico. Deste modo, foram realizados dois trabalhos de campo na área para atender essa demanda.

O primeiro trabalho realizado logo ao iniciar a pesquisa, em abril de 2015, teve como objetivo a coleta de pontos, reconhecimento da área como um todo e a visita de pontos significativos da bacia, como o Lajedo Pai Matheus, dentre outros pontos de destaque. Já o segundo trabalho, realizado em 28 e 29 de agosto de 2018, já com um prévio mapeamento de cobertura e uso da terra, teve como objetivo o refinamento das classes de cobertura vegetal para a construção da legenda e a coleta de dados para validação.

Portanto, a primeira etapa na construção da legenda foi a ida a campo na BHRT já com um mapa de uso e cobertura simplificado para determinar as classes de interesse para mapeamento final. Assim, ao longo do trabalho foi possível a identificação de 11 classes fundamentais no mapeamento, que ao final da presente tese irá compor o Zoneamento Ambiental na região: As classes de mapeamento são: Caatinga Densa (CD), Caatinga Média-Densa (CMD), Caatinga Rarefeita (CR), Formação Plutão Bravo (FPB), Extração de Caulin (Mineração) (EC), Algaroba (Al), Agropasto (Ag), Infraestrutura Urbana (IU), Açudes (Ac).

Quanto a cobertura vegetal, a classe Caatinga Densa são as regiões que apresentam uma vegetação arbóreo-arbustiva. Sua densidade apresenta pouco ou nenhum espaço entre a vegetação (Figura 17 e 18). Nas imagens Sentinel 2, essas áreas apresentam uma tonalidade verde escura na maior parte dos casos. (Figura 19).



Figura 17: Presença de Caatinga Densa em áreas planas na BHRT. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018



Figura 18: Presença de Caatinga Densa na BHRT em áreas de relevo. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018

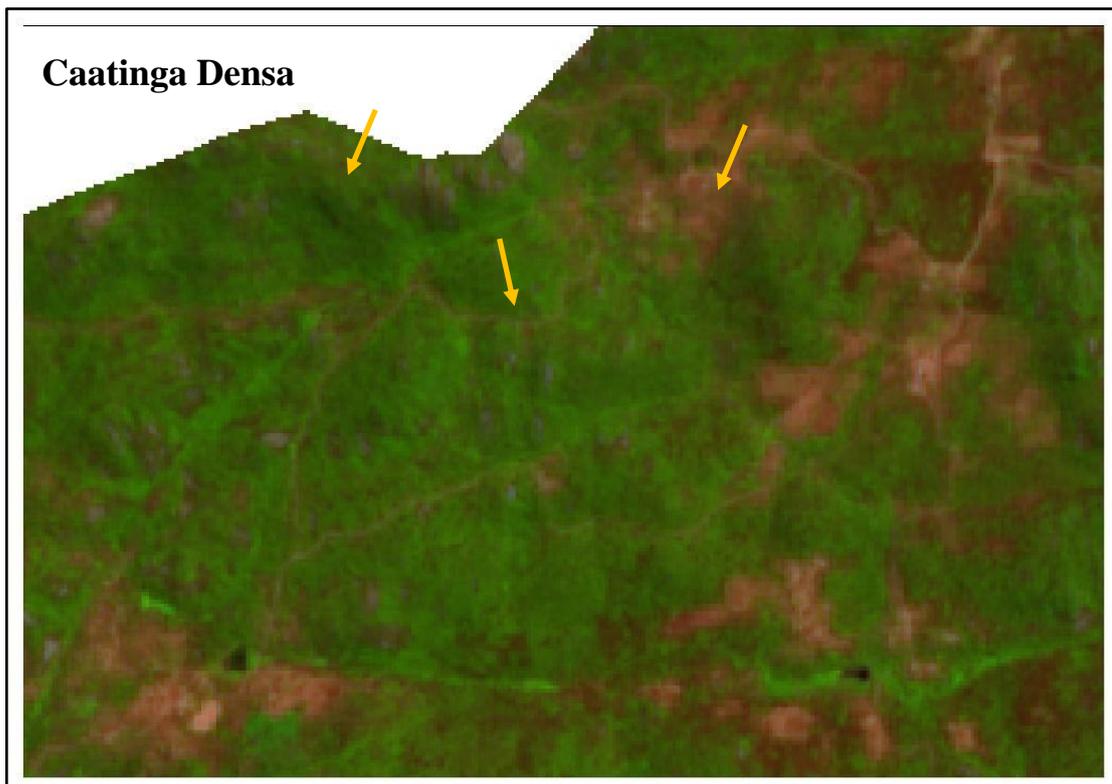


Figura 19: Caatinga Densa na Imagem Sentinel 2 em áreas de relevo. 28/09/2018

Já a Caatinga Média-Densa é predominantemente arbustiva e espaçada, sendo bastante seca quando não há chuvas. São áreas que apresentam resquícios de atividades econômicas do passado econômico da região e/ou servem ainda para pequenas atividades na região como extração de lenha e/ou pecuária (caprinos e ovinos). (Figura 20)

Essa vegetação é de difícil identificação nas imagens de sensoriamento remoto, pois, além de não apresentarem uma densidade em seus arbustos, ficam predominantemente secas em determinadas áreas. Essa resposta nas imagens causa confusão com a classe caatinga rarefeita, necessitando em sua diferenciação de índices espectrais.



Figura 20: Área de Caatinga Média- Densa na BHRT. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018

Por último dentro da legenda de caatinga para o mapeamento, tem-se da caatinga rarefeita, que são áreas com a presença de gramínea pouco arbustiva, com grande presença de solo exposto. São áreas onde a temperatura do solo é alta e sujeitas a um processo de desertificação. (Figura 21)



Figura 21: Caatinga Rarefeita. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018

Há ainda outra classe de cobertura vegetal presente na região, a Algaroba com a presença de pequenos cultivos. A planta Algaroba, introduzida na década de 40, é considerada uma espécie invasora na região, pois, é utilizada para a extração de madeira e no uso da pecuária. A espécie adaptou-se bem na região, sendo encontrada, predominantemente, nas margens de rios e açudes. Por se localizar em regiões em que ocorre a presença de água, é um padrão na região a concentração dessa espécie vegetal seguida de um pequeno cultivo agrícola. (Figura 22)

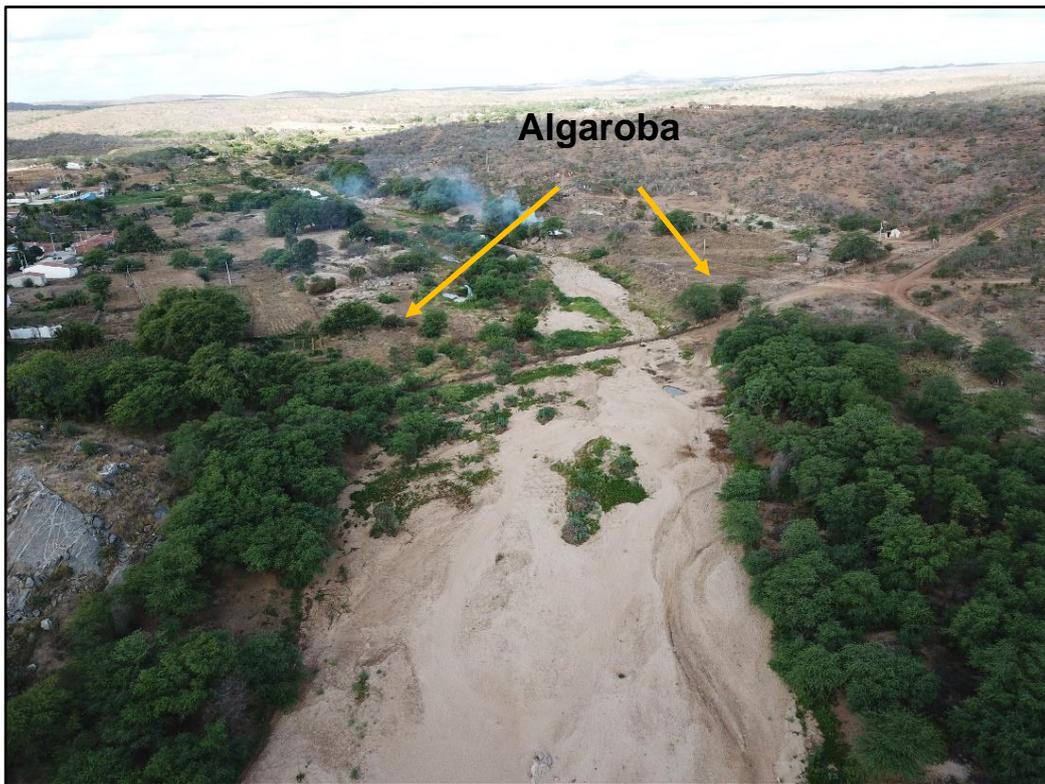


Figura 22: Algaroba com Pequenos Cultivos ao Logo do rio Taperoá. (Fonte: Arquivo Pessoal) 28/09/2018

Dentre os usos da bacia, ao norte possui a mineração, com a Extração de Caulin, no qual ocorre através de perfuração. Na região é possível observar uma caatinga de grande porte conservada, apesar da atividade na região (Figura 23). Seu padrão, nas imagens Sentinel 2, apresenta uma região cercada de vegetação com recortes ou pontos brancos, causados pela extração do minério. (Figura 24).



Figura 23: Extração de Caulin com Caatinga Densa no Entrono. (Fonte: Arquivo Pessoal)



Figura 24: Área de extração de caulin na imagem Sentinel 2. 28/09/2018

A classe Formação Plutão Bravo é uma área de interesse geológico na região, inclusive com a iniciativa para a formação de um geoparque. Sua região possui uma caatinga conservada entre os afloramentos rochosos. Na imagem Sentinel 2b dá para observar bem a definição da área (Figura 25). Ao lado da presente classe tem mineração bentonita que não foi contemplada no mapeamento devido a grande presença de nuvens além da escala de mapeamento.

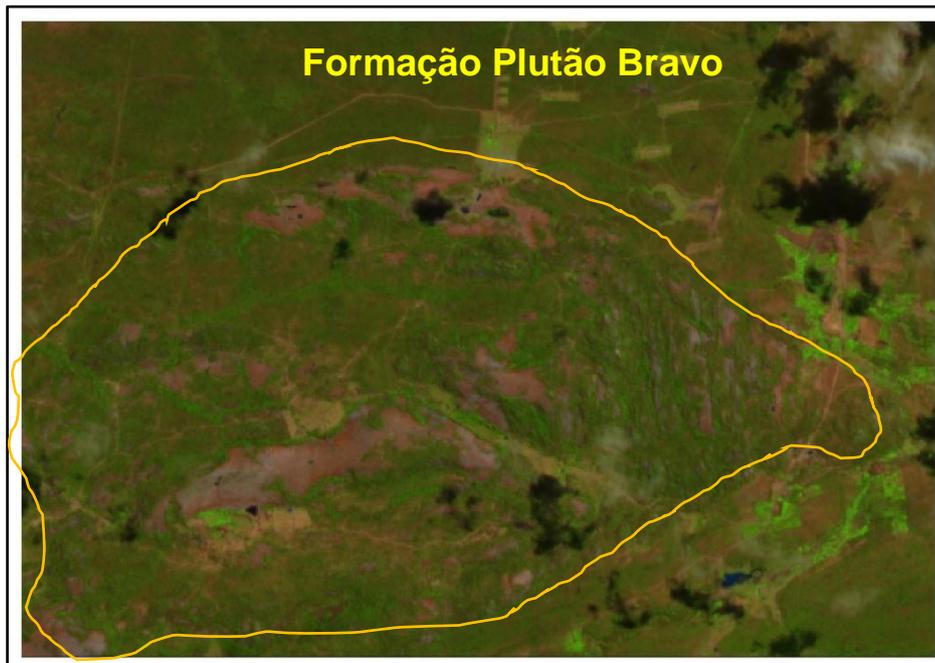


Figura 25: Formação plutão bravo na imagem Sentinel 2. 28/09/2018

A classe Infraestrutura Urbana é onde se enquadram as construções urbanas e vilarejos já consolidados na região (Figura 26).



Figura 26: Representação da Infraestrutura Urbana na imagem Sentinel 2. 28/09/2018

A classe Açudes é representada pela localização dos corpos d'água relacionado ao acúmulo de água, natural ou artificial na região (Figura 27).

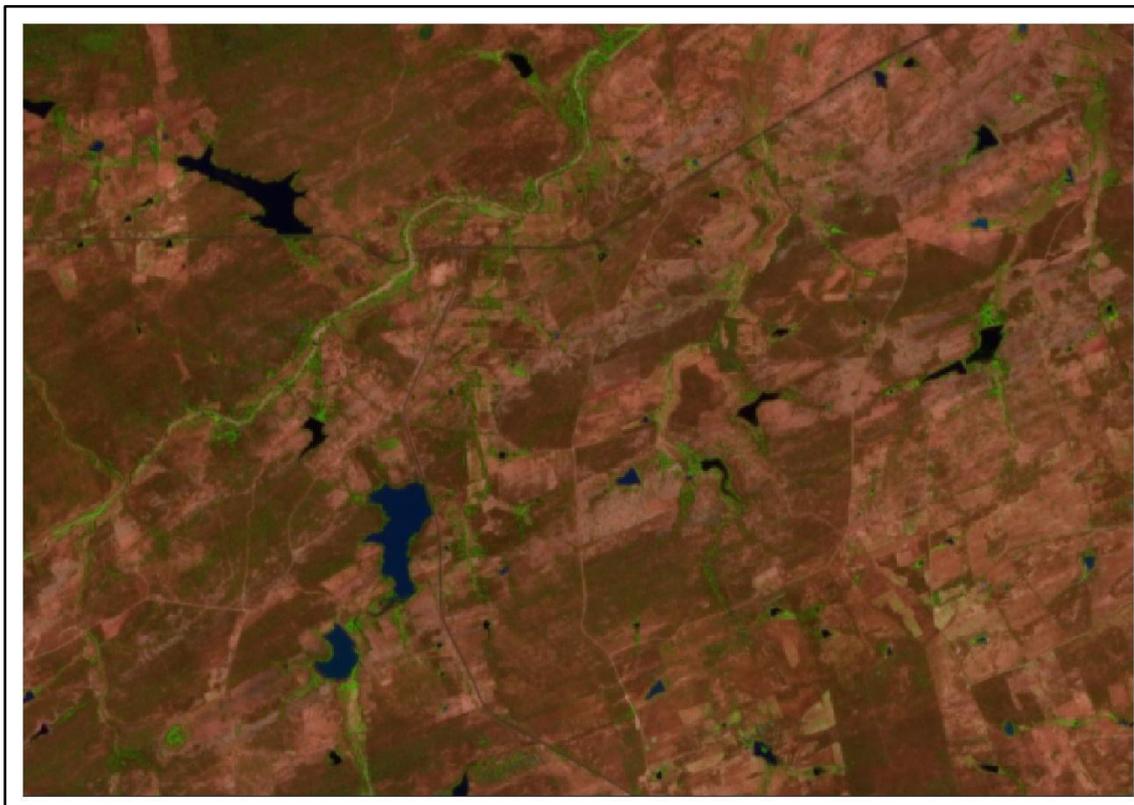


Figura 27: Área com a presença de açudes na BHRT.

### 5.1.3. Classificação

No processo de classificação foi utilizada a técnica de classificação baseada em objeto, num ambiente (*software Ecognition*) que possibilita a adoção de segmentação em diferentes níveis de escala, a utilização de descritores variados (tonalidade, textura, tamanho, vizinhança, etc.), disponibilizados ou construídos, além da hereditariedade entre níveis e/ou classes. Além disso, permite a modelagem *Fuzzy* sobre descritores espectrais, apoiada na seleção de áreas de treinamento (amostras). A análise *Fuzzy* fornece o grau de participação (pertinência) de um objeto para todas as classes definidas na legenda, cujos valores podem ser inseridos em novos contextos de classificação.

A modelagem GEOBIA, em testes já executados, demonstrou um grande potencial na diferenciação da tipologia vegetal. Em contrapartida, uma abordagem sazonal se mostrou necessária, uma vez que a caatinga apresenta alta dinâmica, variando em regiões secas e úmidas que não necessariamente dependem da sazonalidade local. Ou seja, a utilização de

indicadores de vegetação NDVI, NDWI, SAVI entre outros, fica prejudicada se não for considerado esse dinamismo inerente ao bioma.

A classificação se iniciou a partir da criação de um projeto contendo todas as bandas das imagens escolhidas (período seco e úmido), os descritores elaborados, o mapa geológico da região e as linhas de drenagem. Como etapas de classificação, o projeto foi dividido em 7 partes dentro da árvore de decisão do *software* para a segmentação e classificação dos objetos. A divisão segue também o ordenamento da classificação, ficando da seguinte forma: Açudes; Mineração de Caulin e Formação Plutão Bravo; Vegetação e Outros; Algaroba; Infraestrutura Urbana; Refino e Edições. (Figura 28)

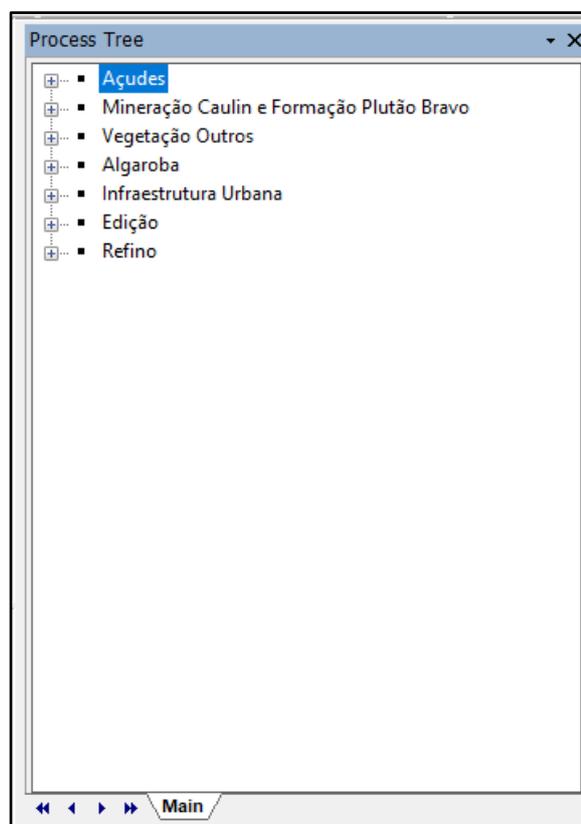


Figura 28:: Divisão das etapas de classificação na árvore de processos do econition.

A primeira etapa consistiu, inicialmente, na segmentação da imagem através da camada temática de hidrografia (Hidro), ou seja, a assimilação das linhas de drenagem da AESA em objetos. Para isso, foi utilizado o método de segmentação chessboard, esse método cria quadrados de tamanhos definidos na área da imagem, ao utilizar um dado temático essa segmentação associa o formato do objeto ao dado escolhido no processo. Como tamanho do objeto segmentado foi escolhido o número “99999999”, de forma que a quadrícula a ser

gerada extrapole a imagem ficando apenas os objetos da camada desejada, que também é selecionada no processo de segmentação. Como resultado final, tem-se a delimitação dos rios na segmentação gerada. (Figura 29)



Figura 29: Resultado da segmentação chessboard com delimitação dos rios

Logo após essa segmentação foi criado um outro nível de classificação chamado de N1. A N1 teve como objetivo extrair os açudes e demais corpos hídricos na BHRT. Assim, foi escolhida a segmentação *multiresolution*, na qual podemos atribuir uma série de pesos para as bandas espectrais ou descritores inseridos no projeto e, também, tem-se a opção de considerar camadas temáticas. Além dos pesos é preciso escolher os parâmetros de forma (*shape*) e compactação (*compactness*) variando de 0 a 1. O primeiro define a influência da cor no processo de segmentação, isto é, quanto maior o valor, menor será interferência. Já a segundo define o quão compacto será o objeto, ou seja, quanto maior o valor, mais compactado será o objeto. Por último, estipula-se um número de escala que considera a quantidade de pixels no tamanho de objeto.

Após vários testes e análises foram escolhidos os parâmetros que mais identificaram e se adequaram ao formato dos açudes. Na segmentação, as bandas 2,3,4 e 8 com peso 1 e os índices NDWI, SAVI NDVI, NDVI\_RE com peso 1 e MNDWI com peso 2, todos considerando os períodos seco e úmido. Como valores de *shape* e *compactness* foram escolhidos os valores 0,1 e 0,7. E para o parâmetro de escala foi considerado o valor 25. (Figura 30)

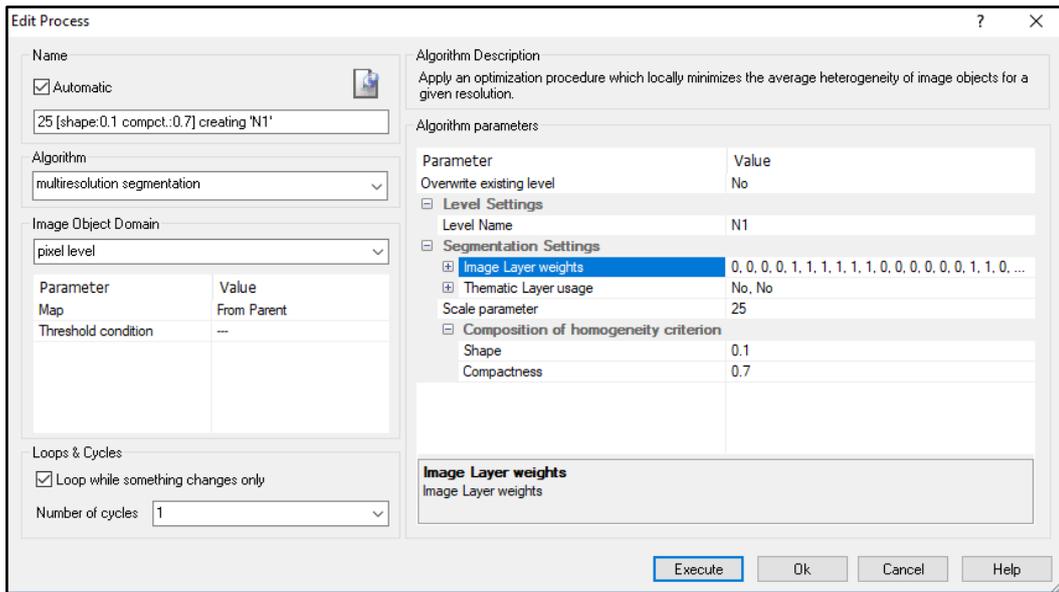


Figura 30: Parâmetro do processo de segmentação dos açudes.

Após a segmentação Hidro ser associada ao nível de segmentação N1, houve, em seguida, a classificação dos açudes. Os descritores que mais se adequaram a classe foram o Brilho e o índice NDWI. Assim, para classificar os açudes, os valores escolhidos foram: Brilho  $\leq 1700$  e Média do NDWI do período seco  $\geq -0.43$ . Embora o esforço fora minimizado no processo, ainda foi necessário fazer uma pequena edição, pois, algumas nuvens na região foram detectadas como açudes e alguns açudes tiveram erro de omissão. Parte do resultado dessa etapa é apresentado na figura 31 com a presença dos açudes em vermelho.



Figura 31: Açudes em vermelho na BHRT.

A próxima etapa foi a segmentação dos objetos levando em conta as classes de maior abrangência na classificação. Sendo assim, o novo nível de segmentação chamado de vegetação\_200 precisou ser gerado, pois, a segmentação N1 para os açudes é bastante detalhada. Isto é, seus objetos são pequenos e isso dificulta o processo de generalização, pois, agora as classes do mapeamento têm abrangência de áreas maiores.

Cabe destacar que essa nova segmentação é baseada na segmentação anterior, no caso a segmentação vegetação\_200 tem como referência a segmentação N1. Portanto, o que ocorre no processo é um agrupamento de objetos, pois, a segmentação N1 é mais detalhada que a N2. Os parâmetros utilizados em Vegetação\_200 foram: Peso 1 para as bandas 3,4 e 8 do período seco, peso 1 para os índices NDVI, RE\_NDVI, SAVI nos períodos secos e úmidos. Os parâmetros de shape e compactness foram 0,7 e 0,5 respectivamente.

Após herdar a classificação dos açudes para esse nível, foi feita a classificação das áreas de extração de caulim e Formação Plutão Bravo através da camada temática do mapa geológico. Com isso foram selecionadas as áreas de metacalcários, xisto, quartzitos para classe extração de caulim e depósitos sedimentares para Formação Plutão Bravo. Como a escala do mapa geológico não é compatível com a escala de classificação 1:100.000 foram necessárias edições manuais antes de passar para a próxima etapa da classificação. (Figura 32)

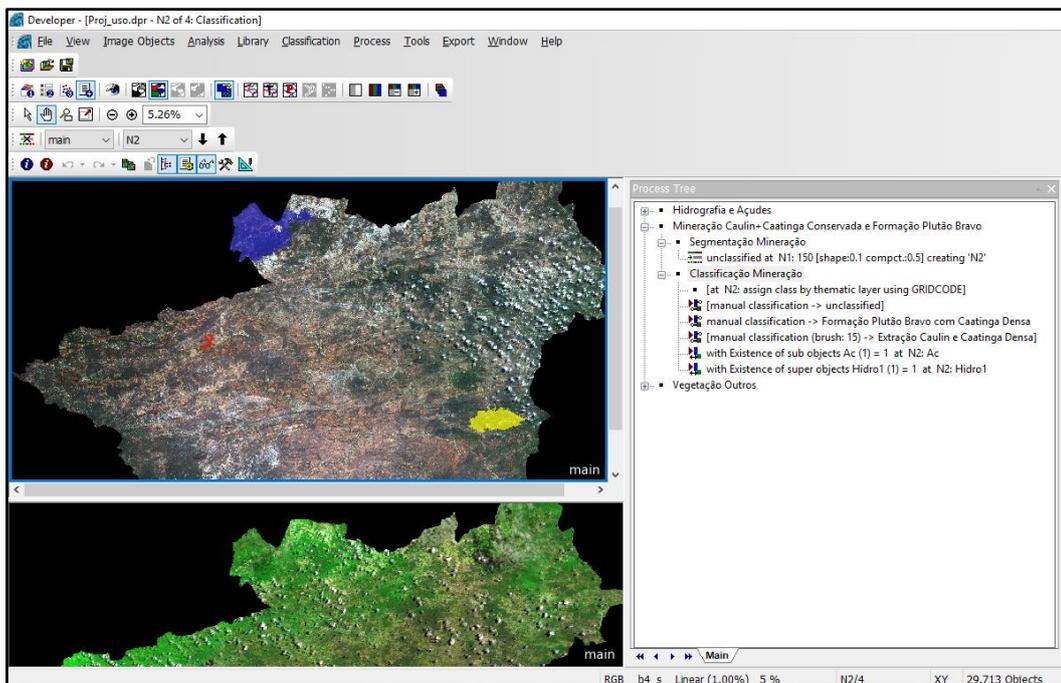


Figura 32: Classificação das áreas de mineração e formação plutão bravo.

O próximo desafio foi a separação das áreas vegetadas, cabe lembrar aqui a peculiaridade do bioma caatinga quanto ao regime de chuvas, ou seja, não necessariamente toda a vegetação está na cor verde ou apresentará índices de vegetação altos. Portanto, torna-se necessário uma modelagem que atenda a esse comportamento. Assim, os índices de vegetação vão ajudar a identificar apenas as classes de CD e parte da classe Ag, sendo preciso uma outra abordagem que atenda as caatingas rarefeita e degradada.

Iniciou, então, a divisão da classe caatinga\_verde e outros. A primeira irá dar origem a classe final de CD e Al e a segunda será reclassificada para as demais classes. O descritor nesse processo foi o  $SAVI \geq 0.45$ , separando as vegetações densas e verdes na BHRT na coloração verde.

Em seguida, a caatinga\_verde foi nas classes Caatinga Densa e Algaroba com pequenos cultivos. A modelagem aqui foi feita em cima do “o que seria a classe Algaroba?” sendo a CD apenas o oposto dessa modelagem Not\_algaroba. O modelo considerou a dependência espacial da algaroba, essa vegetação necessita de umidade e, é um padrão na região encontrá-las com pouca extensão territorial próximo aos rios e açudes junto a um cultivo agrícola. Para isso, estipulou o tamanho de 20 pixels de áreas e a condicionante de estar próxima aos rios e açudes até 15 pixels (Figura 33). Esses parâmetros levaram em conta a distância dessas classes para os corpos hídricos e sua área. Apesar disso, a edição manual tornou-se necessária por conta da segmentação, que superestimava as áreas de algaroba. Já a classe CD foi apontada como o oposto do que foi considerado na classe anterior. Essa estratégia foi adotada por conta da resposta espectral parecida de ambas as imagens.

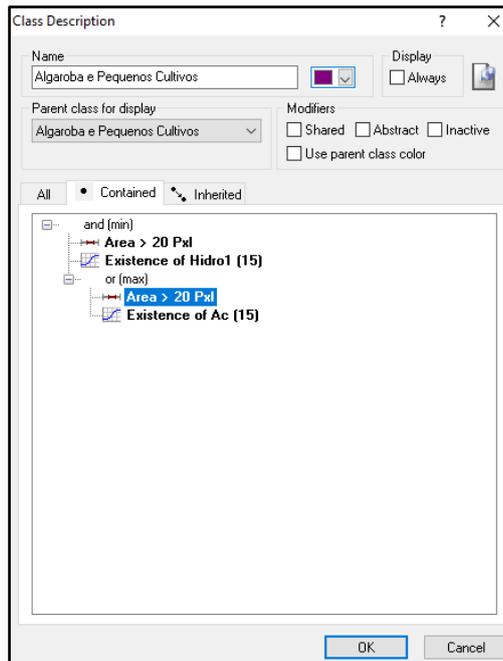


Figura 33: Descritores utilizados na classificação da classe algaroba com pequenos cultivos.

As classes caatinga média-densa e caatinga rarefeita são classes que apresentam grandes diferenças na bacia, mas, ao observar na imagem e nas respostas espectrais das bandas, possuem comportamentos semelhantes. Para a modelagem dessas duas classes foi utilizado o índice de desertificação TGSI, esse índice hierarquiza as áreas em 3 zonas (Baixo, Médio e Alto índice de desertificação), analisando a granulometria do solo. Desta forma, as áreas aonde a caatinga está rarefeita apresentam um alto índice e está sujeita a desertificação. Isso pode ser atestado também por conta da diferença de temperatura nessas áreas, que está localizada a caatinga mais densa, o valor de temperatura está mais baixo, diferente das áreas com caatinga degradada e caatinga rarefeita. Assim, para separar essas, foi utilizado o índice já inserido no projeto e para a CMD foi estipulado o valor 3 e a classe CR foi apenas colocada como apostro. (Figura 34).

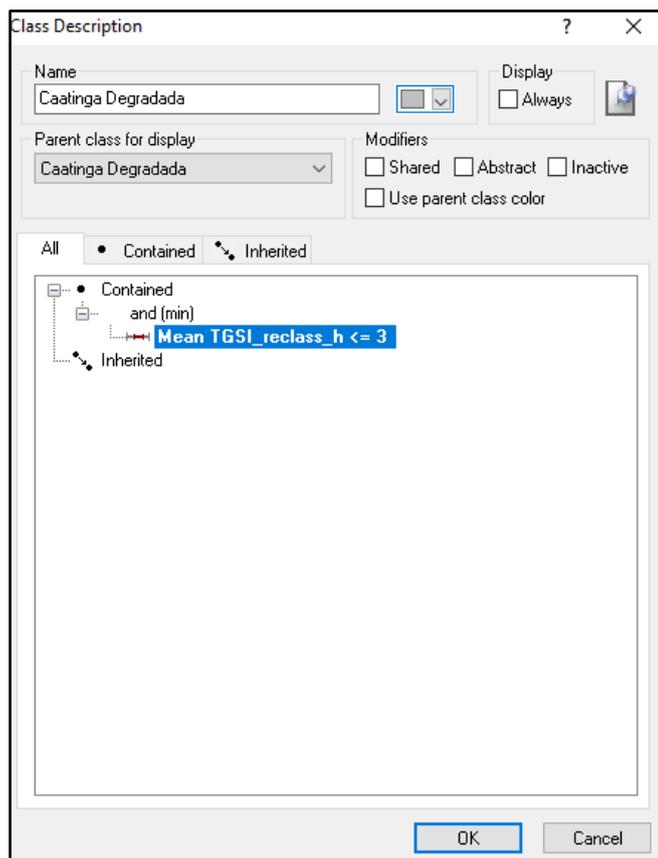


Figura 34: TGISI para a caatinga degradada.

A classe “infraestrutura urbana” é pouco recorrente na região, não necessitando de esforço de modelagem e sendo originada através de edição manual. Já para a classificação do Agropasto, levou-se em conta o parâmetro TGISI para a classe CD e em cima utilizou-se um contexto de forma para a sua classificação. As áreas de Agropasto podem causar confusão entre as classes de vegetação, uma vez que na região não existe uma agricultura extensiva como encontradas em outras regiões do Brasil. Além disso, a capacidade de regeneração da caatinga faz com que áreas de Agropasto sem um determinado tempo de uso, ganhem uma densidade que gera confusão entre classes nas imagens de sensoriamento remoto. Desta forma, é considerada além do TGISI de valor 3 ou acima, o formato retangular das áreas de Agropasto. Apesar disso, ainda foi preciso um processo de edição para a presente classe. Após o processo de edição foi feito um refino para cada classe visando retirar pequenos polígonos que não se enquadravam na escala do mapeamento 1:100.000.

Terminado o processo de classificação e edições finais foi executada a validação do mapeamento. Para tal, foram criados 405 pontos aleatórios no interior da bacia, seguindo o espaçamento mínimo entre eles de 1 quilometro, a distribuição dos pontos por classe está apresentada na Tabela 5. Dessa distribuição foram escolhidos vinte pontos das classes que

atingiram 100 pontos, para as demais classes foram considerados os pontos em sua totalidade. As classes que apresentaram menos de 20 pontos são bem pontuais na bacia e a distribuição aleatória seguindo os critérios predeterminados fizeram com que as classes não alcançassem um número acima.

Tabela 5: Pontos aleatórios por classe de mapeamento.

CLASSES	PONTOS ALEATÓRIOS	PONTOS PARA VALIDAÇÃO
Caatinga Densa	100	20
Caatinga Média – Densa	100	20
Caatinga Rarefeita	100	20
Algaroba	11	11
Agropasto	20	20
Açudes	3	3
Áreas de Extração de caulim	15	15
Formação Plutão Bravo	7	7
Infraestrutura Urbana	5	5
<b>Total</b>	405	120

Na etapa subsequente foram comparados os pontos da classificação, com as imagens do Google Earth Pro (GE) para as datas próximas a classificação. Cabe ressaltar que as imagens utilizadas para a validação são de alta resolução espacial, o que atenderia uma escala cartográfica com mais detalhes do que a escala 1:100.000 proposta na pesquisa. Ou seja, essa validação levou também em consideração os contextos ao qual o ponto estava inserido como é apresentado na figura 35.

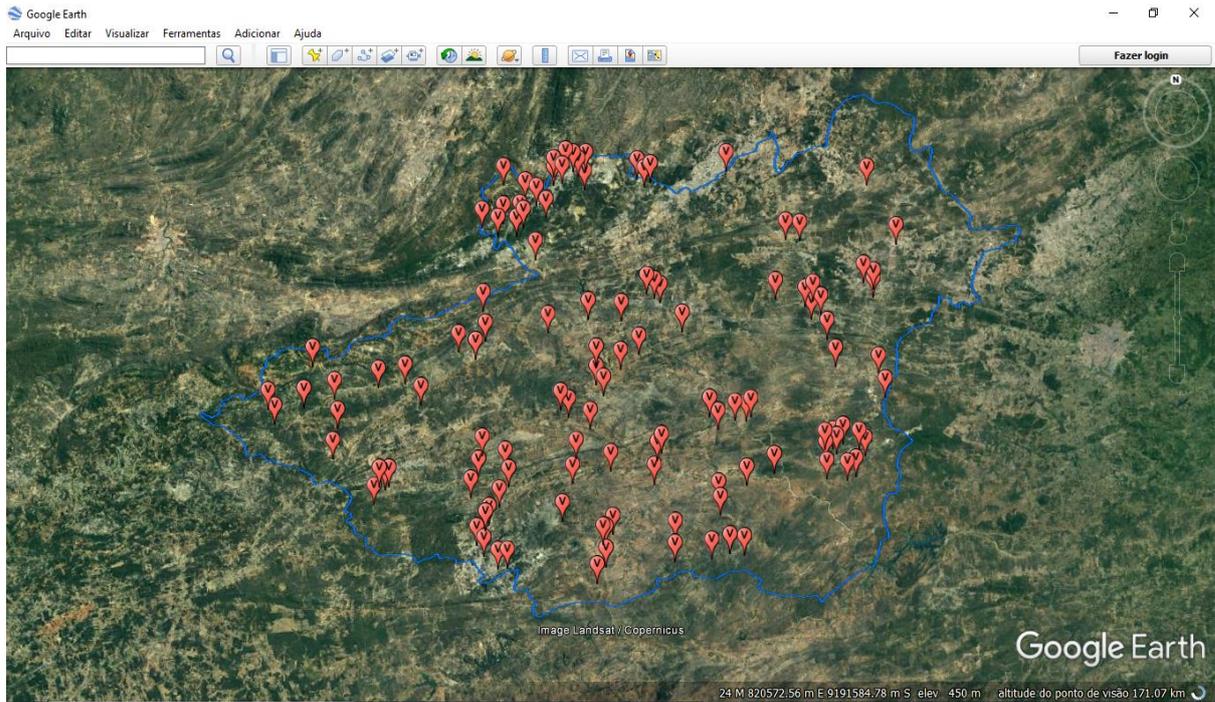


Figura 35: Pontos para Validação no Google Earth.

Em seguida, com esse comparativo, foi gerada a Matriz de Confusão, que é um método de verificação da qualidade do mapeamento temático feito através de sensoriamento remoto. Ela estabelece uma correlação dos dados de referência (a verdade), no caso da presente pesquisa, as imagens de alta resolução do GE e os dados da classificação fornece uma exatidão global do mesmo. Já o coeficiente Kappa é quantificado após a construção da matriz e indica o grau de concordância dos dados e, conseqüentemente, a confiabilidade do mapeamento. O índice estabelece um valor de 0 a 1, quanto mais próximo de 1 melhor a qualidade do seu mapeamento. Fonseca (2000) faz uma hierarquização desses valores estabelecendo critérios qualitativos de acordo com as faixas quantitativas (Tabela 6).

Tabela 6: Classificação qualitativa do índice Kappa (Fonte: Fonseca, 2000)

Índice Kappa (k)	Desempenho do Mapeamento
$<0$	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Após o cálculo desta matriz, foi construída uma segunda matriz, apenas com as classes de vegetação da bacia: Caatinga Densa, Caatinga Média-Densa, Caatinga Rarefeita, Algaroba e Agropasto. As classes Extração de Caulin e Formação Plutão Bravo foram classificadas pelo mapa geológico e a classe açudes tem apenas três pontos. O objetivo é ver o comportamento da exatidão global e do índice Kappa nas classes que apresentam maior confusão e conseqüentemente maiores erros na classificação. Deste modo, pretende no subtópico a seguir apresentar os resultados do presente capítulo.

## 5.2. Resultados e Discussões

Os resultados iniciais do presente capítulo foram as validações do mapeamento através da metodologia apresentada anteriormente. A primeira matriz de confusão gerada, a qual considera todas as classes do mapeamento, apresentou o índice Kappa de 0,59%, segundo a bibliografia esse mapeamento é considerado “Bom” dentro da classificação Kappa. Como explicado anteriormente, as classes infraestrutura urbana, formação plutão bravo, Extração de Caulin, tiveram o percentual de acerto 100%. Exceto o açude, que por conta dos critérios utilizados na distribuição dos pontos tiveram apenas 3 pontos, as demais classes foram classificadas através de dados temáticos e classificação manual. Ou seja, a probabilidade de confusões entre classes diminui consideravelmente e, como as classes em questão são muito regionalizadas, os erros de omissão e comissão para essas classes foi nulo. (Quadro 1)

Já a segunda matriz (Quadro 2) contém apenas as classes Caatinga Densa, Caatinga Média-Densa, Caatinga Rarefeita, Algaroba e Agropasto foi gerada para analisar o índice Kappa considerando as confusões. A classe que obteve maior confusão foi a CMD onde 6 dos 20 pontos caíram em áreas diferentes da classe, sendo 3 em áreas de CD e 3 em áreas de CR, fato interpretado como esperado por ser uma classe intermediária. As classes CD e CR também tiveram pontos em áreas de CMD dando destaque para a segunda com 4 pontos. A classe Agropasto apresentou também confusões pontuais com as demais classes. Por fim, o índice Kappa ficou em 0.76, que segundo a tabela 5, é considerado muito bom.

Como resultado da classificação tem-se o mapeamento de cobertura do solo, apresentado na Figura 36. Na bacia observa-se uma predominância da classe Caatinga Densa ocupando 54,89% concentrados nas extremidades de bacia. As classes Caatinga Média-Densa com 27,44% e Caatinga Rarefeita com 8,36% apresentando seus pontos de maior

concentração ao centro da BHRT. O mapeamento considerando essas três classes mostra uma coerência quanto ao estado de conservação da vegetação, ao se comparar com o histórico de ocupação da região já destacado anteriormente. É possível, então, identificar nessas classes áreas de concentração que irão influenciar diretamente na delimitação do zoneamento ambiental da bacia.

Já a classe Agropasto, representa 6,58% da área total, estando concentrado mais a nordeste da bacia, onde exerce pressão em cima das classes CD e CMD. Além disso, apresenta uma pequena área de expansão Sudoeste–Centro.

		Amostras (Google Earth)									Total	Total x Total
		Caatinga Densa	Caatinga Média Densa	Caatinga Rarefeita	Algaroba	Agropasto	Formação Plutão Bravo	Extração de Caulin	Açudes	Infraestrutura Urbana		
M a p a	Caatinga Densa	18	1	1	0	0	0	0	0	0	20	460
	Caatinga Média Densa	3	14	3	0	0	0	0	0	0	20	420
	Caatinga Rarefeita	0	4	16	0	0	0	0	0	0	20	420
	Algaroba	0	1	0	9	0	0	0	0	0	10	90
	Agropasto	2	1	1	0	16	0	0	0	0	20	320
	Formação Plutão Bravo	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7	0
	Extração de Caulin	0	0	0	0	0	0	15	0	0	15	0
	Açudes	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	225
	Infraestrutura Urbana	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	25
	<b>Total</b>	23	21	21	9	16	7	15	3	5	120	14400
<b>Usuário</b>	78.26%	66.67%	76.19%	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100%		
<b>Produtor</b>	90.00%	70.00%	80.00%	90.00%	80.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100%		
<b>Kappa</b>	0.59											

Quadro 1: Matriz de confusão com todas as classes do mapeamento

		Amostras (Google Earth)					Total	Total x Total
		Caatinga Densa	Caatinga Média Densa	Caatinga Rarafeita	Algaroba	Agropasto		
M a p a	Caatinga Densa	18	1	1	0	0	20	460
	Caatinga Média Densa	3	14	3	0	0	20	420
	Caatinga Rarafeita	0	4	16	0	0	20	420
	Algaroba	0	1	0	9	0	10	90
	Agropasto	2	1	1	0	16	20	320
Total		23	21	21	9	16	90	8100
Usuário		78.26%	66.67%	76.19%	100.00%	100.00%	100%	
Produtor		90.00%	70.00%	80.00%	90.00%	80.00%	100%	
Kappa		0.59						

Quadro 2: Matriz de confusão com as classes de vegetação.

A classe Algaroba apresenta 0.9% da região e sua distribuição ocorre, como já era esperado, em toda a bacia nas áreas onde ocorrem retenção de umidade (rios e açudes). Os açudes apresentam uma contribuição na área de bacia de 0.24%. Importante destacar que a classificação das imagens Sentinel 2, em dois períodos distintos (úmido e seco), possibilitaram uma favorável identificação dos corpos hídricos, principalmente, quando utilizado o descritor MNDWI. Cabe ressaltar que a distribuição irregular de chuvas ou mesmo sua ausência na região pode vir a impossibilitar a identificação de mais açudes. Além disso, o problema de assoreamento contribui para o desaparecimento de alguns, assim, um monitoramento anual/sazonal desses corpos hídricos se faz necessário visando uma manutenção hidroecológica na região.

A mineração no mapeamento está presente na classe Extração de Caulim (Ec) com 0,17% concentrada ao norte da BHRT, exercendo pressão sobre áreas de CD. As classes Formação Plutão Bravo (FPB) e Infraestrutura Urbana (IU) apresentam, respectivamente, 0,61% e 0,43%. O percentual, assim como de cada classe, pode ser observado na figura 36 e 37 e na tabela 7 respectivamente.

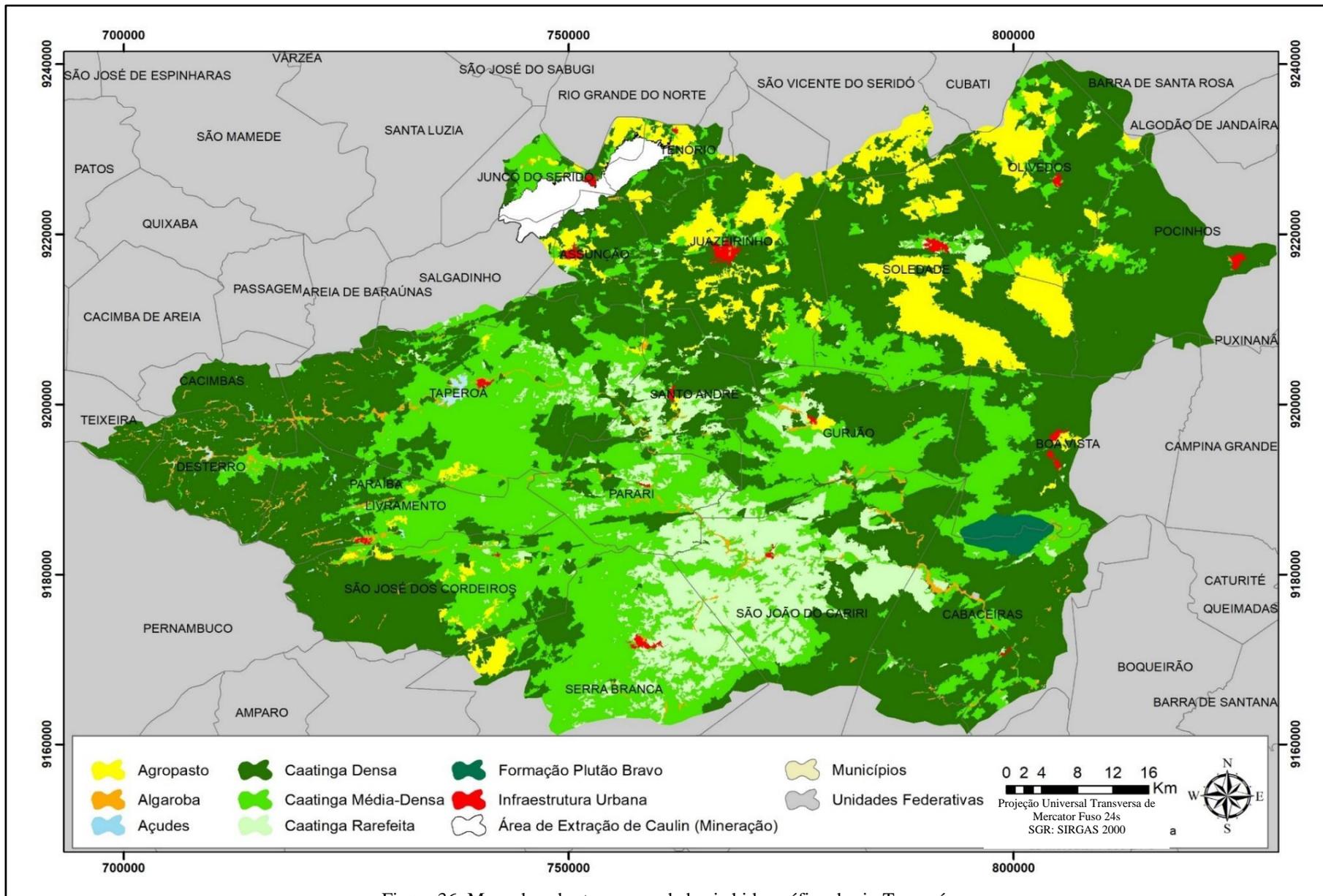


Figura 36: Mapa de cobertura e uso da bacia hidrográfica do rio Taperoá.

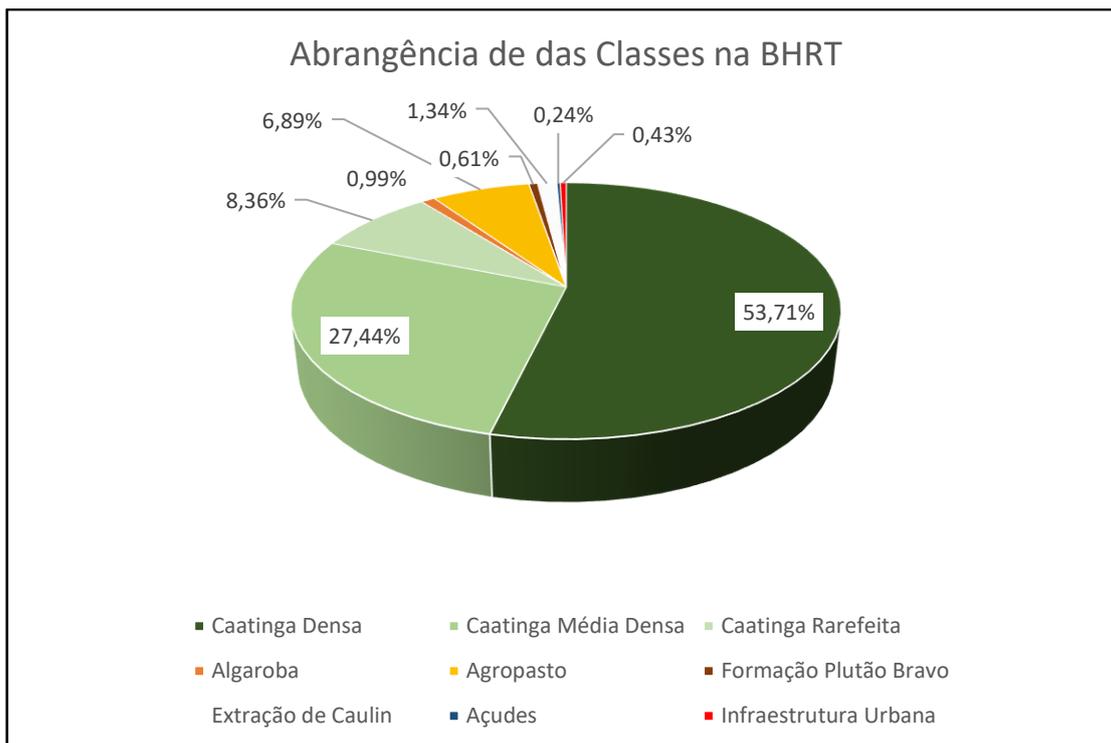


Figura 37: Gráfico de abrangência de classe em porcentagem na BHRT.

Tabela 7: Áreas por classe na BHRT.

Classe	Área (Km <sup>2</sup> )
Caatinga Densa	3229.94
Caatinga Média Densa	1614.48
Caatinga Rarefaite	491.68
Algaroba	58.1
Agropasto	405.57
Formação Plutão Bravo	35.74
Extração de Caulin	9.87
Açudes	13.9
Infraestrutura Urbana	25.17

Quanto à divisão de classes de cobertura e uso do solo por município (Quadro 3), há duas considerações a serem feitas. A primeira é referente a escala das bases vetoriais, mesmo com o cuidado de se trabalhar com bases oficiais dentro de uma mesma escala cartográfica, ainda existem problemas quanto ao refinamento nas bordas dessas bases. Ou seja, quando feitas as operações de sobreposição dentro dos SIG com bases territoriais, principalmente,

irá existir a dúvida se realmente aquela pequena porção do território pertence ou não a uma bacia hidrográfica, por exemplo. Esse tipo de questão foi levantado quando foi executado o cálculo da área entre os municípios que fazem parte da bacia, por isso, além da porcentagem, está presente também a área total de contribuição dos municípios para a BHRT a fim de comparar com as classes de cobertura e uso solo. Já na segunda consideração, cabe destacar a abrangência das classes extração de Caulin e Formação Plutão Bravo, essas classes são bem pontuais dentro da BHRT e, por isso, a maioria dos municípios irão ter o valor zero para essas classes.

Quadro 3: Classe por Município

Municípios	Classes em Porcentagem (%)									Área (km²)
	Ac	Ag	Al	CD	CDM	CR	Ec	FPB	IU	
Assunção	0.04%	10.31%	0.54%	75.13%	11.23%	0.73%	0.17%	0.00%	1.8%	118.10
Barra Sta. Rosa	0.01%	0.04%	0.00%	98.91%	0.79%	0.3%	0%	0%	0%	24.156
Boa Vista	0.01%	4%	0.38%	10.15%	85.01%	0.22%	0%	0.00%	0.23%	270.98
Cabaceiras	0.04%	0.00%	1.91%	71.73%	18.14%	3.51%	0%	4.53%	0.11%	371.09
Cacimba de Areia	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0.198
Cacimbas	0.78%	0%	2.35%	95.94%	0.92%	0%	0%	0%	0%	69.65
Campina Grande	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	1.35
Cubati	0%	90%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	1.152
Desterro	2.14%	0%	4.71%	85.63%	7.51%	0.01%	0%	0%	0%	177.57
Gurjão	0.02%	1%	1.18%	44.88%	42.52%	10.19%	0%	0%	0.18%	340.44
Juazeirinho	0.06%	20.71%	0.09%	64.59%	12.29%	0.97%	0.00%	0.00%	1.28%	395.12
Junco do Seridó	0.07%	11.75%	0.28%	49.18%	28.48%	0.07%	8.86%	0.00%	1.30%	95.21
Livramento	0.79%	0.99%	2%	44.74%	40.69%	0.49%	0.00%	0.00%	0.32%	300.33
Olivedos	0%	19.71%	0.01%	67.25%	12.19%	0.45%	0.00%	0.00%	0.36%	311.44
Parari	0.02%	0.00%	1.14%	19.06%	57.96%	21.37%	0.00%	0.00%	0.18%	207.65
Pocinhos	0.01%	1.36%	0.04%	92.54%	5.41%	0.02%	0.00%	0.00%	0.61%	312.77
Salgadinho	0.00%	4.86%	0.07%	53.44%	34.93%	2.59%	4.18%	0.00%	0.00%	29.28
Santo André	0.04%	0.99%	1.30%	58.61%	18.53%	20.13%	0.00%	0.00%	0.38%	197.64
São Domingos do Cariri	0.01%	0.00%	1.05%	94.53%	3.66%	0.77%	0.00%	0.00%	0.00%	57.75
São João do Cariri	0.01%	0.00%	1.33%	34.71%	21.74%	42.07%	0.00%	0.00%	0.12%	495.23
São José dos Cordeiros	0.14%	3.77%	0.95%	56.06%	37.88%	1.13%	0.00%	0.00%	0.06%	365.12
São Vicente do Seridó	0.04%	56.05%	0.00%	42.76%	1.14%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	52.64
Serra Branca	0.02%	2.94%	0.44%	13.76%	58.34%	23.89%	0.00%	0.00%	0.58%	416.42
Soledade	0.01%	25.01%	0.01%	58.56%	14.09%	1.77%	0.00%	0.00%	0.53%	559.71
Sumé	0%	0%	0%	99.99%	0.01%	0%	0%	0%	0%	0.53
Taperoá	0.85%	1.09%	1.58%	45.25%	46.54%	4.47%	0.00%	0.00%	0.21%	624.28
Teixeira	0.69%	0.00%	3.42%	94.81%	1.14%	0%	0%	0%	0%	30.01
Tenório	0.06%	21.26%	0.05%	46.19%	9.20%	0.00%	22.86%	0.00%	0.41%	82.24
<b>Total</b>	<b>5908.06</b>									

Ac: Açudes | Ag: Agropasto | Al: Algaroba | CD: Caatinga Densa | CDM: Caatinga Média-Densa | CD: Caatinga – Degradada | Ec: Extração de Caulin | FPB: Formação Plutão Bravo | IU: Infraestrutura Urbana

Analisando o quadro 3, pode-se constatar que o município de Taperoá, que dá o nome a bacia, possui a maior área de contribuição com 624,28 km<sup>2</sup>, estando quase totalmente inserido dentro da bacia, o município tem uma distribuição de 45,25% de caatinga densa e 46,54% de caatinga médio-densa, ou seja, mais de 90% de sua área total é constituída de vegetação densa, apresentando apenas 4,47% de caatinga rarefeita. O segundo maior município de contribuição para a BHRT é Soledade, com 559,71km<sup>2</sup> de área dentro da bacia esse município tem cerca de 58,56% de sua área formado por CD, com 14,09% de CMD. O grande destaque para esse município está nos 25,01% de Agropasto, isto é, um quarto do seu território está exercendo pressão sobre as áreas com uma maior densidade de caatinga, fato que pode ser também constatado observando a figura 36. Com a terceira maior área de contribuição para a bacia está o município de São João do Cariri, com 495,23 km<sup>2</sup> e apresentando 34,71% de CD, 21,74% de CMD e 42,07% de CR. Dentre os municípios esse é o que possui a maior porcentagem de seu território sendo representado por caatinga rarefeita, caso que deve ser levado em consideração, pois, esse município encontra-se dentro da proposta de criação do Geoparque Cariri Paraibano. Em seguida, com área de 416,42 Km<sup>2</sup>, está o município de Serra Branca com apenas 13,76% de CD e apresentando mais da metade de sua área na bacia de CMD, mais precisamente com 58,34% e, por fim, 23,89% de caatinga rarefeita, um percentual também alto quando comparado aos outros municípios.

Já a classe Formação Plutão Bravo fica restrita a 4,53 % da área de contribuição, apenas do município de Cabaceiras. O mesmo acontece com as áreas de extração de Caulin, que ficam restritas apenas aos municípios de Assunção, Junco do Seridó, Salgadinho e Tenório. Outra informação importante a ser destacada está na classe Agropasto, que nos municípios apresentam uma área superior a 10% e apresentam uma porcentagem grande de CD. Ou seja, uma expansão das áreas de Agropasto resultaria em uma perda da caatinga de maior densidade da bacia.

Quanto a porcentagem de contribuição o das classes de caatinga na APA do Cariri (Tabela 8), que possui um total de 157,68 km<sup>2</sup> de área, tem-se a presença das classes CD ocupando 40,61%, seguida da classe CMD com 23.10% e CR com 11,64%. Dentre as classes de caatinga então as CD e CMD possuem as maiores porcentagem dentro da área e, mais uma vez, atestando a importância das unidades de conservação, principalmente, quando não se identifica a classe Agropasto na área para preservação da biodiversidade. A classe Algaroba contribuiu com apenas 2% da área e a classe Formação Plutão Bravo com 22,65%, ficando totalmente inserida na área da APA, que foi um dos motivos de sua criação. É

importante ressaltar aqui que a Formação Plutão Bravo também possui uma vegetação que se mescla junto aos lajedos (caatinga lajeada), possuindo um alto nível de conservação.

Tabela 8: Porcentagem das classes na APA do Cariri.

Cobertura e Uso da APA do Cariri	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem
Açudes (Ac)	0.03	0.02%
Agropasto (Ag)	0.00	0.00%
Algaroba (Al)	3.14	1.99%
Caatinga Densa (CD)	64.03	40.61%
Caatinga Médio-Densa	36.42	23.10%
Caatinga Rarefeita	18.35	11.64%
Extração de Caulin	0.00	0.00%
Formação Plutão Bravo	35.71	22.65%
Infraestrutura Urbana	0.00	0.00%
Área Total da Bacia	157.68	

Quanto a distribuição espacial das classes (Tabela 8 e Figura 38), a classe CD concentra-se nos municípios de São João do Cariri e Cabaceiras. A classe CMD distribuída entre os municípios de Boa Vista e Cabaceiras. Os 11,64% da classe CR encontra-se quase em sua totalidade, concentrada na parte da APA que abrange o município de São João do Cariri, onde a Algaroba encontra-se quase em sua totalidade.

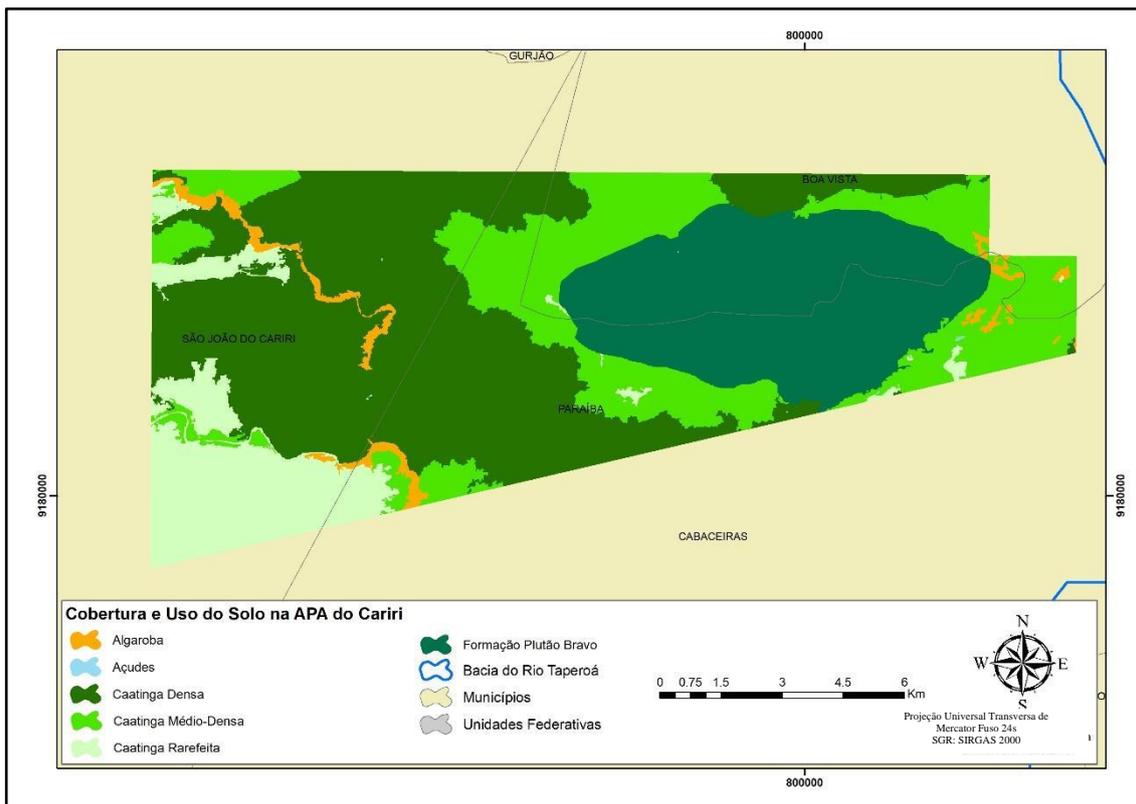


Figura 38: Mapa de cobertura e uso do solo na APA do Cariri

Já na análise distribuição da cobertura e uso do solo dentro do projeto Geoparque Cariri Paraibano (Tabela 10 e Figura 39), na área que abrangida pela BHRT, pode-se constatar uma predominância da classe CD com 52,56% espalhada pelos municípios de São João do Cariri, Cabaceiras e Boas Vista. Já a classe CMD possuindo 22,86% possui uma concentração maior no município de Boa Vista, onde também se tem a única concentração de Agropasto na região com apenas 0,32%.

A classe CR é a que desperta um alerta para a área, com quase 20% da área total, está concentrada quase em sua totalidade no município de São João do Cariri. Cabe lembrar que a CR é a classe de caatinga que apresenta uma vegetação basicamente formada por gramíneas e com parte do seu solo exposto, foram as classes no qual o índice espectral TGSI explicado anterior, identificou como áreas sujeitas a desertificação. Desta forma, com a criação do parque deve-se levar em conta uma recuperação de ao menos parte dessas áreas. A classe Algaroba acompanha o traçado do rio Taperoá com 1,24% da região e a classe infraestrutura urbana com 0,32% apresenta-se pontualmente na região.

Tabela 9: Cobertura e uso do solo no Geoparque Cariri Paraibano para a BHRT.

Cobertura e Uso do Geoparque Cariri Paraibano na BHRT	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem
Açudes	0.27	0.02%
Agropasto	3.68	0.32%
Algaroba	14.14	1.24%
Caatinga Densa	598.59	52.56%
Caatinga Médio-Densa	260.36	22.86%
Caatinga Rarefeita	222.43	19.53%
Extração de Caulin	0.00	0.00%
Formação Plutão Bravo	35.79	3.14%
Infraestrutura Urbana	3.59	0.32%
Área Total da Bacia	1138.85	

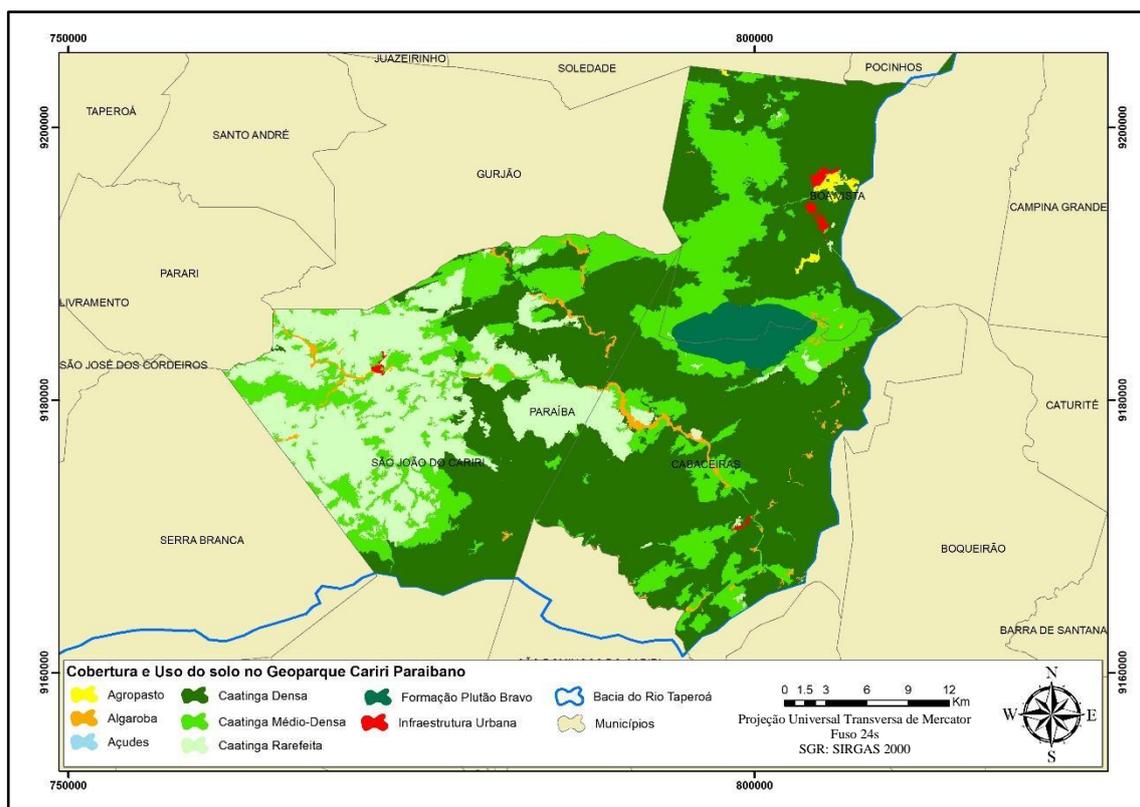


Figura 39: Cobertura e uso do solo no projeto Geoparque Cariri Paraibano na BHRT

## 5.2. Conclusão

O mapeamento de uso do solo assim como seu monitoramento, são peças fundamentais no planejamento e gestão do território. O semiárido nordestino, no entanto, apresenta características intrínsecas em seu bioma que dificultam esse tipo de mapeamento. Desta forma, ficam evidentes, no presente capítulo, as dificuldades de se mapear a caatinga e por este motivo, algumas conclusões foram tomadas a respeito disso.

Quanto ao mapeamento, para se distinguir as diferentes fitofisionomias da caatinga, com o auxílio do GEOBIA, há grande dificuldade - uma vez que o regime de chuvas espaço-temporal varia bastante, fazendo com que a resposta espectral das imagens mude, apesar de um curto período de tempo. Surge, portanto, a necessidade de se trabalhar com períodos diferentes que, ainda assim, podem gerar dúvidas em algumas classes de caatinga.

Por essa razão, optou-se por mapear o estado de conservação da caatinga quanto à sua densidade. Nessa proposta, o GEOBIA atendeu as expectativas, na medida em que conseguiu através dos índices espectrais - tanto do período seco quanto do período úmido - identificar as áreas com maior e menor densidade na vegetação, trazendo como peça fundamental o índice de desertificação TGSÍ. Ademais, conseguiu distinguir as principais áreas de dúvida em relação a caatinga médio-densa e caatinga rarefeita e, com isso, estipular o grau de conservação de tais vegetações dentro da bacia. Contudo, entende-se que esse mapeamento pode ser refinado, não considerando apenas a classificação, os períodos seco e úmido, mas também várias imagens ao longo de 1 ano.

Já em relação aos resultados definidos no mapa final, percebe-se que a BHRT tem 54,68% de sua área composta por caatinga densa, ou seja, mais da metade de sua área conservada. Em contrapartida, os 45,32% pertencentes às outras zonas territoriais se encontram setorizados em partes específicas na bacia: principalmente as áreas de agropasto, pois exercem pressão sobre as áreas de caatinga densa a nordeste e a sudoeste da bacia. Ademais, as regiões de caatinga rarefeita podem ser consequência da própria ocupação no período colonial, visto que ainda é possível encontrar nessas áreas degradadas resquícios de cultivo de algodão. Contudo, para haver esta afirmação, é preciso um estudo mais detalhado dessa ocupação pretérita. Em conclusão, as classes do presente mapeamento irão compor a matriz geocológica que será apresentada no capítulo subsequente.

## 6. Contribuições para o Zoneamento Ambiental da Bacia do Taperoá

Este capítulo apresenta a construção da Matriz Geoecológica da Bacia do rio Taperoá e a delimitação de áreas de preservação permanentes em toda a bacia de estudo. Tem-se como ponto de partida a premissa que, segundo Turner *et al.* (2001), as paisagens são definidas como formações caracterizadas pela estrutura e heterogeneidade na composição dos elementos que as integram (componentes geoecológicos), pelas múltiplas relações - tanto internas quanto externas - através da variação dos estados e pela diversidade, sendo ela: hierárquica, tipológica e individual.

Desta forma, o processo de regionalização das paisagens consiste em sistematizar a divisão territorial de unidades espaciais, tais como: administrativas, econômicas, naturais, etc. (Rodriguez *et al.*, 2007). Já a classificação das paisagens deve caracterizar sua estrutura territorial, além de determinar sua diferenciação espacial - a qual pode considerar as complexidades de sua formação, forma, designação e possibilidades de utilização. Sendo assim, Rodriguez *et al.* (2007) ainda pontua que a regionalização geoecológica consiste:

Na análise, classificação e cartografia dos complexos físico-geográficos individuais, tanto naturais como modificados pela atividade humana e a compreensão de sua composição, estrutura, relações, desenvolvimento e diferenciação. (Rodriguez *et al.*, 2007, p. 68)

Além disso, Rodriguez *et al.* (2007) explicita que o ponto chave na análise geoecológica da paisagem está na geração do mapa de paisagens, que tem por objetivo, caracterizar, classificar e cartografá-las. Esses mapas são pautados nas análises das estruturas da paisagem, originadas a partir de uma matriz de relacionamento, na qual ocorre a sobreposição de atributos da paisagem, quantificação e de análises métricas. Tal matriz, ao longo do processo de regionalização, é uma etapa de planejamento para definição de áreas, em que a partir dela nas etapas subsequentes serão feitas análises de sobreposição em SIG, processos de generalização e análise de contexto, finalizando com a edição do próprio intérprete que possui um papel fundamental para a definição das áreas previstas na matriz.

Na presente pesquisa, tal classificação é baseada na composição e na inter-relação dos elementos abióticos, bióticos e antrópicos que compõem a paisagem. Esses elementos utilizados para a distinção de cada uma de suas unidades são os fatores delimitadores que foram incorporados ao Banco de Dados Geográficos (BDG), apresentando como resultados a classificação na BHRT na escala 1: 100.000. Segundo Andrade (1977), o Nordeste brasileiro apresenta grande diversidade em seus quadros naturais e, a consequência disso se

dá por conta das diferentes condições morfoclimáticas e de diferentes domínio da paisagem. Para o estudo e compreensão dos processos naturais formadores dessas paisagens, torna-se necessário o conhecimento da influência que os componentes ambientais de ordem geológica, hidroclimática, geomorfológica e de cobertura e uso do solo, exercem sobre esse espaço geográfico.

Nesse contexto, o mapeamento é importante para o entendimento do atual estado ambiental da bacia, uma vez que podem ser identificadas áreas para conservação, recuperação e uso de solo. Para a construção do mapa de regiões, é necessário a elaboração de uma Matriz Geoecológica, a qual deve considerar os fatores morfoestruturais, climáticos e fitogeográficos, bem como suas correlações que regem a dinâmica dentro da bacia hidrográfica. Para tal, serão caracterizados e espacializados componentes da paisagem na bacia hidrográfica do rio Taperoá, com aporte de bancos de dados geográficos em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica).

## **6.1 Variáveis da Matriz Geoecológica**

Para a construção da Matriz Geoecológica da bacia do rio Taperoá, são considerados os seguintes fatores: Índice de Aridez, Erosividade, Geologia, Geomorfologia e Cobertura e Uso da BHRT. Tal matriz possui cruzamentos que definem áreas em que a paisagem da bacia em questão precisa ser: Recuperada Integralmente (R), Parcialmente (RP), Conservada Parcialmente (CP) ou Integralmente (C) e se entra em Uso Restrito (UR) ou Consciente (U). Além disso, são classificadas as áreas de Interesse Geológico (IG).

### **6.1.1 Índice de Aridez**

Os índices pluviométricos na BHRT, aliados a má gestão dos recursos naturais, acarretam problemas socioambientais na região. Sendo assim, optou-se pela utilização do índice de aridez (Ia) para compor a construção da matriz - visto que dentre as características do clima, esse indicador está relacionado a insuficiência de precipitação adequada para manter uma vegetação.

Compreende-se, portanto, que o grau de aridez de certa região depende da quantidade de água proveniente da precipitação e da perda, possivelmente total, de água através da evaporação e transpiração ou evapotranspiração potencial. (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO,

2009). Diversas metodologias podem ser encontradas para a realização do cálculo do índice de aridez, porém para a presente pesquisa, foi escolhida a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), uma vez que a carência de dados foi o fator determinante para essa escolha.

Segundo tal metodologia, a evapotranspiração potencial (ETP) (média) é calculada através da Equação:

$$ETP = 16,2 [10.T / I]a$$

Onde  $T$  corresponde a temperatura média condensada mensal do ar (°C) e  $I$  o índice de calor. O valor de  $a$  é determinado em função do  $I$ , de acordo com a Equação:

$$a = 6,750 \times 10^{-3} I - 7,711 \times 10^{-5} I + 1,792 \times 10^{-2} I + 0,492$$

Esse cálculo foi realizado com o auxílio da planilha eletrônica “BHnorm61” (Figura 40), elaborada por Rolim *et al.* (1998), a qual obteve o valor da precipitação e da evapotranspiração no formato anual; a fim de apurar o índice de aridez.

Tempo	Num de Dias	NDA	T °C	P mm	N horas	I	ETP Thornthwaite 1948	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Jan	31	1	26,9	31	12,39	12,78	149,67	-118,7	-2421,3	0,0	0,0	31,0	118,7	0,0
Fev	28	32	26,8	55,4	12,29	12,70	133,21	-77,8	-2499,1	0,0	0,0	55,4	77,8	0,0
Mar	31	60	26,8	82,3	12,13	12,70	145,60	-83,3	-2562,4	0,0	0,0	82,3	63,3	0,0
Abr	30	91	26,5	106,8	11,94	12,49	135,80	-29,0	-2591,4	0,0	0,0	106,8	29,0	0,0
Mai	31	121	25,5	54,1	11,75	11,78	119,75	-65,7	-2657,0	0,0	0,0	54,1	65,7	0,0
Jun	30	152	24,0	59,9	11,63	10,75	92,72	-32,8	-2699,8	0,0	0,0	59,9	32,8	0,0
Jul	31	182	23,4	55,6	11,61	10,35	87,54	-31,9	-2721,8	0,0	0,0	55,6	31,9	0,0
Ago	31	213	23,9	21,5	11,70	10,88	95,04	-73,5	-2795,3	0,0	0,0	21,5	73,5	0,0
Set	30	244	25,1	13,1	11,67	11,50	110,78	-97,7	-2893,0	0,0	0,0	13,1	97,7	0,0
Out	31	274	26,4	6	12,07	12,42	138,82	-132,8	-3025,8	0,0	0,0	6,0	132,8	0,0
Nov	30	305	27,1	6,5	12,25	12,92	145,07	-138,6	-3164,4	0,0	0,0	6,5	138,6	0,0
Dez	31	335	27,0	16,6	12,38	12,85	150,43	-133,8	-3288,2	0,0	0,0	16,6	133,8	0,0
<b>TOTALS</b>			309,4	508,8			1504,4		-995,6		0,0	508,8	995,6	0,0
<b>MEDIAS</b>			26	42			125				± 0	42	83	0

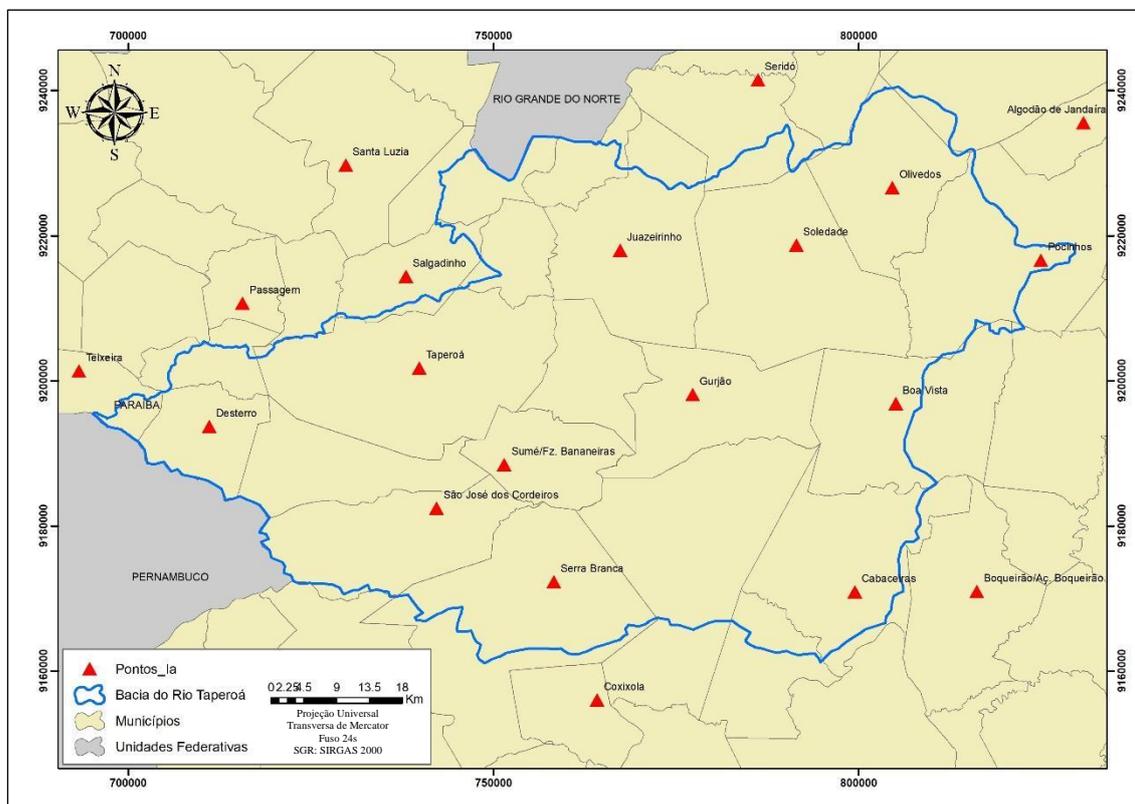
Cálculo do Fotoperíodo		
Δ	hn	N
-23,01	92,95	12,39
-17,52	92,19	12,29
-8,29	91,01	12,13
4,02	89,51	11,94
14,90	88,15	11,75
22,04	87,19	11,63
23,12	87,04	11,61
17,91	87,76	11,70
7,72	89,06	11,67
-4,22	90,51	12,07
-15,36	91,91	12,25
-22,11	92,82	12,38

Figura 40: Planilha eletrônica “BHnorm61” (ROLIM et al., 1998)

O Índice de Aridez (IA) foi desenvolvido por Thornthwaite (1948) e complementado por Penman (1953), o qual pôde ser calculado pela Equação:

$$IA = \text{Precipitação}/ETP$$

Desse modo, para a aplicação da equação, foram utilizadas as médias de pluviosidade de 30 anos estabelecida pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), para cada mês do ano, além de estar disponível na AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) (ANEXO 1). Com isso, foram escolhidas estações da BHRT e regiões em seu entorno (Figura 41) para que, após o cálculo do IA, fosse criada uma interpolação espacial. Assim, através dos presentes dados foram originados os índices de forma contínua para toda a área da bacia.



Outro insumo foi a média da série histórica de temperatura da estação São João do Cariri, desde 1987. Essa segunda etapa se fez necessária, pois não há dados históricos de temperatura para cada estação utilizada no processamento. Cabe destacar, que a variação da temperatura média ao longo da bacia é baixa, fato que pode ser validado utilizando as imagens termais do satélite Landsat 8. Desta forma, foi realizado o cálculo da temperatura

média dessa estação ao longo de 30 anos (Tabela 10) para que a tempérie fosse considerada na aplicação do modelo do índice de aridez. A figura 42 apresenta o fluxograma resumindo essa etapa.

Após os cálculos e a interpolação (Figura 43), houve a necessidade de adaptar as classes do índice estabelecidas pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP,1992) para a realidade semiárida da bacia. Ela, então, apresenta como índice de aridez os valores mínimos 0,2 e o máximo 0,55, com a média de 0,33 e um desvio padrão de 0,04 - valor baixo demonstrando valores oscilando próximos à média.

Tabela 10: Média de temperaturas em 30 anos da estação São João do Cariri.:

Mês	Média de temperatura da estação São João do Cariri ao longo de 30 anos. (C)
Jan	26.9°
Fev	26.8°
Mar	26.8°
Abr	26.5°
Mai	25.5°
Jun	24°
Jul	23.4°
Ago	23.9°
Set	25.1°
Out	26.4°
Nov	27.1°
Dez	27.0°
Méd.	25.8°

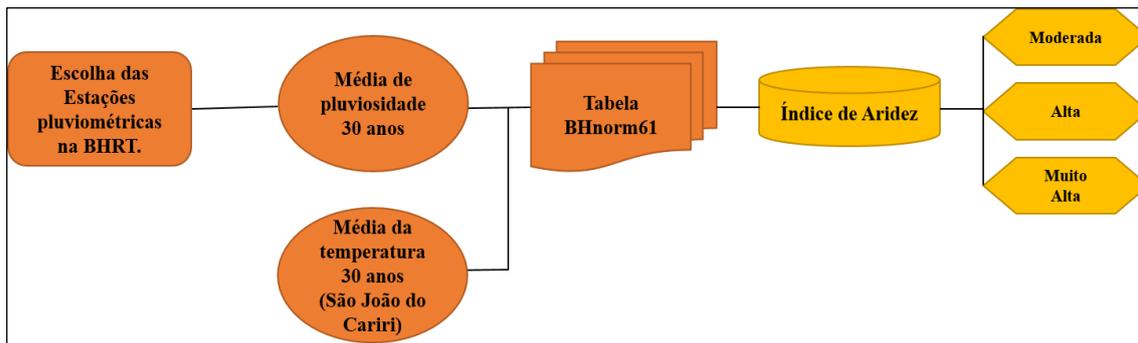


Figura 42: Fluxograma do cálculo do índice de aridez.

Para essa adaptação foram considerados os valores gerados no interior da bacia, ajustada a realidade do semiárido nordestino. Os valores, se considerar a classificação da UNEP (1992) (Tabela 11), colocariam as áreas da bacia nas classes árida e subúmida seca. Desta forma, analisando o espectro de valores do IA, foram estipuladas novas classes para a classificação da matriz. Sendo assim, as áreas da BHRT que apresentaram os valores entre 0,2 e 0,3 enquadraram-se na classe Muito Alta, já entre 0,3 e 0,4 na classe Alta e acima de 0,4 na classe Moderada (Tabela 12). Após a adaptação foi gerado um mapa com as classes qualitativas. (Figura 43)

Tabela 11: Classificação da UNEP.

Classes Climáticas	IA
Úmido	$IA \geq 1,00$
Subsumido úmido	$0,65 < IA < 1,00$
Subsumido seco	$0,50 < IA \leq 0,65$
Árido	$0,20 < IA \leq 0,50$
Hiperárido	$IA \leq 0,05$

Tabela 12: espectro de valores do Índice de Aridez

Classe da Matriz	IA
Muito Alto	$0,2 \leq IA < 0,3$
Alta	$0,3 \leq IA < 0,4$
Moderada	$IA \geq 0,4$

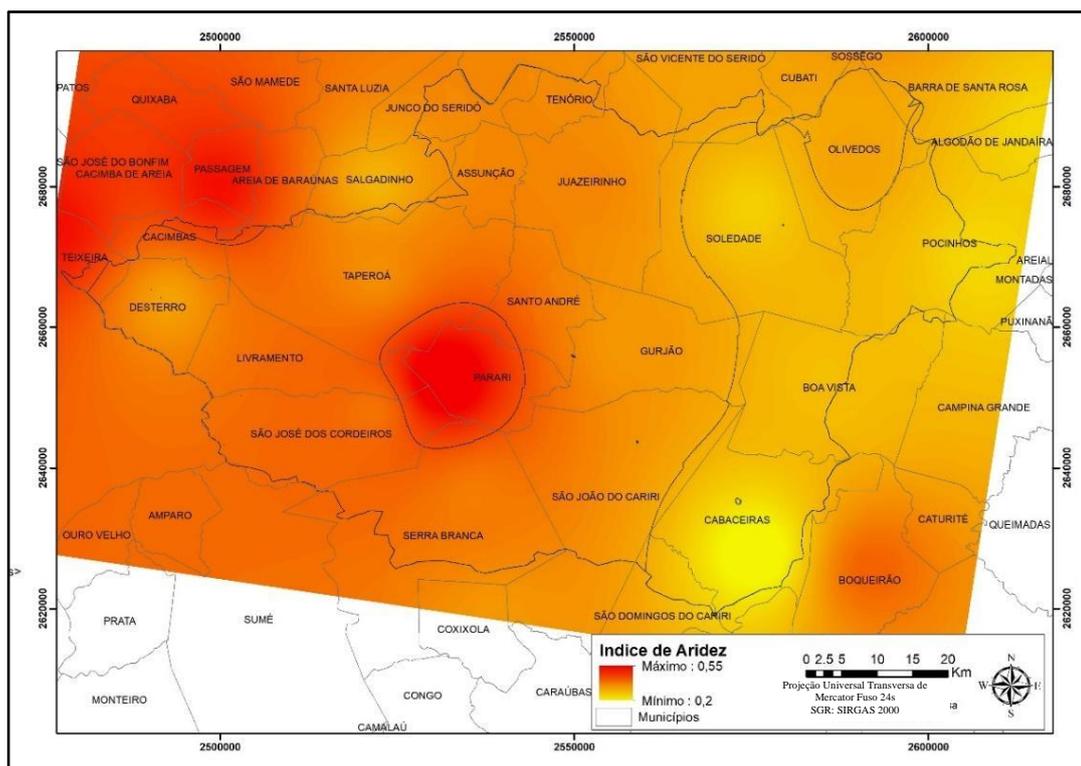


Figura 43: Interpolação do índice de aridez.

Na Figura 44 observa-se uma distribuição nitidamente regionalizada na bacia das classes de IA moderada e alta. Enquanto uma está concentrada ao extremo leste da bacia, compondo uma área de 27,56%, a outra é localizada no centro e a oeste da bacia, representando mais da metade da BHRT com uma área de 66,53% respectivamente. Já a classe Muito Alta possui uma localização mais pontual ao centro da bacia, apresentando dois pequenos focos nos municípios de Teixeira e Cacimbas com uma área total de 5,91%.



adotada por Maciel (2014) (Tabela 13), que por sua vez, reestruturou os valores das classes universais propostas por Carvalho (1994).

A reorganização de classes proposta pelo autor, deve-se ao fato da baixa precipitação na região que impacta diretamente na erosão da bacia hidrográfica. Desta forma, Maciel (2014) passa a considerar a divisão de classes de acordo com valores, além da própria dinâmica da BHRT. Assim, para a realização da erosividade na Matriz Geoecológica, foram feitas adaptações frente a esses valores, isto é, foram generalizadas duas classes da tabela adotada pelo autor, sendo elas: as classes muito baixa, baixa, alta e muito alta. Apenas a classe de erosividade média não foi alterada, sendo considerado o mesmo valor, que é apresentado na tabela 13.

A figura 45 apresenta o mapa com as classes de Erosividade e nele, é possível observar uma regionalização no qual os valores do índice aumentam de leste para o oeste da BHRT. Além disso, é possível analisar que os municípios de Taperoá, Livramento, São José dos Cordeiros, Cacimbas, Desterro, Parari, Assunção, Junco do Seridó e Serra Branca têm grande parte de seus territórios em áreas de alto potencial erosivo. Enquanto os municípios de Gurjão e Juazeirinho estão em áreas de médio potencial erosivo, os municípios de Olivedos, Pocinhos, Campina Grande, Boa Vista, Cabaceiras, São João do Cariri e São Domingos do Cariri estão, em sua maioria, em áreas de baixo potencial erosivo.

Tabela 13: Classes de erosividade propostas por Maciel (2014) para BHRT e da Matriz Geoecológica.

<b>Classes de Potencial Erosivo</b>	<b>Fator R (MJ.mm/ha.ano)</b>	<b>Matriz Geoecológica</b>
Muito Baixa	2000-2533	Baixa
Baixa	2534-3055	
Média	3056-3575	Média
Alta	3576-4100	Alta
Muito Alta	4101-4700	

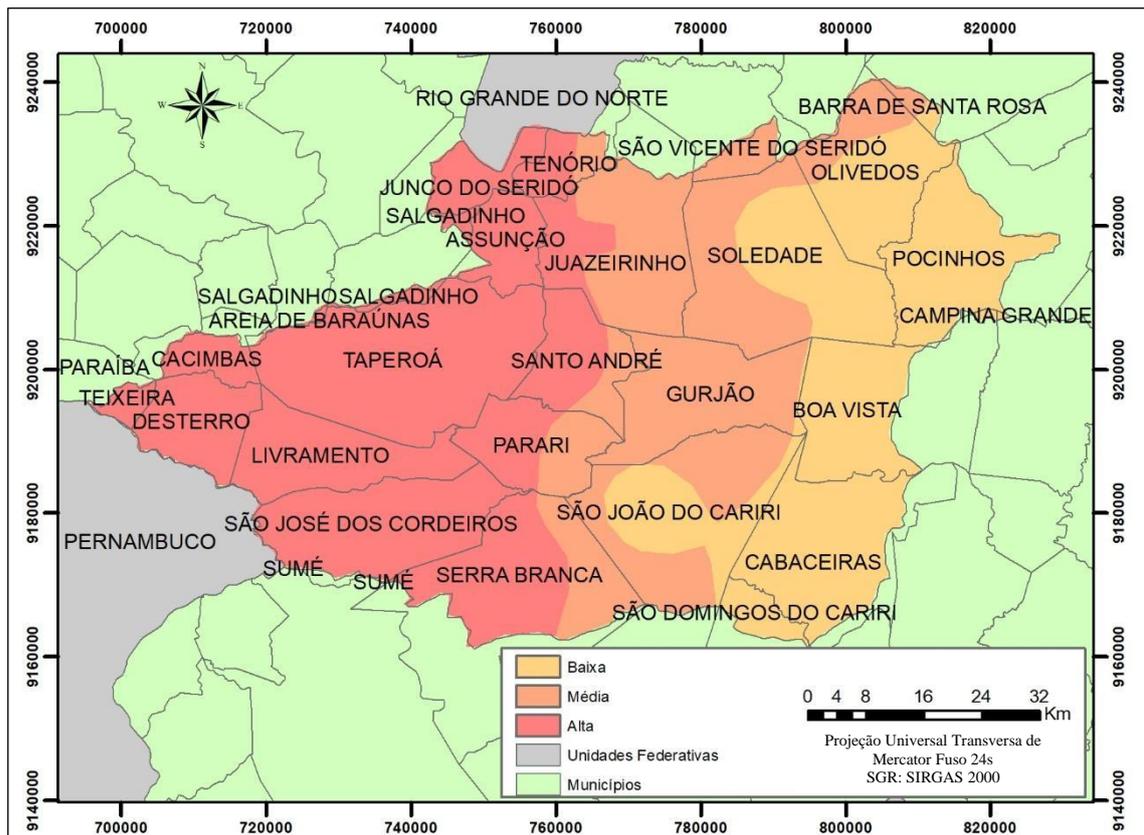


Figura 45: Mapa de erosividade da BHRT.

### 6.1.3 Mapa Geológico da BHRT

O mapa geológico da bacia sofreu generalizações para se adaptar a matriz e por este motivo, buscou-se montar classes que abrangessem as áreas de interesse geológico, assim como regiões específicas e de predominâncias (Figura 46). Desse modo, totalizaram seis (6) classes que foram divididas em: Demais Coberturas Metamórficas, que compõem a maior parte da bacia com 2817,35 km<sup>2</sup>; Depósitos Sedimentares, com apenas 79,94 km<sup>2</sup> com sua concentração mais ao norte da bacia; Metacalcário, Xistos e Quartzitos, apresentando 621,27 Km<sup>2</sup> com áreas pontuais ao sul, nordeste e norte; Rochas Sedimentares, com 268,01 Km<sup>2</sup> localizada mais a sudeste da bacia; Suítes Intrusivas e Granitoides Indiscriminados, sendo a segunda maior classe da bacia, com 2048,15 Km<sup>2</sup> abrangendo todas as regiões e, por fim, Suíte Máfica, com apenas 42,44 km<sup>2</sup> ocorrendo em apenas dois pontos da BHRT (Tabela 14).

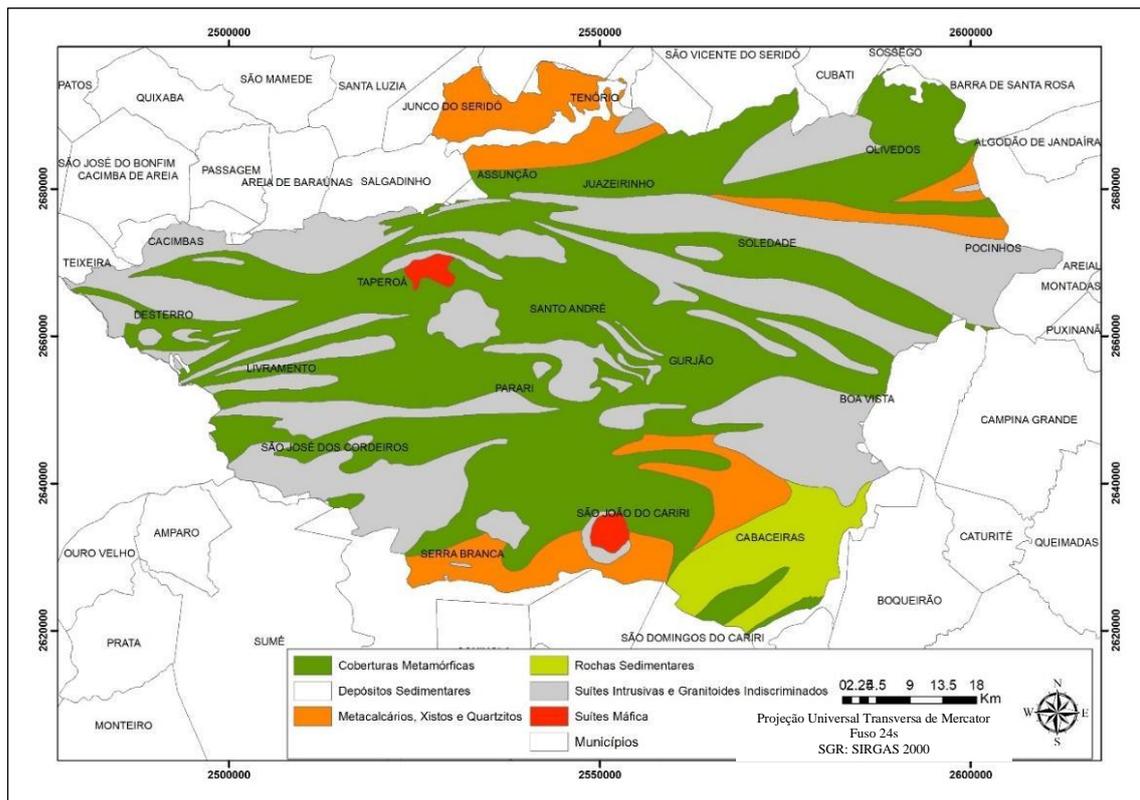


Figura 46: Mapa Geológico da BHRT.

Tabela 14: Classes Geológicas na BHRT quanto suas áreas de abrangência.:

<b>ÁREA DAS CLASSES PARA A BHRT (KM<sup>2</sup>)</b>	
Cobertura Metamórfica	2817.35
Depósitos Sedimentares	79.94
Metacalcário, Xistos e Quartzitos	627.61
Rochas Sedimentares	268.01
Suítes Intrusivas e Granitoides Indiscriminados	2048.15
Suítes Máfica	42.44

### 6.1.4 Mapa Geomorfológico

A classificação geomorfológica utilizada, elaborada por Xavier *et al* (2016), na escala 1:100:000 resultou nas classes e parâmetros abaixo:

- Serras com Topos Ondulados: Amplitudes acima de 100m e declividade acima de 12°;
- Serras com Topos Suaves: Amplitudes acima de 100m e declividade inferior a 12°;
- Superfície Suavemente Ondulada: Amplitude entre 40 e 100m e declividade inferior a 12°
- Superfície Aplainada: Amplitude inferior a 40m e declividade inferior a 12°.

Pelo fato da variação de relevo ser bem sucinta na região, optou-se pela divisão em duas classes: Superfície Aplainada, utilizada pelo motivo de boa marcação em áreas planas e Topos Suaves – sendo esta denominada devido à generalização das classes restantes. (Figura 47 e 48).

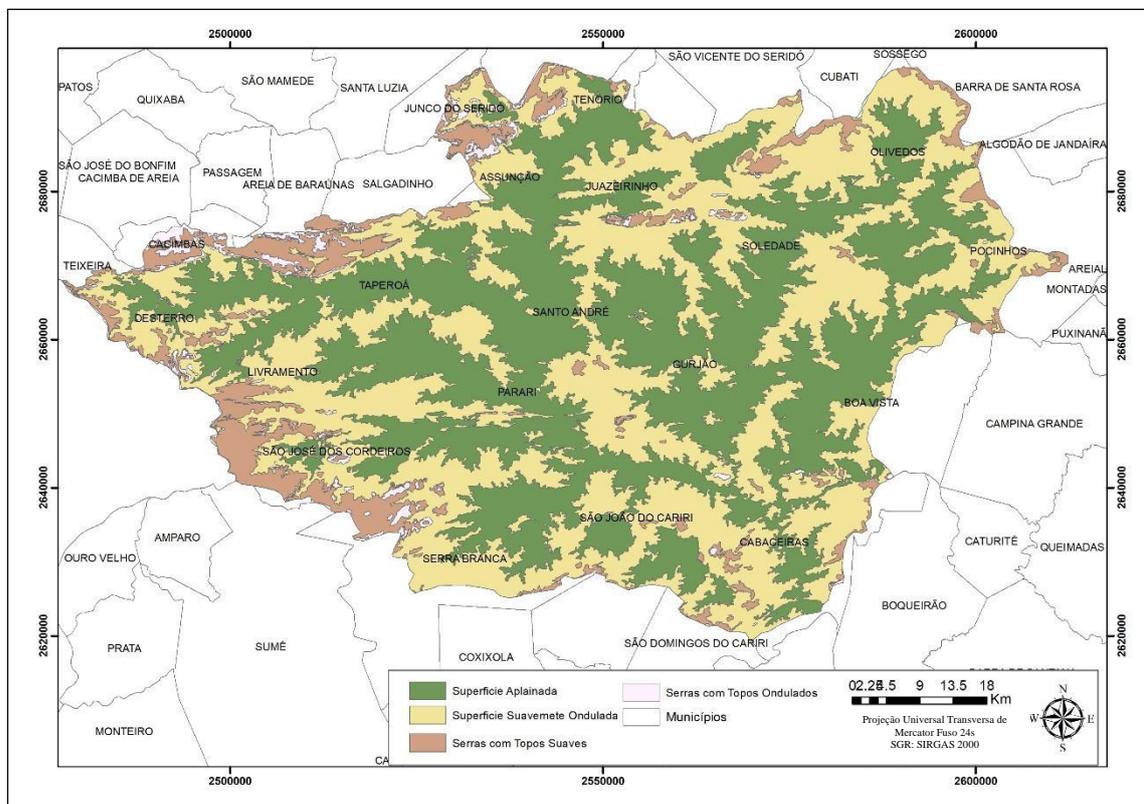


Figura 47: Mapa Geomorfológico da BHRT (Xavier et al, 2014).

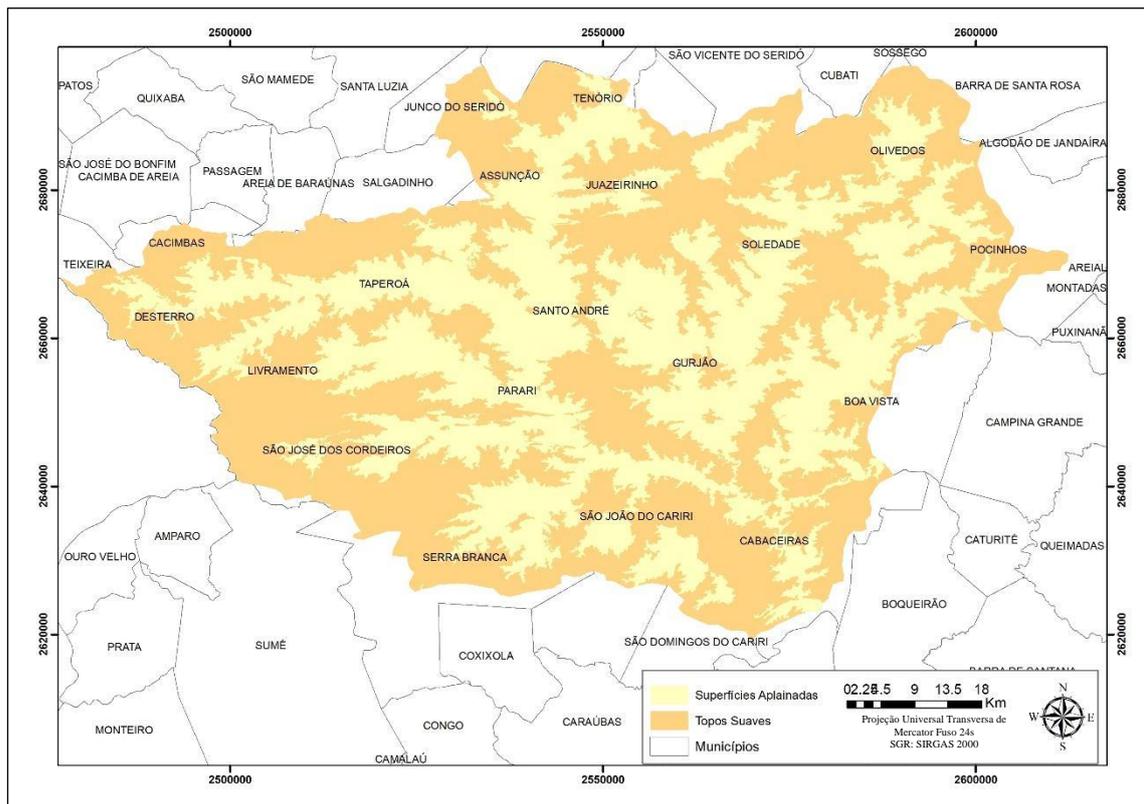


Figura 48: Generalização do mapeamento geomorfológico para a matriz geocológica.

## 6.2 Construção da Matriz Geocológica

A matriz foi construída sendo composta pelas variáveis: Índice de Aridez, Índice de Erosividade e Cobertura da Terra, em suas três primeiras colunas. Em suas linhas estão divisões qualitativas referentes a cada classe de mapeamento temático. Em seguida, contém a coluna geologia que é composta por duas linhas: na primeira estão as classes geológicas e na segunda é onde verificamos se essas se encontram em áreas de topos suaves ou superfícies aplainadas. Todas as classes dos dados temáticos receberam uma numeração específica de forma em que sua posição e a posição de cada célula cruzada na matriz, fosse codificada. A figura 10 apresenta a organização de montagem da matriz.

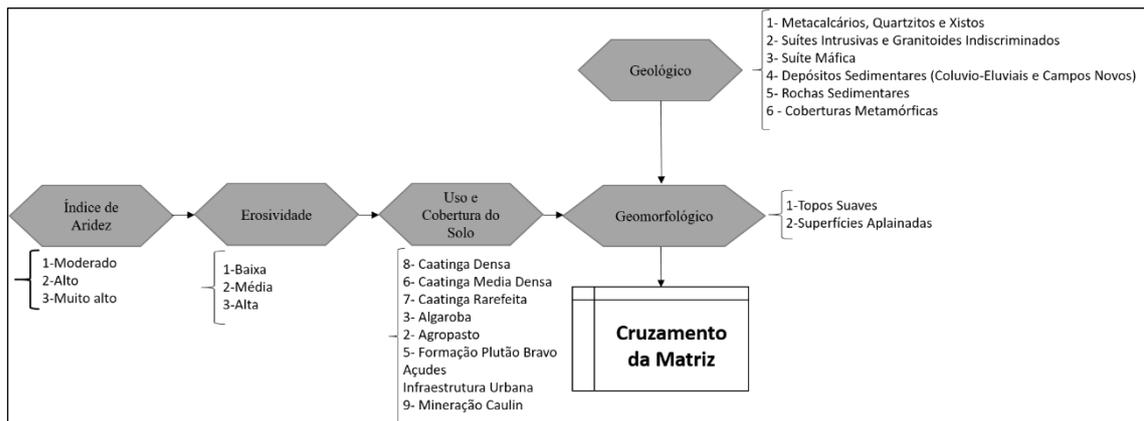


Figura 49: Fluxograma de montagem da matriz geocológica.

A classificação de suas células é dividida em: Conservação (C), Conservação (CP) Parcial, Recuperação, Recuperação Parcial (RP), Uso Consciente (U) e Uso Restrito (UR). Todas as classes podem conter áreas de interesse geológico e são classificadas como C-IG, CP-IG, R-IG, RP-IG e UR-IG. Sendo assim, as classes presentes na matriz junto com sua caracterização, são apresentadas abaixo:

- **Áreas de Conservação:** foram consideradas as áreas onde a caatinga está conservada, apresentando densidade em sua vegetação, independentemente de sua fitofisionomia. Tais áreas precisam ser conservadas por sua abrangência, sendo consideradas fundamentais ou para a manutenção hidroecológica ou por possuírem interesse geológico na BHRT.
- **Áreas de Conservação Parcial:** são regiões que, apesar de serem conservadas, estão isoladas em zonas de pressão por conta de determinados tipos de uso - seja pelo tipo de uso ou pela expansão da infraestrutura urbana na região. Ademais, não se encontram em áreas de ocorrência de grandes processos erosivos ou sobre risco de desertificação. Desse modo, optou-se por essa estratégia como uma forma de flexibilizar o uso, deixando-as com baixa prioridade em relação a conservação total priorizando, apenas, as áreas contempladas pela legislação.
- **Áreas de Recuperação:** áreas-chaves a serem recuperadas na bacia, as quais apresentam a caatinga ausente ou degradada - seja em áreas em regiões de aridez e/ou erosividade elevada. Em outras palavras, regiões sujeitas a desertificação.

- Áreas de Recuperação Parcial: áreas destinadas ao uso agropecuário consciente, preservando áreas de APP de rios e nascentes.
- Uso Consciente: áreas de uso agropecuário já consolidado, o qual deve-se respeitar as normas impostas pela legislação vigente.
- Uso Restrito: áreas com uso agropecuário em regiões sensíveis ao geossistema da bacia. Essas regiões necessitam de um plano de manejo com técnicas específicas para permanecerem sendo utilizadas para fins agropastoris.
- Regiões de Interesse Geológico: essa subclasse estará sempre presente no cruzamento das classes geológicas: suítes máfias e suítes intrusivas/granitoides indiscriminados. Além disso, estará também nas classes de uso e cobertura do solo e formação plutão bravo, contemplando os interesses geológicos de maior evidência na BHRT.

Com a matriz classificada, foi dado início a etapa de geoprocessamento. Nessa etapa, os dados temáticos foram transformados em *raster* com a devida numeração de suas classes. Em seguida, foi aplicada a ferramenta *combine* do *arctoolbox* no *ArcMap* 10.5 e como resultado, originou a classificação do cruzamento da matriz com os respectivos códigos. Após essas etapas o arquivo originado classificado foi convertido em vetor para as edições finais.

Essas edições passaram primeiramente por uma generalização em que pequenas áreas, contendo 100 h inseridas e isoladas dentro de outras classes, foram incorporadas à classe predominante. Por fim, tiveram as edições das regiões pelo contexto, levando em consideração o uso predominante observado pelas imagens de satélites, a região da APA, dos Geoparques e o Geomorfológico. A Figura 50 apresenta o fluxograma do processamento digital do mapeamento.

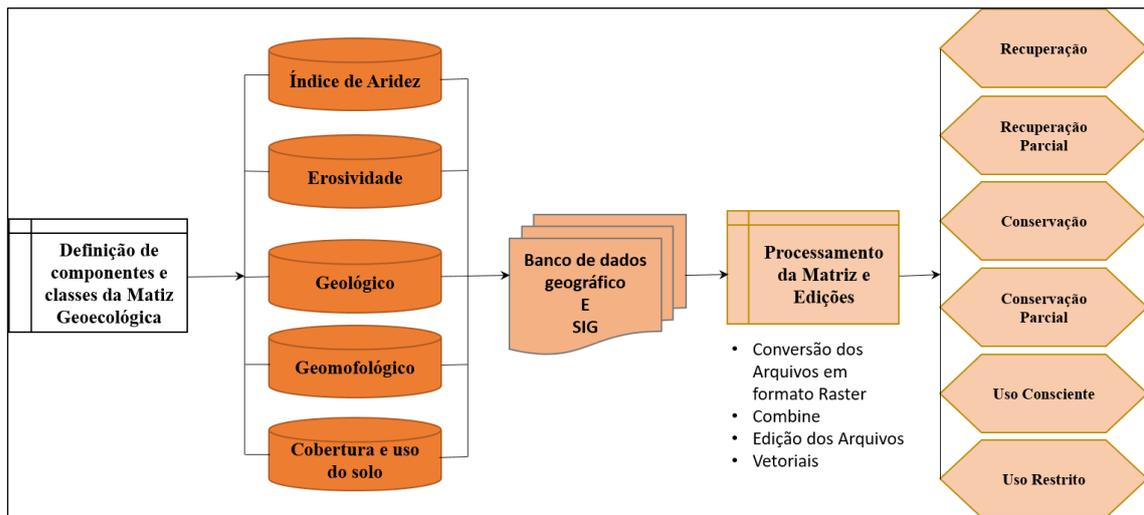


Figura 50: Fluxograma de processamento da matriz geoecológica.

### 6.3 Cruzamento da Matriz Geoecológica

Obteve-se, com resultados do cruzamento da matriz, 456 combinações possíveis que podem ser verificadas na matriz completa no anexo 2. Desta forma, um primeiro destaque desses cruzamentos são as duas primeiras colunas, em que as classes: Aridez Moderada x Erosividade Alta; Aridez Muito Alta x Erosividade Alta e Aridez Muito Alta x Erosividade Baixa, não apresentaram nenhuma combinação. Como consequência disso, as áreas sujeitas a desertificação e um alto índice de erosão que seriam as regiões de maior gravidade, de acordo com a matriz, não existem dentro da BHRT.

Das combinações possíveis, apenas 156 foram identificadas para a Matriz e serão apresentadas em partes abaixo. Na tabela 6, podem ser observadas as combinações referentes ao índice de aridez moderado e erosividade média e baixa. Para a combinação Aridez Moderada x Erosividade Média, as regiões de caatinga densa e agropasto são mais presentes, apresentando apenas duas áreas de caatinga média densa. Quanto à geologia, as regiões de suítes intrusivas/granitoides indiscriminados e coberturas metamórficas estão mais presentes - sendo a primeira uma área de interesse geológico, colocando as classes de Caatinga Densa, Recuperação para Caatinga Média Densa e Uso Restrito como Conservação, mesmo estando em superfícies aplainadas ou topos suaves.

Já a combinação das classes Aridez Moderada x Erosividade Baixa (Quadro 4), apresentam 48 cruzamentos do total possível da BHRT. Essa parte da matriz é considerada a região de menor gravidade na bacia, devido aos menores valores de aridez e erosão. Sendo assim, as áreas de interesse geológico mantiveram a mesma premissa em sua classificação,

porém as regiões referentes às áreas de caatinga e algaraboa ganharam uma flexibilização quanto ao uso: apresentando áreas de recuperação parcial, as quais tornaram áreas de possível uso na região. Por último, a classe de uso e cobertura Formação Plutão Bravo, ultrapassa as classes de seu limite geológico e, isso ocorre devido à escala do mapeamento geológico que foi resolvido nas edições do mapeamento final.

O quadro 5 apresenta o cruzamento das colunas Aridez Alta com as colunas de Erosividade Alta, Média e Baixa. Em relação as linhas no cruzamento da Aridez Alta x Erosividade Alta, o predomínio na classificação foram as classes C, U e UR com apenas 11 áreas de representatividade na BHRT. Já as linhas Aridez Alta x Erosividade Média foram representadas por 48 combinações na bacia, deixando de fora apenas as rochas sedimentares - existindo uma predominância de áreas tanto de Recuperação quanto de Recuperação Parcial. Por fim, a Aridez Alta x Erosividade média apresentaram, também, destaque para as áreas de CP e RP com 37 combinações.

Ainda na discussão da matriz, o quadro 6 representa, apenas, as 8 combinações compostas pela Aridez Muito Alta x Erosividade Média. Representada apenas pelas classes C, C-IG, R, R-IG, o cruzamento dessas variáveis indica junto com Aridez Alta x Erosividade Alta a pior combinação dentro da matriz apresentando, ora regiões com altíssima possibilidade de desertificação com processos erosivos medianos, ora uma alta probabilidade com processos erosivos altos.

Quadro 4: Tabela da matriz geocológica de IA moderado.

Matriz Geocológica			Geológico												
			Metacalcários, Quartzitos e Xistos		Suítes Intrusivas e Granitoides Indiscriminados		Suíte Máfica		Depósitos Sedimentares (Colúvio-Eluviais e Campos Novos)		Rochas Sedimentares (Sumé)		Coberturas Metamórficas		
Índice de Aridez	Erosividade	Uso e cobertura da terra	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	
Moderada	Média	Caatinga Densa	C	C	C - IG	C - IG	CP - IG	C-IG	C	C	C	C	C	C	
		Caatinga Média Densa	R	RP	C - IG	C - IG	R - IG	R - IG	R	RP	R	RP	R	RP	
		Caatinga Rarefeita	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP
		Algaroba	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	UR	U
		Agropasto	U	U	U-IG	U-IG	U-IG	U-IG	U	U	U	U	U	U	U
	Baixa	Caatinga Densa	C	CP	C-IG	CP-IG	C	CP	C	CP	C	CP	C	CP	CP
		Caatinga Média Densa	RP	RP	RP-IG	RP-IG	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP
		Caatinga Rarefeita	RP	RP	RP-IG	RP-IG	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP
		Algaroba	RP	RP	RP-IG	RP-IG	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP
		Agropasto	U	U	UR-IG	UR-IG	U	U	U	U	U	U	U	U	U
		Formação Plutão Bravo	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG

Quadro 5: Tabela da matriz geocológica de IA alto.

Matriz Geocológica			Geológico											
			Metacalcários, Quartzitos e Xistos		Suítes Intrusivas e Granitoides Indiscriminados		Suíte Máfica		Depósitos Sedimentares (Colúvio-Eluviais e Campos Novos)		Rochas Sedimentares (Sumé)		Coberturas Metamórficas	
Índice de Aridez	Erosividade	Uso e cobertura da terra	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas
Alta	Alta	Caatinga Densa	C	C	C-IG	C-IG	C - IG	C - IG	C	C	C	C	C	C
		Caatinga Média Densa	R	R	R - IG	R	R	R	R	R	R	R	R	R
		Algaroba	C	C	RP-IG	C	C	C	C	C	C	C	R	R
	Média)	Caatinga Densa	C	C	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C	C	C	C	C	C
		Caatinga Média Densa	R	R	R-IG	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R	R
		Caatinga Rarefeita	RP	RP	RP-IG	RP-IG	RP-IG	RP-IG	RP	RP	RP	RP	RP	RP
		Algaroba	RP	RP	RP-IG	RP-IG	RP-IG	RP-IG	RP	RP	RP	RP	RP	RP
		Agropasto	U	U	UR-IG	UR-IG	U-IG	UR-IG	U	U	U	U	U	U
		Mineração (Caulin)	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Baixa	Caatinga Densa	C	C	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	CP	CP	CP	CP	CP	CP
		Caatinga Média Densa	RP	RP	R - IG	R - IG	R - IG	R-IG	RP	RP	RP	RP	RP	RP
		Caatinga Rarefeita	RP	RP	R-IG	R - IG	RP - IG	RP - IG	RP	RP	RP	RP	RP	RP
		Algaroba	RP	RP	R - IG	R - IG	R - IG	R - IG	R	UR	RP	UR	RP	RP
		Agropasto	U	U	UR-IG	UR-IG	UR-IG	UR-IG	U	U	U	U	U	U

Quadro 6: Matriz geocológica de IA Muito Alto.

Matriz Geocológica			Geológico												
			Metacalcários, Quartzitos e Xistos		Suítes Intrusivas e Granitoides Indiscriminados		Suíte Máfica		Depósitos Sedimentares (Colúvio-Eluviais e Campos Novos)		Rochas Sedimentares (Sumé)		Coberturas Metamórficas		
Índice de Aridez	Erosividade	Uso e cobertura da terra	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	Topos Suaves	Superfícies Aplainadas	
Muito Alta	Média	Caatinga Densa	C	C	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C	C	C	C	C	
		Caatinga Média Densa	C	C	R - IG	R - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C	C	C	R	R	
		Caatinga Rarefeita	R	R	R - IG	R - IG	R - IG	R - IG	R - IG	R	R	R	R	R	R
		Algaroba	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

## **6.4 Delimitação das Áreas de Preservação Permanentes**

Segundo a lei Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012, as áreas de preservação permanentes são áreas protegidas:

(...) coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. (BRASIL, 2012)

Dessa forma, as áreas de APP são áreas tidas como prioritárias, devendo ser preservadas com o objetivo de causar o mínimo de impacto nos geossistemas. Embora a definição dessas áreas siga uma série de critérios, a legislação não fornece parâmetros fundamentais para a delimitações de APPs, como por exemplo: escala cartográfica de mapeamento. Com o rápido avanço das geotecnologias, dados vetoriais e matriciais estão cada vez mais disponíveis em menor tempo e com maior precisão. Diante disso, surgem as seguintes perguntas: Qual tipo de metodologia e dados devem ser utilizados? Qual precisão é tolerável nesse tipo de mapeamento?

Nesse caso, surgem alternativas metodológicas frente a diferentes recortes geográficos que atendem as mais diversas demandas: sejam para a gestão de uma bacia hidrográfica ou no georreferenciamento de imóveis rurais e delimitação de reservas legais. Por isso, o mapeamento dessas áreas nesta pesquisa adota a escala 1:100.000, utilizando como insumos o SRTM (Missão Topográfica Radar Shuttle) com tamanho de pixel 30m, o mapeamento dos açudes feito nas etapas anteriores e por fim, a base hidrográfica da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) - também na escala 1:100.000. Os subtópicos a seguir apresentam as APP da BHRT, bem como as respectivas metodologias para suas delimitações.

### **6.4.1 APP de Encosta**

O art. 4 § 5º do código florestal brasileiro (lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012) coloca as áreas de APP de encosta como “encostas ou partes delas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% (cem por cento), na linha de maior declive” (BRASIL, 2012).

Desta forma, foi preciso mensurar as declividades na região e para tal, foi utilizado o MDE (Modelos Digitais de Elevação) do SRTM (Missão Topográfica Radar Shuttle), além

de ter sido calculada a declividade, em que as áreas superiores a 45° foram separadas e transformadas em vetor, efetuando em seguida, o cálculo de suas áreas.

Como já citado anteriormente, a região não apresenta alta variedade de relevo e possui, como consequência, apenas 0.29 km<sup>2</sup> de área, onde a maior parte é composta por caatinga densa com apresentado na Tabela 15.

Tabela 15: Classes de uso do solo nas APPs de encostas.

<b>Usos em Área de APP (Encostas)</b>	<b>Áreas Km<sup>2</sup></b>
Algaroba	0.01
Caatinga Densa	0.27
Caatinga Médio-Densa	0.01
Total	0.29

#### **6.4.2 APP de Topo de Morro**

As APPs de topo de morro são as que geram mais desafios em sua delimitação. O art. 4 § 5 (lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012) especifica que:

Art. 4 § 5. no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo está definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação. (BRASIL, 2012)

Desta forma, para a delimitação do que seria um topo de morro, monte, montanhas ou serras, é preciso seguir uma série de critérios; isso se for pensar na delimitação dessas áreas dentro da cartografia digital e do geoprocessamento.

Sendo assim, para a delimitação desta APP, foi utilizada a ferramenta *Topographic Position Index* (TPI)<sup>3</sup> (JENNESS, 2006) para definir o plano horizontal das superfícies elevadas - isto é, definir a forma dos possíveis morros. Essa ferramenta estabelece a diferença

---

<sup>3</sup> Para informação mais detalhada da geração do TPI, consultar:  
[http://www.jennessent.com/downloads/TPI\\_Documentation\\_online.pdf](http://www.jennessent.com/downloads/TPI_Documentation_online.pdf)

do valor da elevação junto com a elevação média em seu entorno, e através de diferentes escalas (raios) o usuário pode classificar diferentes categorias de relevo em cima de um MDE.

Os raios utilizados na delimitação do relevo foram de 50 e 10 pixels, estabelecendo o que seriam os morros. A Figura 51 apresenta, através da classificação de Jenness (2006), as colinas em vale que estão na coloração marrom e compõem a maior parte do morro, enquanto as áreas em bege, são consideradas de declividade média. A determinação desses raios foi feita de modo empírico, sempre comparando os resultados com as curvas de nível geradas pelo modelo SRTM (Missão Topográfica Radar Shuttle).

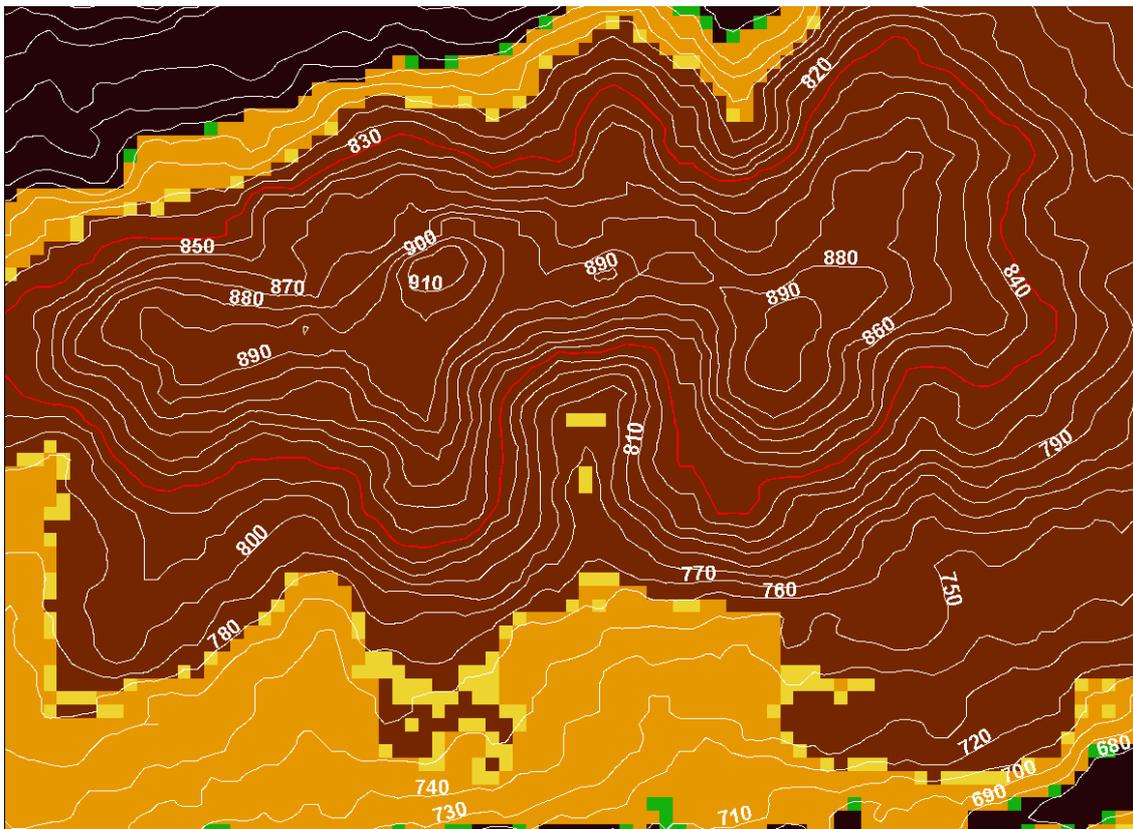


Figura 51: Delimitação do 1/3 do topo de morro.

Após essa delimitação, foram localizados os pontos na bacia com uma declividade maior do que 25° e, por conseguinte, foi aplicada a fórmula:

$$Capp = Na (Colinas em vale) - \left( \frac{Na(Colinas em vale) - Nb (Declividade média)}{3} \right)$$

Apresenta, então, o Na como o nível mais alto localizado nas colinas em vale e Nb como o nível mais baixo localizado na declividade média. Definidas as áreas de topo de morro, percebe-se, novamente, que devido às condições geomorfológicas na bacia, as áreas que compõem essa APP são pequenas e concentradas, apenas, em alguns pontos de relevo mais acidentado. (Figura 52)

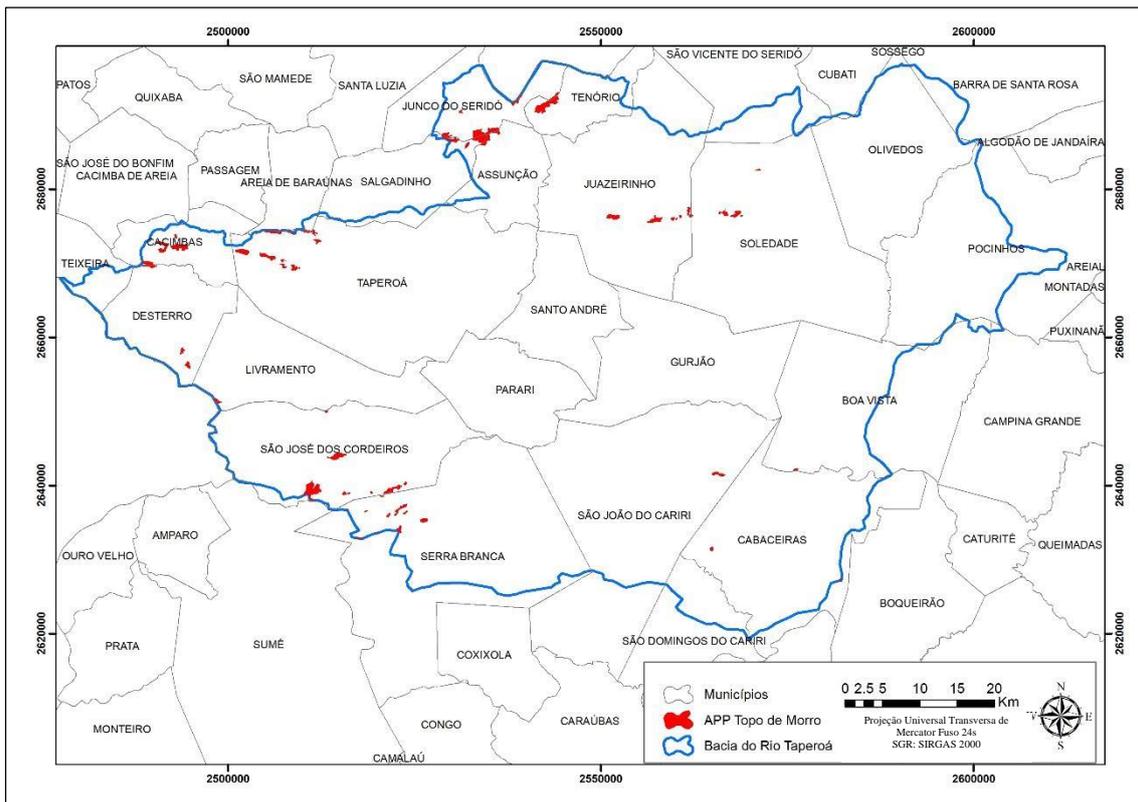


Figura 52: Apps em topo de morro

Em seguida, foi calculada a área referente às coberturas e usos que as compõem, apresentando resultados favoráveis ao estado de conservação, com 33,27 km<sup>2</sup> compostos por caatinga densa e apenas um fator de alerta nas áreas onde há extração de caulim. Por ser uma área de mineração e se encontrar dentro de uma área de APP, essas regiões, apesar de sua importância econômica, deveriam ser apenas conservadas e recuperadas. Embora apresente pequeno impacto referente à sua área, ela tem um potencial de expansão na região, o que acarreta problemas no controle de erosão. Em contrapartida, as demais classes não apresentam grande contribuição nessas áreas. (Tabela 16)

Tabela 16: Classes de uso do solo nas APPs em topo de morro.

Usos em Área de APP (Topo de Morro)	Áreas Km <sup>2</sup>
Açudes	0.02
Agropasto	0.01
Algaroba	0.04
Caatinga Densa	33.27
Caatinga Médio-Densa	0.46
Extração de Caulin	0.22
Formação Plutão Bravo	0.19

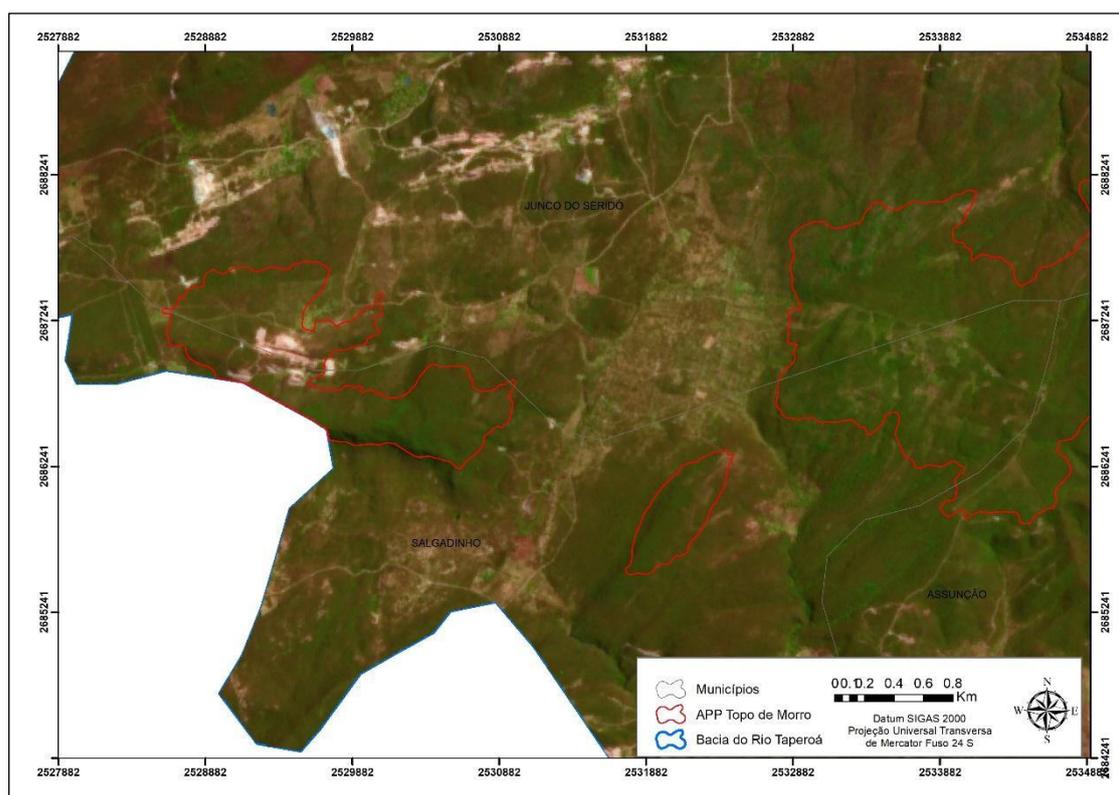


Figura 53: Área de APP de topo de morro com extração de caulín.

### 6.4.3 APPs em olhos d'água

As APPs em olhos d'água são definidas no Art.4 § 4, como áreas: “no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros” (BRASIL, 2012). Além disso, o Art. 61 § 5 apresenta uma exceção sobre áreas consolidadas:

Art. 61 §5º. nos casos de áreas rurais consolidadas em Áreas de Preservação Permanente no entorno de nascentes e olhos d'água perenes, será admitida a manutenção de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, sendo obrigatória a recomposição do raio mínimo de 15 (quinze) metros. (BRASIL, 2012)

Compreende-se, que por lei só devem ser estipuladas APPs em corpos hídricos que são perenes, o que para a BHRT é difícil de estipular por conta do regime de chuvas no semiárido nordestino. Além disso, devido a função econômica e social na região, esses reservatórios, artificiais ou naturais em tal localidade, não podem ser descartados mesmo que temporários – uma vez que exercem uma função econômica e social na região quanto ao fornecimento de água. Por este motivo, devem ser preservados.

Sendo assim, todos os açudes encontrados através do mapeamento de cobertura e uso do solo tiveram suas margens estipuladas em 50m, incluindo os olhos d'água artificiais, que podem ter uma área maior ou menor de faixa marginal. Essa afirmação foi fundamentada a partir do art. 4 §3º da lei, a qual explicita que: “as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento”, dos respectivos termos legais de sua implementação.

Já sobre o uso do solo presente nessas áreas tem-se a caatinga densa, com 13,34 km<sup>2</sup>, e a caatinga média-densa, com 5,98 km<sup>2</sup>, em maior parte de sua composição. Em seguida, há a classe da vegetação de algaroba com 3,44km<sup>2</sup>. As classes agropasto e caatinga rarefeita somadas dão 1 km<sup>2</sup>, restando apenas 0,15 km<sup>2</sup> em áreas de infraestrutura urbana e por isso, não devem ser consideradas no zoneamento final. (Tabela 17)

Tabela 17: Classes de uso do solo nas APPs em olhos d'água.

Usos em Área de APP (Olhos D'água)	Área Km <sup>2</sup>
<b>Caatinga Densa</b>	13.34
<b>Caatinga Médio-Densa</b>	5.98
<b>Caatinga Rarefeita</b>	0.46
<b>Infraestrutura Urbana</b>	0.15
<b>Algaroba</b>	3.44
<b>Agropasto</b>	0.64
<b>Área Total</b>	24.01

#### 6.4.4 APP em nascentes

As nascentes, segundo o Art. 1 §17 ° da lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, são definidas como: “afloramentos naturais do lençol freático que apresentam perenidade e do início a um curso d’água” (BRASIL, 2012). Essa definição é fruto de discussões, pois se sabe que na BHRT e, em grande parte do semiárido nordestino são encontrados rios intermitentes que pela lei, não teriam suas nascentes contempladas. Tal fato originou o projeto lei 315/2015, tendo como autor Sarney Filho - PV/MA, porém esse projeto foi arquivado em 31/01/2019 com base no Artigo 105 do Regimento Interno da Câmara dos Deputados.

O Supremo Tribunal Federal, em janeiro de 2018, corrigiu erros presentes no código florestal de 2012 e dentre eles, entendeu-se que as nascentes e olhos d’água intermitentes devem ser protegidos da mesma maneira que os perenes. Sendo assim, para fins dessa pesquisa, foram considerados raios de 50 metros nos pontos de nascente.

Dito isso, o grande desafio no mapeamento dessas APPs está em localizar onde estão as nascentes, uma vez que o lençol freático, dependendo da dinâmica hídrica, pode aflorar em locais diferentes em períodos distintos. Por conta disso, adotou-se a utilização do início dos canais de primeira ordem da base de hidrografia da AESA, partindo de que o mapeamento final está na escala 1:100.000. Após a identificação desses pontos, foi gerado um *buffer* de 50 metros utilizando a ferramenta *ArcMap* 10.5.

Com apenas 6,04 km<sup>2</sup>, às APPs de nascentes apresentam 4,03km<sup>2</sup> de caatinga densa e 1,13km<sup>2</sup> de caatinga média-densa, ou seja, a maioria dos locais considerados nascentes na escala 1:100.000 estão conservados, havendo poucas áreas com a necessidade de intervenção para a recuperação. (Tabela 18)

Tabela 18: Classes de uso do solo nas APPs em nascentes.

<b>Usos em Área de Nascente</b>	<b>Áreas Km<sup>2</sup></b>
Agropasto	0,44
Algaroba	0,03
Caatinga Densa	4,03
Caatinga Médio-Densa	1,13
Caatinga Rarefeita	0,36
Extração de Caulin	0,02
Formação Plutão Bravo	0,04
<b>Total</b>	<b>6,04</b>

#### 6.4.5 APP em rios

As APPs de rios são as de maior representatividade na bacia, estando presente em todas as regiões e municípios contribuintes. O Art. 4º §1º da lei 12.651, de 25 de maio de 2012, coloca as essas APPs de acordo com a largura do curso d'água. Elas são delimitadas e segundo o Art. 4º: “Considera-se Área de Preservação Permanente em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta lei”:

Art. 4 §1º - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

- a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros. (BRASIL, 2012)
- b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;

A presente definição origina mais um desafio metodológico, quanto a delimitação dessas áreas, a qual possui perguntas a serem respondidas como por exemplo: deve-se considerar a largura média do canal por inteiro? Qual trecho deve ser considerado? Sabe-se

que a lei é para atender uma demanda de fiscalização, em que as medidas em campo acabam por definir se uma propriedade pode estar ou não dentro dessas áreas, se o local de determinados empreendimentos está em territórios que prejudicariam a dinâmica ambiental da região, dentre outras finalidades.

Embora os órgãos competentes apliquem a tal lei, o monitoramento das regiões de APP acaba por ser prejudicado, uma vez que não possui uma definição cartográfica na lei para seu mapeamento. Com isso, pesquisadores e instituições responsáveis por essa fiscalização, trabalham com definições próprias para suprirem essa demanda. Sendo assim, foram considerados que os canais de primeira ordem da bacia têm menos de 10 metros de largura, tal como o alto curso do rio Taperoá e, com isso, uma faixa marginal de proteção de 30 metros.

Já para os principais afluentes do rio Taperoá, assim como seu médio curso, foi adotada a largura na faixa entre 10 e 50 metros. Por fim, o baixo curso desse mesmo rio, adotou-se a faixa de 50 a 200 metros de largura, fato que pode ser constatado em campo, tendo então 100 metros de APP. Com os valores definidos, foi utilizada a base da AESA junto a ferramenta *buffer* do *ArcMap 10.5* para gerar os polígonos.

Quanto ao estado de conservação dessas áreas, elas apresentam uma área total de 262,99 km<sup>2</sup>, das quais 124,66 km<sup>2</sup> são preenchidas por caatinga densa e 81,09 km<sup>2</sup> por caatinga média-densa, apresentando uma boa parte de suas áreas conservadas. No entanto, as áreas com a necessidade de recuperação são representadas pelas classes: Caatinga Rarefeita com 18,31 km<sup>2</sup>, Agropasto com 15,75 km<sup>2</sup>, Extração de Caulin com 0,51 km<sup>2</sup> e, por fim a vegetação de Algaroba que por ser uma espécie invasora também entra nas áreas a serem recuperadas. (Tabela 19)

Tabela 19: Classes de uso do solo nas APPs em rios.

Usos em Área de APP (Rio)	Área Km <sup>2</sup>
Agropasto	15.74
Algaroba	21.09
Caatinga Densa	124.66
Caatinga Médio-Densa	81.09
Caatinga Rarefeita	18.31
Extração de Caulin	0.57
Formação Plutão Bravo	1.53
<b>Total</b>	<b>262.99</b>



representatividade na bacia com 231,94 e 60,37 km<sup>2</sup> de área, caracterizando, com seu somatório, apenas 4,13% de área da bacia. Tais áreas, estão concentradas a leste dessa bacia.

Já as áreas destinadas à recuperação à classe R, representam a terceira maior área da bacia com 931,98 km<sup>2</sup> ocupando um percentual de 16,36%. Enquanto a classe R-IG apresenta apenas 252,26 km<sup>2</sup> (4,43%) e apesar do baixo percentual, representa uma área maior se comparada às áreas de conservação parcial. Sendo assim, somando as classes de recuperação, essas ocupam um percentual de 20,79% da bacia e, apesar de estarem presentes em regiões pontuais da bacia, possuem uma grande concentração em sua parte central. As figuras 55 e 56 apresentam, respectivamente, a localização e o estado de uma dessas áreas de recuperação, próximas à formação plutão bravo. A degradação apresentada é consequência das zonas de extração de bentonita da bacia, que acabam por constituir regiões de solo exposto com pouca presença de vegetação nativa (Figura 57).

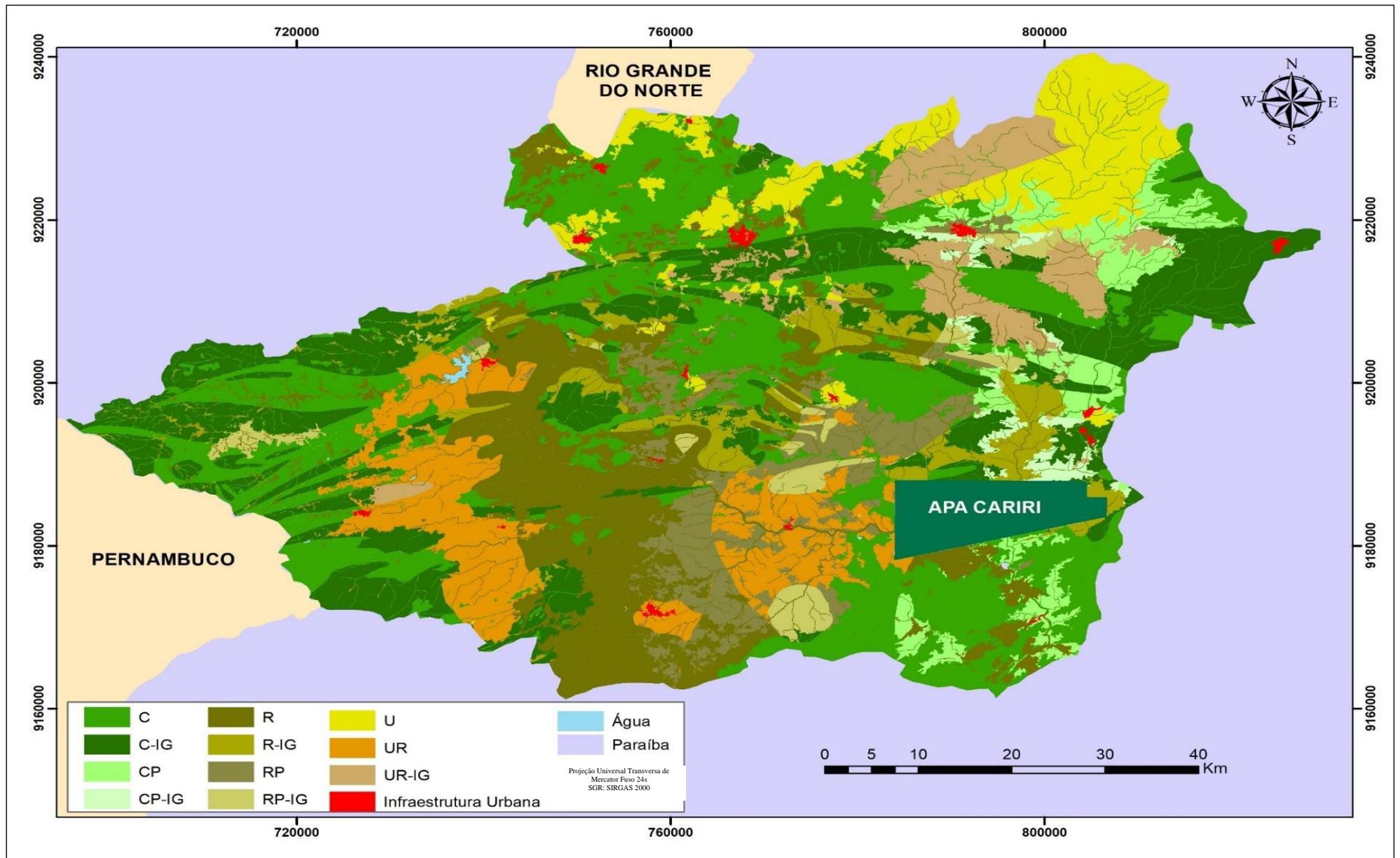


Figura 55: Zoneamento ambiental da BHRT na escala 1:100.000.

Tabela 20: Quantitativo por classe do zoneamento ambiental.

CLASSE DE ZONEAMENTO	ÁREA(KM <sup>2</sup> )
C	1593.57
C-IG	984.09
CP	231.94
CP-IG	60.37
R	931.98
R-IG	252.26
RP	343.87
RP-IG	129.97
U	412.59
UR	479.71
UR-IG	276.05
<b>TOTAL</b>	<b>5696.41</b>

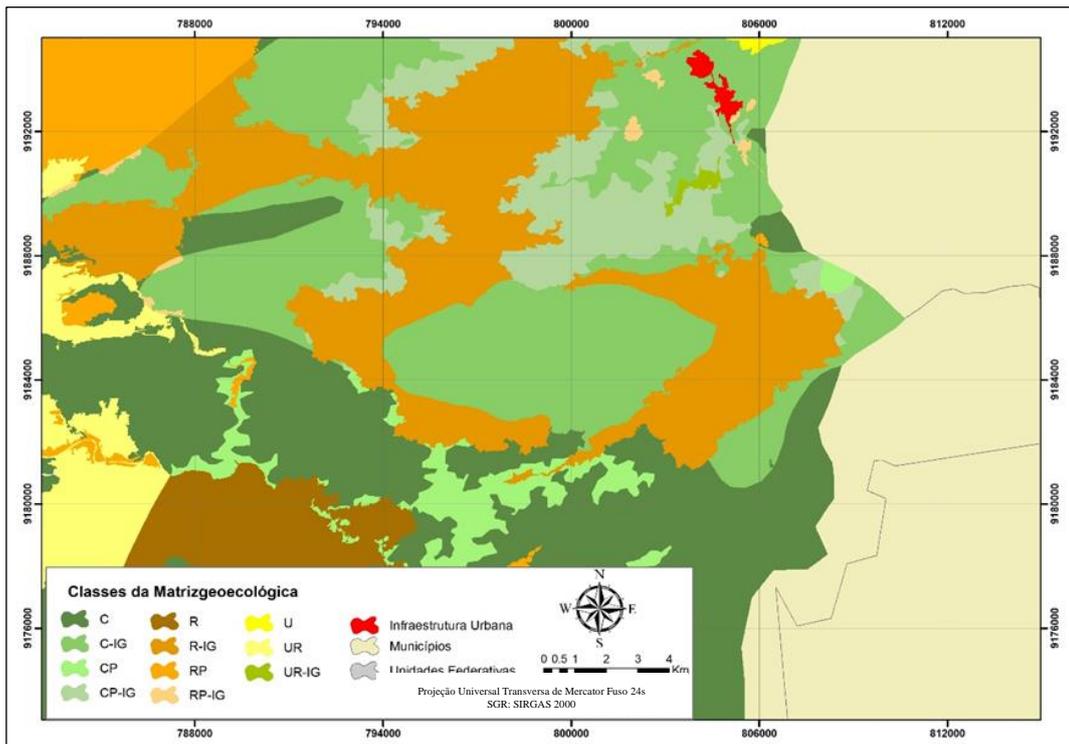


Figura 56: Área de recuperação (R) próxima a formação plutão bravo.



Figura 57: Extração de bentonita próxima a formação plutão bravo.

As classes RP e RP-IG têm somadas 473.84 km<sup>2</sup> ocupando 8.32% da área, com grande concentração também na região central próxima as áreas de R e UR. Por fim, as classes U, UR e UR-IG, que são áreas destinadas ao uso do solo, possuem 412.59 km<sup>2</sup>, 479.71 km<sup>2</sup> e 276.05 km<sup>2</sup>, respectivamente, e somadas representam 20.51% da bacia. As classes U e UR-IG encontram-se concentradas a nordeste da bacia hidrográfica, enquanto a classe de UR encontra-se mais centralizada.

Analisando espacialmente a distribuição das classes, podemos dividi-la em três regiões de: Região Norte da bacia (Figura 58), Região Centro-Oeste (Figura 59) e Região Sudeste, na qual há área destinada a criação do Geoparque do Cariri (Figura 60). A primeira possui uma grande área de U e UR-IG que, quando comparadas com o uso do solo, mostra que a região já possui grandes áreas de atividades agropastoris consolidadas e em expansão. Por esse motivo, a região também apresenta áreas de CP, onde existem a pressão de vegetação conservada, mas devido à pressão dessas atividades, a vegetação pode ser facilmente suprimida. Sendo assim, essas regiões devem manter ao menos suas áreas de APP ou espaços de interesse geológico conservadas. Além disso, essa região apresenta pequenas áreas de

recuperação onde algumas delas são originárias das áreas de extração de caulim na localidade.

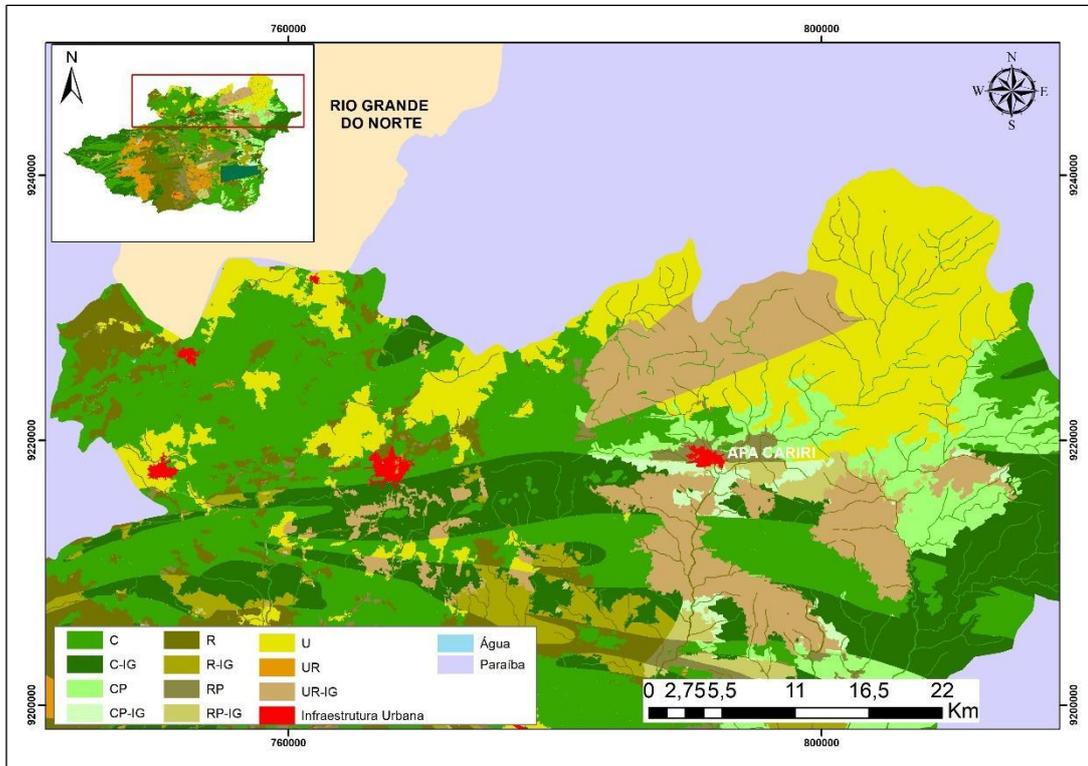


Figura 58: Mapa região Norte da bacia

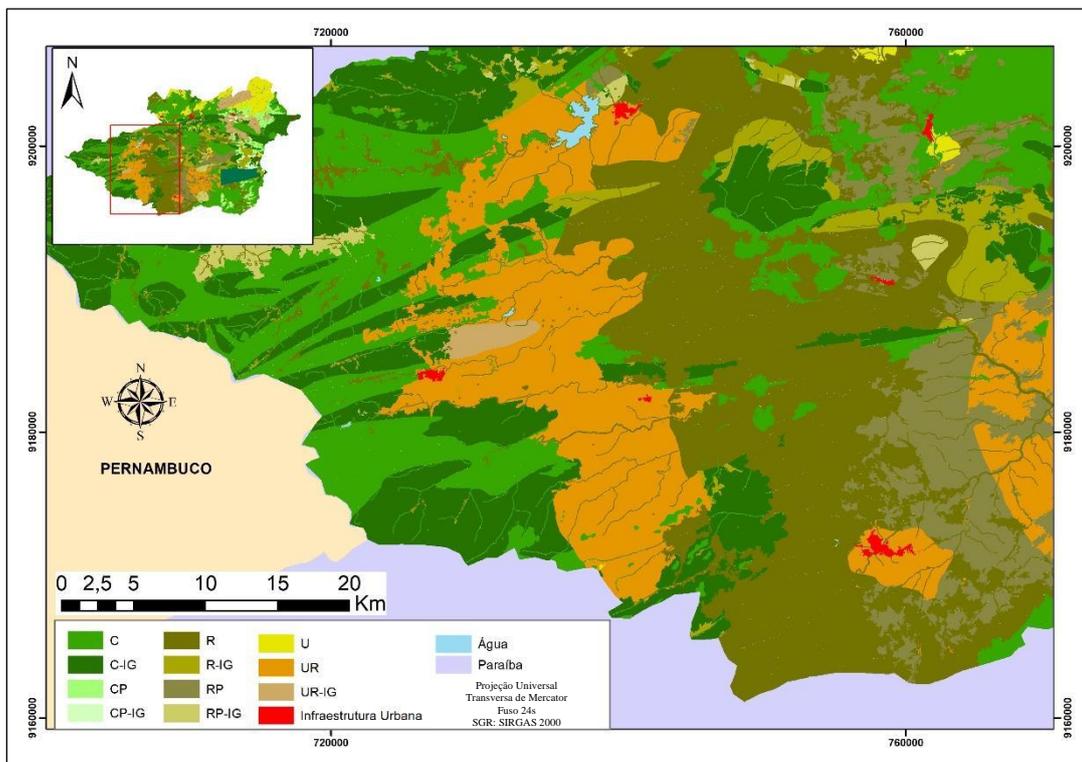


Figura 59: Mapa região Centro-Oeste

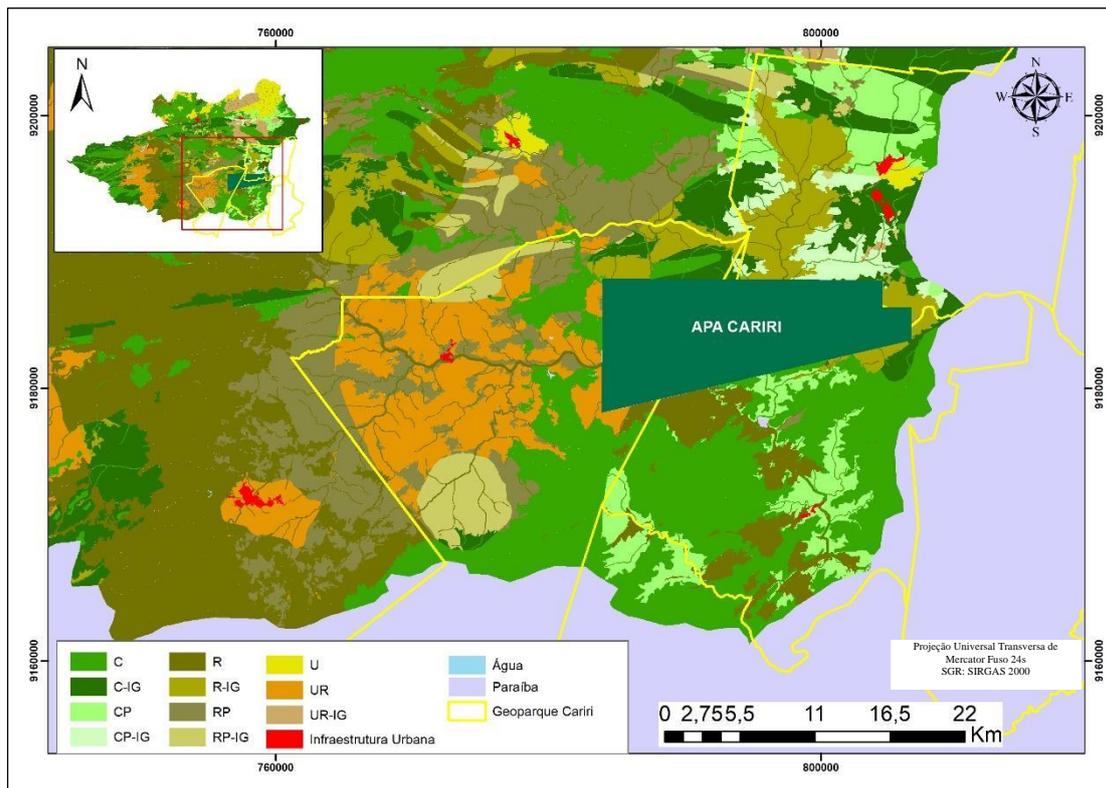


Figura 60: Mapa região Sudeste

Já a região Centro-Oeste apresenta grandes áreas das classes C, UR, R e RP. O uso nessa região acaba sendo restrito por conta desse território estar entre áreas de conservação e recuperação. Quando comparada com a expansão do uso agropastoril na localidade, essa zona também se encontra em expansão - o caráter mais restritivo na área. Quanto à sua área de RP, ela é uma área de transição entre a presença das áreas de UR e R.

Por fim, a região sudeste da bacia apresenta como destaque as classes UR, C, CP e R. Essa área, por sua vez, requer um pouco mais de atenção visto que contempla a criação do Geoparque Cariri, além de haver uma concentração da classe UR. Em comparação ao mapa de uso do solo, essa região apresenta uma área de caatinga rarefeita e, as constatações feitas em campo, colocam esse território como uma das áreas mais prejudicadas na BHRT, além de haver algumas propensas a desertificação.

Como resultado da matriz, essa região apresentou UR, ou seja, uso em que se utiliza técnicas apropriadas para a conservação da bacia. Porém, fazendo uma análise mais local, e com a intenção dessa região possivelmente vir a se tornar um parque, essa região deve priorizar uma recuperação - embora não se saiba quais seriam os impactos em termos de custo-benefício. Tal localidade, por sua vez, não se encontra com características favoráveis, se comparada com outras áreas da BHRT. Quanto a distribuição das classes no Geoparque

Cariri, essas apresentam uma área total de 976.77 km<sup>2</sup>. Em que 326.11 km<sup>2</sup> dessa localidade pertencem, respectivamente, à classe C, 149.07 km<sup>2</sup> à UR e 168,15 km<sup>2</sup> das classes R e R-IG somadas.(Figura 61)

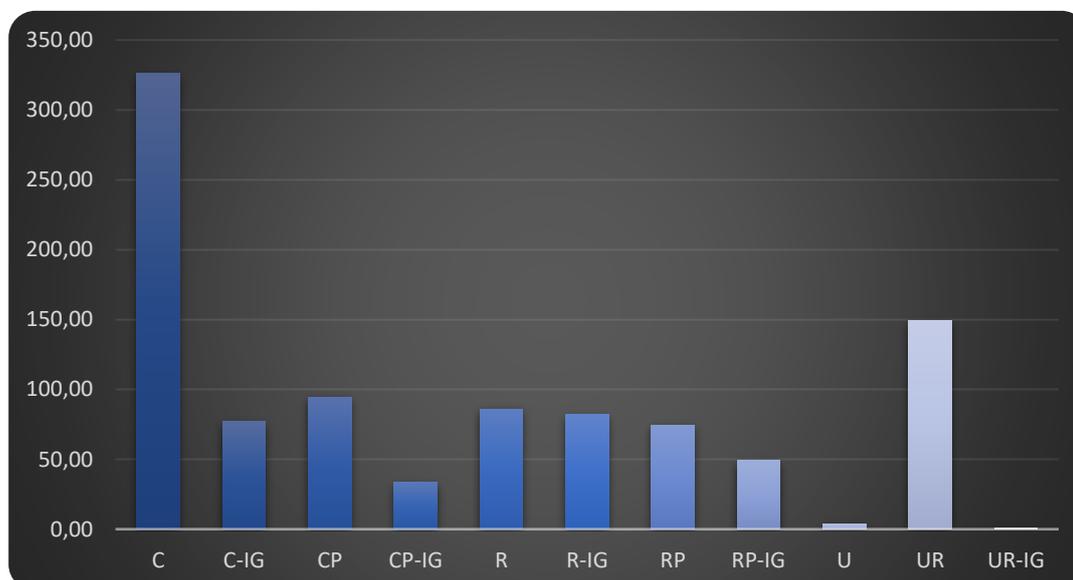


Figura 61: Distribuição por classe no Geoparque Cariri.

Tratando, ainda, das análises, foi adotada como unidade de estudo a BHRT. Contudo, uma análise da distribuição das classes de zoneamento por município (Quadro 7) também é necessária - uma vez que esses municípios possuem diferentes territórios, gestões e prioridades. Sendo assim, torna-se fundamental a identificação da contribuição de cada classe de zoneamento para quê, os mesmos possam analisar e adotar medidas estratégicas junto de outros municípios da bacia; principalmente para aqueles que não estão totalmente inseridos na bacia.

Quanto às áreas de C, os municípios de Cabaceiras, Juazeirinho e Soledade são os que apresentam as maiores extensões, com 190.04 km<sup>2</sup>, 162.16 km<sup>2</sup>, 144.51 km<sup>2</sup> respectivamente. Com exceção de Soledade, os dois primeiros apresentam essa classe como a maior em seu território de contribuição da bacia. Já as menores áreas ficaram para Olivedos e São Vicente do Seridó, apresentando 8,4 km<sup>2</sup> e 7,60 km<sup>2</sup>. Proporcionalmente Olivedos é o caso mais grave, pois apresenta uma área total de 311.72 km<sup>2</sup>. Já a classe C-IG, tem os municípios de Pocinhos com 157,09 km<sup>2</sup> e Taperoá com 151.11 km<sup>2</sup>, também com destaque para as áreas de C com 132.99 km<sup>2</sup> - sendo, então, o município com maior território de conservação dentre todos na bacia. Enquanto Olivedos e Teonório ficam com áreas da classe pouco representativas no contexto da bacia.

Quanto às áreas de CP e CP-IG, têm-se em evidência os municípios de Cabaceiras com 47,43 km<sup>2</sup> e Boa Vista com 32,83km<sup>2</sup>. O destaque para a menor área fica com São João do Cariri que somando as duas classes, apresenta 1,14km<sup>2</sup>. Para as áreas de recuperação, a classe R tem sua maior representatividade no município de Serra Branca, com 243,23 km<sup>2</sup>, ou seja, mais de 50% da sua extensão tem que ser recuperada. Cabe destacar ainda, que se somando a classe C e C-IG, o município apresenta apenas 50.31km<sup>2</sup>. Ou seja, também dentre todos os municípios, essa área precisa de maior urgência na reposição de seus territórios verdes. A segunda maior área de recuperação pertence ao município de Taperoá com 178,64 km<sup>2</sup>, sendo esse com um alto percentual de extensão de conservação e recuperação. Enquanto a menor área, o município de Pocinhos, conta com 311,17 km<sup>2</sup> na bacia, apresenta, apenas, 1,39 km<sup>2</sup> de territórios para a recuperação - sendo um dos municípios mais conservados. Já a classe RP-IG, possui destaque novamente para Boa Vista com 58,32 km<sup>2</sup> e para o município de Cacimbas, com a menor área. Com relação às áreas de RP e RP-IG, as maiores extensões ficam para os municípios de: Gurjão, Serra Branca e São João do Cariri e as menores com os municípios de: São José dos Cordeiros, Livramento e Pocinhos.

Por fim, para as áreas de uso do solo, a classe U tem Olivedos, contendo 210,85 km<sup>2</sup> de uma área total do município na BHRT de 311,72 km<sup>2</sup>. Ou seja, 67,64% do território de contribuição voltado para o uso agropastoril. Já as menores classes ficam com os municípios de Salgadinho e Serra Branca com 1,97 km<sup>2</sup> e 0,09 km<sup>2</sup>, respectivamente. Para a classe UR, as maiores áreas ficaram com São José dos Cordeiros com 113.31 km<sup>2</sup> e São João do Cariri 149.07 km<sup>2</sup> - Além de ambos possuírem grandes áreas de conservação. No UR-IG, o Soledade tem 162, 98 km<sup>2</sup>, o qual, também, possui em seu território uma área significativa de conservação.

Quadro 7: Distribuição das classes de zoneamento por município.

Municípios BHRT	CLASSES DA MATRIZ (km <sup>2</sup> )										
	C	C-IG	CP	CP-IG	R	R-IG	RP	RP-IG	U	UR	UR-IG
Assunção	82.14	6.02			9.79	2.42	0.70	0.05	13.79	0.50	0.20
Barra Sta. Rosa	0.84				0.06				23.23		
Boa Vista	17.76	56.54	45.89	32.87	4.12	58.32	2.84	7.37	3.95		0.95
Cabaceiras	190.04	6.39	47.43	0.47	58.86	7.20	0.95				
Cacimbas	26.09	40.78			2.37	0.28					
Campina Grande	0.40	0.92									
Cubati									0.07		1.05
Desterro	69.24	83.67			7.09	3.96	0.06	13.13		0.08	
Gurjão	110.54	29.43	4.77	2.90	36.79	17.02	94.07	24.63	7.20	12.82	0.07
Juazeirinho	162.16	90.51			31.54	20.56	1.93	0.27	60.17	0.26	22.85
Junco do Seridó	44.50				34.27		0.29		13.93		
Livramento	83.60	46.37			51.35	0.72	0.15	5.10		70.92	10.98
Olivedos	8.40	0.09	27.66	1.42	4.59			6.67	210.85		52.03
Parari	25.26	14.36			114.34	21.42	27.75	3.87		0.49	
Pocinhos	70.91	157.19	64.11	1.58	1.39			1.74	2.33		11.93
Salgadinho	13.27	1.77			4.56	6.68		0.67	1.97		
Santo André	88.36	27.10			24.37	19.17	33.30	0.33	4.08	0.34	0.04
São Domingos do Cariri	37.93		16.49		3.20						
São João do Cariri	118.31	13.96	1.06	0.08	23.12	16.53	70.78	70.78		149.07	
São José dos Cordeiros	78.83	108.01			62.84	1.70	0.04	0.06		113.31	
São Vicente do Seridó	7.60				1.29				30.82		12.85
Serra Branca	14.82	35.49			243.23	0.79	81.15		0.09	38.37	
Soledade	144.51	93.09	24.53	21.06	26.73	28.29	17.71	19.03	19.48	0.08	162.98
Taperoá	132.99	151.11			178.64	46.32	12.15	5.15	2.23	93.42	0.11
Teixeira	7.61	20.58			0.50	0.89					
Tenório	56.03	0.16			6.91				18.18	0.04	

## 6.6 Conclusões

A Matriz Geoecológica demonstra ser uma ferramenta fundamental no auxílio ao zoneamento ambiental. Para tal, suas variáveis devem ser escolhidas levando em conta o complexo geossistêmico de unidade geográfica de análise. Já para a BHRT, optou por uma abordagem metodológica que levasse em consideração os aspectos geológicos e geomorfológicos, a fim de ponderar as particularidades da região; os climáticos e de solo, com os índices de aridez e erosividade, para adicionar pontos de erosão e suscetíveis à desertificação; e o uso do solo na bacia. Apesar do resultado satisfatório quanto a delimitação das áreas de Conservação, Recuperação e Uso Permitido na região, o mapeamento final dessas áreas ainda precisou de um processo de interpretação e edição de suas áreas, levando em conta o contexto ao qual elas estão inseridas.

Quanto a inserção dessas APP no produto da matriz - embora elas ainda sejam objeto de discussões tanto o quantitativo de faixa marginal a ser considerada quanto a metodologia de mapeamento e escala - as mesmas são fundamentais ao estarem presentes no mapeamento, principalmente no detalhamento nas classes destinadas ao uso do solo. Essas áreas, no contexto geral da bacia, são pequenas, porém, localizam-se em áreas estratégicas para a manutenção hidroecológica na região: principalmente as áreas de APP de rio. Embora tenham sido consideradas e sido feitas adaptações baseando-se no novo código florestal, entende-se que a BHRT tem suas particularidades assim como o semiárido nordestino como um todo. Logo, caberia uma legislação mais restritiva ou até mesmo que tratasse o bioma de forma diferenciada.

Referente ao zoneamento ambiental, considerar a bacia hidrográfica como unidade geográfica de análise é fundamental, principalmente em regiões como déficit hídrico com a BHRT. Através do mapeamento de locais de conservação e recuperação, torna-se possível criar estratégias e prioridades na gestão desse território, bem como delimitar áreas onde é possível a utilização do solo de forma consciente. Apesar disso, deve ser levado em consideração, o percentual de contribuição de cada município dentro da bacia quando se trata dos zoneamentos das áreas destinadas as atividades agropastoris.

Os municípios de Olivedos, São Vicente do Seridó e São João do Cariri, são os que concentram as maiores áreas destinadas a esse tipo de uso na bacia. Apesar do cuidado de estabelecer áreas próximas as concentrações urbanas em outros municípios, esse tipo de delimitação pode causar conflitos, uma vez que outros municípios não possuem territórios de grande porte destinados a esse fim – o que pode ocasionar questionamentos a tal

regionalização. Entende-se, portanto, que não basta, somente, uma análise referente a bacia hidrográfica, mas também é preciso analisar cada município - quantos aos seus respectivos zoneamentos – para que então, possa ser criada uma proposta mais integrada e equilibrada para esse tipo de zoneamento.

Já para as áreas de conservação e recuperação, o equilíbrio do zoneamento não é necessário, visto que devem se manter conservadas ou recuperadas, visando o equilíbrio geossistêmico da região. Já a proposta de diferenciar as áreas de interesse geológico em cada região, serve como insumo a tomada de decisões na bacia, devido à sua riqueza geológica e geomorfológica. Desta forma, é possível antever regiões prioritárias à recuperação - a exemplo da proposta do Geoparque Cariri.

## 7. Considerações Finais

O planejamento ambiental é fundamental ao plano de manejo, organização e gestão territorial, além da elaboração de projetos econômicos e sociais. Desse modo, pensá-lo dentro da geoeecologia da paisagem faz com que esse planejamento ganhe o caráter multidisciplinar e passe a ser fundamentado na formulação de estratégias, avaliando os recursos naturais de qualquer unidade territorial.

Rodriguez *et al* (2007) ainda pontua que a distinção, classificação e a cartografia das paisagens são peças fundamentais dentro da geoeecologia. Por conta disso, o mapa de paisagens serve de subsídio, com os resultados das investigações já realizadas, e também, fornece um ponto de partida para investigações posteriores. Diante disso, pensar em um zoneamento ambiental, sem considerar as variáveis geoeecológicas em um mapeamento integrado, é inadequado dentro de uma lógica moderna de planejamento e gestão do território.

Sendo assim, o resultado final da presente tese foi a origem de um mapa do estado ambiental da paisagem da BHRT. Esse mapeamento consistiu na análise integrada por meio de uma matriz geoeecológica das variáveis, geológicas, geomorfológicas, assim como as condições de erosão e umidade integradas ao uso do solo que apresentava o estado da vegetação na região. Apesar de cinco variáveis consideradas, a erosividade e o índice de aridez apresentaram regiões bem definidas de grande extensão na bacia, mantendo um detalhamento maior dentro das classes de geologia, principalmente para as áreas de interesse geológico e de uso do solo.

A partir disso, para o capítulo 1, foi pensado uma metodologia que identificasse as atividades agropastoris, de mineração e os estados da vegetação de caatinga. Esse mapeamento, apesar das dificuldades impostas pelas características da vegetação do bioma, teve resultados tanto do ponto de vista metodológico quanto o de produto final - o qual agrega nas possibilidades de mapeamento do semiárido nordestino. Como considerações desse mapeamento, conclui-se que ao trabalhar com ambientes que tenham grande dinâmica de sua vegetação, consequências de um regime hídrico diferenciado, não se deve ficar restrito a apenas uma imagem, tanto para os processos de segmentação quanto nos processos de classificação; optando-se no mínimo por respeitar os períodos sazonais na região. Para a BHRT foi considerada apenas duas datas, o que permitiu não só um melhor resultado no processo de delimitação dos objetos, mas também favoreceu a identificação das classes açudes, além da identificação da vegetação seca e verde.

Ainda sobre o processo de classificação, o índice de desertificação TGSÍ demonstrou ser importante nas áreas onde há caatinga menos densa e conseqüentemente com um grau de exposição maior do solo. Embora tal índice tenha o objetivo de apontar áreas propensas à desertificação, entende-se que para isso é preciso que sejam aplicados outros indicadores, antes de afirmar se uma área está em processo de desertificação. Apesar disso o TGSÍ conseguiu apontar as extensões mais degradadas da caatinga, conseguindo separá-las entre as classes médias-densa da rarefeita.

Diante do exposto, o GEOBIA demonstrou ser uma ferramenta indispensável no mapeamento de uso do solo da BHRT. A partir dessa metodologia, junto a uma modelagem do conhecimento, é possível adotar uma abordagem multiescalar em relação aos processos de segmentação temporal: com a inserção de imagens em diferentes momentos da bacia e temática - utilizando mapas temáticos já gerados para a identificação de classes. Através do GEOBIA, o mapeamento de uso do solo pôde identificar o estado de conservação da caatinga quanto à densidade, além de identificar os olhos d'água, as atividades agropastoris. Ademais, houve a identificação dos focos de extração de Caulin, a delimitação da formação plutão bravo dentro da APA Cariri, e importante geopatrimônio da região, e a vegetação de algaroba; espécie invasora na localidade, mas que por vezes é utilizada como lenha no mesmo local.

Através da análise desse mapeamento, foi possível avaliar que mais de 50% da BHRT está composta por uma vegetação de caatinga densa, a qual está concentrada ao longo dos divisores da bacia. Já as regiões com a caatinga média-densa e rarefeita, estão mais ao centro-sul da bacia - fato corroborado com as visitas a campo. As atividades agropastoris estão concentradas a nordeste e sul da bacia com pequenos focos próximos aos centros urbanos. Essa classe apresentou dificuldade em sua classificação, uma vez que é difícil a identificação das atividades agropastoris se o terreno não for bem definido, pois a ausência, mesmo que por um curto período em algumas regiões da bacia, faz com que a vegetação cause confusão entre as classes. Portanto, entende-se que o mapeamento multitemporal se torna indispensável, se for pensado um mapeamento em maiores escalas.

Já as classes extração de Caulin e formação plutão bravo são localizadas em regiões pontuais na bacia e não apresentaram dificuldades quanto à sua identificação, ao utilizar o mapa temático de geologia junto ao modelo SRTM. Por fim, a classe algaroba só pôde ser identificada através de seu contexto espacial na BHRT. Apesar de sua resposta espectral ser diferenciada em alguns momentos, muito dessa vegetação se confunde com a caatinga densa na região. Por esse motivo, a utilização da classe açudes e o dado temático de hidrografia da

AESA permitiram que, além da resposta espectral, fosse, também, considerada a localização próxima aos corpos hídricos. Quanto à localização da classe, encontra-se presente em toda a bacia, mesmo que em pouca quantidade, acompanhando, na maioria das vezes, o traçado da drenagem da bacia.

O capítulo 2, por sua vez, apresenta a construção da matriz geocológica e do mapa do estado ambiental da BHRT. O processo de regionalização físico-geográfico consistiu na elaboração da matriz com variáveis voltadas à identificação do estado da paisagem dentro da BHRT e, além disso, priorizou identificação de áreas de interesse geológico fundamentais na conservação do geopatrimônio na região. A bacia, se considerada sua erosividade e aridez, fica concentrada espacialmente em três regiões (classes): sendo duas expressivas e uma terceira com baixa representatividade espacial. Sendo assim, ficaram responsáveis pelo refino da matriz e conseqüentemente do mapeamento.

A matriz, embora não apresente todas as correlações para a BHRT, foi pensada em todas as suas possibilidades, visando aplicações e refinamentos para outras áreas do semiárido nordestino. Além disso, as variáveis utilizadas na matriz atenderam os objetivos propostos na tese, cabendo ainda na especialização final de suas classes, visto que a matriz não atende as classes de todo o contexto espacial - as quais estão inseridas. Dessa forma, as operações de generalização são fundamentais para atender a proposta final.

Entende-se, portanto, que o produto final da tese, o mapa do estado ambiental da bacia, atendem especificamente a unidade geográfica BHRT. Por esse motivo, a generalização das áreas, principalmente relacionadas nas classes U, UR, UR-IG, CP, CP-IG, não consideraram a área de contribuição para cada município. Percebe-se, então, que ao pensar em um manejo para a BHRT, deve-se considerar também o Zoneamento Ecológico e Econômico dos municípios que fazem parte da bacia - dessa maneira, trabalhando dentro de uma perspectiva multiescalar geográfica e cartográfica.

Através do mapeamento tem-se a ideia do estado ambiental da bacia, e a partir disso torna-se possível fazer investigações como, por exemplo, a análise por municípios ou até mesmo das áreas contempladas pelo futuro Geoparque na região. O Geoparque Cariri apresenta um território de interesse geológico que pode servir de zona de amortecimento da APA Cariri. De acordo com a matriz, essa região de uso da terra pode ser revista mediante a consideração do parque na localidade.

Quanto à consideração das áreas de preservação permanentes do mapeamento - apesar de ainda terem brechas do ponto de vista cartográfico para o mapeamento e monitoramento dessas áreas e, embora ocupam pouca porcentagem da bacia - elas precisam ser consideradas

mediante à sua importância estratégica, principalmente para a mitigação da ocorrência de erosões. Sendo assim, ao se pensar em critérios de importância para a recuperação de áreas degradadas, essas regiões devem ter prioridade máxima. Aqui, o destaque fica para a APP de rio, por sua importância na contenção do assoreamento dos rios que possui fator social significativo na região.

Sabe-se que esse mapeamento atende a um planejamento regional e, em casos particulares, mapeamentos de maior nível de detalhe precisam ser elaborados e avaliados. Entender o ambiente semiárido dentro de suas interrelações, distribuições, formações, estruturas e funcionamentos para o reconhecimento de padrões na paisagem, é o ponto de partida para a adoção de políticas públicas que mitiguem ou reparem ações que desequilibrem um dado geossistema. A adoção dessa metodologia, junto às novas geotecnologias disponíveis, possibilita análises de rápido e baixo custo por parte de profissionais atuantes dentro do planejamento e da gestão ambiental.

Em suma, como propostas futuras a essa pesquisa, há as possibilidades hierarquização das áreas de recuperação e conservação, quanto a critérios de favorabilidade e importância para a bacia. Além disso, tem a oportunidade de se trabalhar com unidades territoriais de menores escalas geográficas, como o próprio Geoparque Cariri, inserindo também essa análise dentro mapeamento de estado ambiental da BHRT.

## 8. Referências Bibliográficas

- AB'SÁBER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas. São Paulo: **Ateliê Editorial**, 2003.
- ALMEIDA, N. V. **Ordenamento territorial geoambiental Da bacia Hidrográfica do rio Taperoá/Semiárido Paraibano**. [s.l.] Universidade Federal Fluminense, 2012.
- ALVES, J. J. A. .; ARAUJO, M. A. .; NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Caatinga**, p. 126–135, 2009.
- BECKER, B. K. & EGLER, C.A.G. 1997. Detalhamento da Metodologia para a Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal. **Brasília: MMA/SAE**. 1996.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, n. 8, p. 141–152, 2004.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, n. 13, p. 1-27, 1971.
- BERUTCHACHVILI, N.; BERTRAND, G. O Geossistema ou Sistema Territorial Natural. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Quest**, v. 49, 1978.
- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 65, p. 2-16, ago 2010.
- BOOKCHIN, M. **Social Ecology versus Deep Ecology: A Challenge for the Ecology Movement**.
- BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: **Senado Federal/ Centro Gráfico**, 1988. 292 p.
- BRASIL**. lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Novo Código Florestal**. Brasília, 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm). Acesso em: 12 ago de 2019.
- BRIDGEWATER, P. B. Landscape ecology, geographic information systems and nature conservation. In: Landscape ecology and GIS. Ed. **Haines-Young et al., Taylor & Francis**: 11-21. 1993.
- CÂMARA, G., et al. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: **INPE**, 2001. 345. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 10 jul 2019.
- CASTORIADIS, C.; COHN-BENDIT, D. **Da ecologia à autonomia**. São Paulo: Brasiliense, 1980.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Editora **Edgard Blucher Ltda.**, 1999.

CONSELHO DA EUROPA. Carta europeia do ordenamento do território. Lisboa: **Ministério do Planejamento e da Administração do Território**, 1988.

CORRÊA, R. L. C. Espaço, um conceito-chave da geografia. In: CASTRO, I. E. .; GOMES, P. C. C. .; CORRÊA, R. L. C. (Eds.). . **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S.; SEABRA, V. S.; REIS, R. B.; FABER, O. A.; RICHTER, M.; ARNAUT, P. K. E.; ARAÚJO, M. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 5691-5698. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/8188-outros-tipos-dezoneamento>. Acesso em: 02 jul 2014.

DIEGUES, A. C. O mito moderno da natureza intocada. 2. ed. São Paulo: **HUCITEC**, 2001.

EGLER, C. G.; CRUZ, C. B. M.; MADSEN, P. F. H.; COSTA, S. de M. C.; SILVA, E. A. da. Proposta de Zoneamento Ambiental da Baía de Guanabara. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ** Volume 26 / 2003.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Índices para a quantificação da seca: relatório do ano de 2009. **Santo Antônio de Goiás**, 2009. 41 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 244).

FERNANDES, M. C. . Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geoecológicas. In: GOMES, P. C. C.; BICALHO, A. M. S. M. (Eds.). . **Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Publit, 2009. p. 280–299.

FIGUEIREDO, V. S. Perspectivas de recuperação para áreas em processo de desertificação no semiárido da Paraíba – **Brasil**. [s.l.] **Univ**, 2013. v. 17

FROHN, R. C. Remote sensing for landscape ecology : new metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems. [s.l.] **Lewis Publishers**, 1998.

FROHN, R. Remote sensing for landscape ecology: New metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems. **Boca Raton, FL: Lewis**, 99 p. 1998.

GANDRA, T. B. R. Elementos geomorfológicos e socioambientais como subsídios para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro – ZEEC. 85 p. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008.

GEOPARQUE CARIRI PARAIBANO. Disponível em: <https://geoparquecariri.org.br/>. Acesso em: 15 jul de 2019.

GOMES, P. C. . Geografia fin-de-siècle: O discurso sobre a ordem espacial do mundo e o fim das ilusões. In: CASTRO, I. E. .; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (Eds.). . **Explorações geográficas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

GONZALEZ, R.C., WINTZ, P., Digital Image Processing. **Addison-Wesley**, 1987.

GUERRA, A. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA A.J.T.;; CUNHA, S. . (Eds.). . Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 1998. p. 149–210.

HARALICK, R. M., SHAPIRO, L. G. Computer and Robot Vision. **Addison Wesley**,1993.

HUGGETT, R. J. **Geocology: An Evolutionary Approach**. Londres: Routledge, 1995.

KROL, M.S., A. JAEGAR, A. BRONSTERT & J. KRYWKOW. The semiarid integrated model (SDIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth (B)** 26: 529-533. 2001.

LAGES, G. A.; MARINHO, M. S.; NASCIMENTO, M. A. L.; MEDEIROS, V. C.; DANTAS, E. L. FIALHO, D. Mar de Bolas do Lajedo do Pai Mateus, Cabaceiras, PB – Campo de matações graníticas gigantes e registros rupestres de civilização précolombiana. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C.S.; BERBERT-BORN, M.; SALLUN FILHO, W.; QUEIROZ, E. T. (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio068/sitio068.pdf>. 2013. Acesso em 18 mai de 2019.

LANG, S.; BLASCHKE, T. Análise da paisagem com SIG. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2009.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER JR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do nordeste do Brasil. In: **Conservação Internacional do Brasil (ed)**. Megadiversidade. Belo Horizonte, v.1.p. 139-146, 2005.

LOEFGREN, A. Notas botânicas (Ceará). **Inpetoria de Obras contra as Secas**, v. 2, p. 3–39, 1910.

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. Porto Alegre: [s.n.].

MACHADO FILHO, H. O. Composição florística de um ambiente rochoso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, Paraíba: diversidade, riqueza e fitogeografia / **Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação)** – Universidade Estadual da Paraíba, Pró-reitora de Pós-graduação. 118 f. 2011.

MACIEL, C. A. A; PONTES, E. T. M. Seca e convivência com o semiárido. Adaptação ao meio e patrimonialização no Nordeste brasileiro. Rio de Janeiro: **Consequência** Editora, 2015.

MACIEL, J. S. Potencial erosivo das chuvas na sub-bacia hidrográfica do rio Taperoá, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, **Graduação em Geografia, UEPB**, 52p.

MARANHÃO, Karina Ugulino de Araújo. Zoneamento ambiental do Município de Monteiro-PB. **Dissertação** – UFPB/CT. João Pessoa, 2014. 95f.

MEDEIROS, J. DE; CÂMARA, G. Geoprocessamento para projetos ambientais. 2. ed. São José dos Campos: **Instituto Nacional de Pesquisa Espacial**, 1998.

MELO E SOUZA, R. Concepções de natureza e tendências do ambientalismo: contribuições ao debate geográfico entre ambiente e paisagem no Brasil. **GEONORDESTE**, v. 2, 2009.

MENESES, L. F. DE; NASCIMENTO; DO, M. A. L. Proposta de frameworks para inventariação de Geossítios do Cariri Paraibano. **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 42, p. 105–123, 2014.

MENESES, L. F.; NASCIMENTO, M. A. L. Proposta de frameworks para inventariação de geossítios do Cariri Paraibano. **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 42, 2014.

MENEZES, P. M. L. & NETO, A. L. C. Escala: Estudo de Conceitos e Aplicações. **Portal Janus**. IME, 1997. Rio de Janeiro. Disponível em [www.cartografia.ime.uepb.edu.br/artigos](http://www.cartografia.ime.uepb.edu.br/artigos). Acessado em: 05 jun de 2019.

MENEZES, P.M.L. A interface Cartografia-Geoecologia nos estudos diagnósticos e prognósticos da paisagem: um modelo de avaliação de procedimentos analíticointegrativos. **Tese de Doutorado**, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 208 f., 2000.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Outros tipos de zoneamentos. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial/item/8188-outros-tipos-de-zoneamento.html>. Acesso em: 12 set de 2019.

MONTAÑO, M. et al. A necessidade de incorporação do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e gestão territorial urbana. In: International Congress on Environmental Planning and Management. **Proceedings...** Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2005. p. 1 – 22.

MONTEIRO, C.A. de Figueiredo. Derivações Antropogênicas dos Geossistemas Terrestres no Brasil e Alterações Climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. In: ANAIS do Simpósio A comunidade vegetal como unidade

- biológica, turística e econômica. Publicação **ACIESP**, n.15, P. 43-76 — Ilustr. São Paulo, Acad. de Ciências do Est. de S.P., 1978.
- MONTEIRO, C.A. de Figueiredo. Os Geossistemas como Elemento de Integração na Síntese Geográfica e Fator de Promoção Interdisciplinar na Compreensão do ambiente. **Revista de Ciências Humanas**. Florianópolis, v.14 n.19. p.67-101, 1996.
- MOREIRA, Emília & TARGINO, Ivan. Capítulos da Geografia Agrária da Paraíba. João Pessoa. **Editora: Universitária**, UFPB, 1997.
- NIMER, E. Pluviometria e recursos hídricos dos estados de Pernambuco e Paraíba. Rio de Janeiro: **IBGE**, 1979.
- PENMAN, H.L. The physical bases of irrigation control. Hort. Congr., 2, **London, Royal Horticultural Society**, 1953, p.913-924. 11p.
- PEREIRA, J.L.G.; BATISTA, G.T.; THALÊS, M.C.; ROBERTS, D.A.; VENTURIERI, A. V. Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia\*. **Geografia**, v. 26, n. 1, p. 59–90, 2001.
- PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In.: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Orgs.) Ecologia e conservação da caatinga. – Recife: **Editora Universitária da UFPE**, 2003. 03-74p.
- Reynard, E. and Panizza, M. Geomorphosites: Definition, Assessment and Mapping. Géomorphologie: Relief, Processus, **Environnement**. 3, 177-180, 2005.
- RIÁBCHICOV, A. . Estructura y Dinámica de La Esfera Geográfica: Su desarrollo natural y transformación por el hombre. Moscou: **Editorial MIR**, 1976.
- RIZZINI, C. T. Tratado de fitogeografia do Brasil. 2ª. ed. [s.l.] **Âmbito Cultural Edições Ltda**, 1997.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. DA; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens**. 2. ed. Fortaleza: UFC Edições, 2007.
- SANTOS, A.G.; SILVA, R.M. DA; SRINIVASAN, V. S. Análise das Perdas de Água e Solo em Diferentes Coberturas Superficiais no Semiárido da Paraíba. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 1, n. 1, p. 1–152, 2007.
- SANTOS, M. R. R. Critérios para análise do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e ordenamento territorial. 2010. 126 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- SANTOS, M. Técnica Espaço Tempo – globalização e meio técnico-científico informacional. São Paulo: **HUCITEC**, 1998.

- SAUER, C. O. A morfologia da paisagem. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Eds.). . **Paisagem, tempo e cultura**. Rio de Janeiro: EdUERJ, [s.d.]. p. 12–74.
- SEABRA, V. da S. Análise da paisagem em apoio aos estudos de favorabilidade à recuperação florestal na bacia hidrográfica do rio São João. XIV, 206 f: il. **Tese (Doutorado em Geografia)** - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012.
- SILVA, A. M. DA; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. DE. **Erosão e hidrossedimentologia em bacia hidrográficas**. [s.l.] RiMA, 2003.
- SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 2, p. 221-263, 2004.
- SOTCHAVA, V.B. *O Estudo de Geossistemas*. In **Métodos em Questão**. São Paulo, 1977.
- SOUZA, B. I. Cariri paraibano: do silêncio do lugar à desertificação. **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-graduação em Geografia. – Porto Alegre, RS: UDRGS/PPGEO, 2008. [198 f.]. II.
- SOUZA, B. I. DE; SILANS, A. M. B. P. DE; SANTOS, J. B. DOS. Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2-3, p. 292–298, dez. 2004.
- STOW D.A. The role of geographical information systems for landscape ecological studies. In: Landscape ecology and GIS. Ed. Haines-Young et al., Taylor & Francis: 11-21. 1993.
- SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Carta topográfica na escala 1:100.000: folha Boqueirão (SB.24-Z-D-III). 2a ed. 1972.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p 55-94. 1948.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Publications in climatology, New Jersey: **Drexel Institute of Technology**, 1955. 104p.
- TRICARD, J. Ecodinâmica. Superintendência de Recursos Naturais e Meio ambiente. Rio de Janeiro, **IBGE**, 1977.
- TROLL, C. A paisagem geográfica e sua investigação. **Espaço e Cultura**, v. 4, 1997.
- TROLL. A paisagem geográfica. **Stadium Generale**, v. 2, p. 163–181, 1950.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980.
- TURNER, M.G, GARDNER, R. H. & O'NEIL, R. V. Landscape Ecology in Theory and Practice, Pattern and Process. **Spinger Verlag**, New York. 401p. 2001.

VERDUM, R. Os geógrafos frente às dinâmicas sócio-ambientais no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, v. 16, p. 91–94, 2005.

VITTE, A. C. Kant, Goethe e Alexander Humboldt: Estética e paisagem na gênese da geografia física moderna. **ACTA Geografia**, v. 8, p. 7–14, 2010.

XAVIER, R. . et al. Caracterização do regime fluvial da bacia hidrográfica do rio Paraíba - PB. **Revista Tamoios**, v. 8, p. 15–28, 2013.

XAVIER, R. A.; MACIEL, S.; MIRTES, V. Revista Brasileira de Geografia Física. **Análise espacial das chuvas na bacia do rio Taperoá, Região Semiárida da Paraíba**, v. 05, p. 1357–1369, 2016

XAVIER, R.A.; SEABRA, V.S.; DORNELLAS, P.C.; DAMASCENO, J. Mapeamento da Vulnerabilidade a Erosão na Bacia do Rio Taperoá, Região Semiárida da Paraíba. **XI SINAGEO**. Maringá/PR. 2016. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/6/6-475-536.html>. Acesso em: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/6/6-475-536.html>. 18 jul de 2019.

## ANEXOS

**Anexo 1:** Médias de pluviosidade dos últimos 30 anos das estações da BHRT

<b>MUNICÍPIO / POSTO</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>ANUAL</b>	<b>lat1</b>	<b>long1</b>
São Sebastião do Umbuzeiro	55.80	80.60	160.00	122.50	51.50	30.90	25.20	7.00	11.50	11.00	20.80	28.90	624.90	-8.15170	-37.00970
São João do Tigre/Santa Maria da Paraíba	51.40	86.40	136.20	142.60	75.50	77.50	78.20	35.90	20.90	12.40	10.10	32.40	746.70	-8.10530	-36.63970
São João do Tigre	36.00	67.20	124.00	113.40	42.40	35.40	23.20	8.40	5.30	5.70	15.60	19.50	503.20	-8.08000	-36.84720
Camalaú	62.70	87.90	140.80	148.60	73.50	38.00	36.20	16.60	11.30	7.40	15.10	24.00	665.50	-7.89000	-36.82560
Congo	29.70	78.90	138.80	127.40	88.50	41.60	19.20	0.10	0.80	1.80	3.00	26.10	634.80	-7.80220	-36.65860
Barra de São Miguel	32.40	68.30	92.80	98.00	46.10	44.20	32.40	14.80	10.40	8.60	1.30	12.00	464.00	-7.75170	-36.31810
Umbuzeiro/Mata Virgem	33.10	64.50	85.00	93.10	77.30	97.70	105.10	41.70	26.10	12.30	7.80	18.80	657.70	-7.74000	-35.79360
Princesa Isabel	86.80	139.20	192.20	142.30	74.20	37.00	24.40	8.20	9.40	11.80	34.00	56.90	789.20	-7.73310	-37.99440
Caraúbas	21.20	51.80	101.10	82.60	41.30	25.30	17.40	3.90	1.50	5.30	7.70	13.30	365.60	-7.72530	-36.49030
Manaíra	80.60	123.90	197.30	124.20	37.00	19.10	10.50	1.90	2.90	5.70	22.50	52.10	699.40	-7.70690	-38.15250
Umbuzeiro	36.80	46.40	83.10	92.20	118.50	127.00	114.50	65.70	34.30	12.70	13.60	24.00	755.70	-7.69580	-35.66420
Prata	54.70	120.50	186.30	166.30	78.00	39.80	32.40	15.70	5.80	6.60	13.20	26.30	748.20	-7.69500	-37.08420
Riacho de Santo Antônio	33.80	54.70	76.10	114.20	40.70	45.40	34.60	14.90	8.00	3.70	4.00	19.90	422.00	-7.69420	-36.15610
Coxixola	39.60	55.40	109.90	126.00	41.50	37.10	29.50	7.70	2.60	5.20	3.20	16.70	486.80	-7.62860	-36.60560
Gado Bravo/Fz. Lagoa dos Marcos	24.90	33.10	83.70	118.10	70.50	84.20	85.70	30.60	21.00	6.50	6.90	23.90	597.10	-7.58310	-35.79530
Conceição	103.10	152.30	207.60	140.90	55.60	30.10	12.50	8.90	10.40	7.00	27.30	47.90	868.70	-7.56000	-38.50190

Juru	96.00	160.20	187.30	174.20	71.30	32.40	24.20	7.00	6.50	11.10	15.40	55.50	845.10	-7.54780	-37.80670
Aroeiras	40.10	51.60	84.40	100.40	75.50	72.10	86.90	37.40	24.60	10.50	11.10	26.90	631.50	-7.54580	-35.71110
Barra de Santana/Bodocongó	15.60	37.80	76.50	73.90	53.10	55.80	45.60	17.20	7.30	6.20	5.50	10.90	404.30	-7.52360	-35.99860
Água Branca	63.90	113.30	176.00	151.50	84.80	47.40	33.10	10.00	8.00	2.60	12.10	20.10	719.60	-7.51189	-37.63669
Ibiara	131.00	204.60	246.80	222.50	85.40	49.00	25.00	5.40	13.80	10.90	18.40	57.10	1097.20	-7.50640	-38.40720
Cabaceiras	15.60	35.10	46.80	61.20	38.80	36.60	33.80	11.30	3.00	3.00	3.00	6.70	333.60	-7.49220	-36.28690
Boqueirão/Aç. Boqueirão	31.00	55.40	82.30	106.80	54.10	59.90	55.60	21.50	13.10	6.00	6.50	16.60	527.30	-7.49081	-36.13581
Nova Olinda	102.70	171.60	255.40	187.80	62.60	29.40	17.00	5.40	7.80	11.90	23.50	57.20	840.00	-7.48190	-38.04250
Serra Branca	32.10	76.80	110.80	143.80	38.40	31.80	25.70	9.70	5.60	5.10	5.50	31.80	532.80	-7.48190	-36.66000
Alhandra	65.90	108.30	189.20	202.10	280.70	272.90	239.20	131.70	71.80	35.60	32.40	48.10	1691.90	-7.42560	-34.91060
Boa Ventura	112.50	158.50	226.40	179.40	70.50	38.50	27.60	7.30	9.00	13.70	20.70	45.90	942.60	-7.42060	-38.21780
São José dos Cordeiros	23.60	85.10	145.20	158.50	42.00	35.30	31.50	9.10	3.20	1.90	3.90	15.80	554.50	-7.39080	-36.80580
Santana dos Garrotes	84.00	115.30	168.50	175.50	54.60	28.60	16.50	6.70	5.70	6.20	12.00	33.00	726.60	-7.38330	-37.98970
Imaculada	53.50	106.60	169.40	147.70	70.30	32.30	21.60	7.80	4.20	6.00	16.40	22.70	657.60	-7.38220	-37.50940
Fagundes	38.80	57.50	130.20	137.30	132.40	134.20	160.20	66.10	48.40	16.40	14.10	30.90	981.30	-7.35860	-35.78440
Sumé/Fz. Bananeiras	51.30	90.00	175.00	176.10	97.60	89.60	47.70	18.50	8.40	0.80	0.10	14.10	825.50	-7.33610	-36.72220
Itabaiana	38.90	60.00	106.40	117.60	116.90	112.50	93.30	48.70	28.10	12.00	13.40	21.90	770.60	-7.32500	-35.33750
Itaporanga	83.00	158.60	225.10	180.10	76.60	37.60	16.90	6.80	11.10	11.00	23.00	48.20	925.50	-7.32060	-38.21970
Bonito de Santa Fé	105.90	168.90	227.20	166.10	67.10	36.70	16.40	6.70	7.70	15.20	30.20	53.20	896.40	-7.31440	-38.51440
Ingá	34.90	46.00	80.30	89.90	94.60	103.20	88.80	50.60	24.50	11.60	14.40	23.40	661.30	-7.29250	-35.61190
Desterro	35.40	87.60	138.40	120.60	45.90	13.00	7.50	0.50	0.40	2.70	5.60	12.60	498.90	-7.29030	-37.08810
Pilar	51.80	75.00	120.60	137.10	129.40	125.50	118.20	66.70	31.70	17.50	18.60	20.20	921.20	-7.26750	-35.26080
Boa Vista	26.00	35.20	82.30	69.40	58.70	53.00	45.90	19.20	5.50	6.60	4.30	9.40	416.30	-7.25750	-36.23750
Gurjão	25.10	66.80	97.60	137.80	46.00	35.70	34.00	9.40	3.30	5.90	5.40	10.20	485.50	-7.24780	-36.48920

Olho D'Água	111.70	169.50	326.20	245.10	127.40	58.60	17.20	7.10	3.50	7.50	17.30	35.90	1219.30	-7.22780	-37.75060
Campina Grande/EMBRAPA	38.30	55.20	97.00	110.90	108.70	110.20	106.70	58.40	28.20	11.50	13.40	20.20	764.30	-7.22560	-35.90420
Teixeira	66.90	142.50	215.40	162.90	57.10	24.90	11.20	3.30	2.60	4.80	11.80	32.60	714.60	-7.22170	-37.24970
Taperoá	34.10	83.00	134.90	109.70	50.50	28.10	20.00	7.50	2.40	4.60	10.50	26.40	505.60	-7.21639	-36.82811
Piancó	81.50	169.90	242.70	185.10	89.40	33.50	17.00	9.30	5.10	12.40	22.10	35.30	751.10	-7.21500	-37.92580
Serra Grande	100.80	171.90	240.60	175.20	59.30	23.80	8.40	2.50	2.90	10.80	21.50	31.60	892.30	-7.21420	-38.37220
Cruz do Espírito Santo	84.00	107.50	171.10	176.50	186.70	182.70	149.10	93.40	66.40	29.30	34.00	42.40	1335.60	-7.14080	-35.09110
Santa Rita	75.40	93.60	172.90	220.20	226.30	245.50	192.50	106.40	52.80	24.30	23.10	39.30	1480.70	-7.14060	-34.98280
Passagem	70.40	141.40	177.60	185.30	46.30	22.80	13.70	1.50	0.70	1.30	9.80	17.30	711.10	-7.13640	-37.04750
Catingueira	84.70	156.20	259.60	239.10	106.70	31.50	19.70	4.60	4.20	8.50	16.90	29.60	946.20	-7.12830	-37.60830
São José de Piranhas	123.20	198.70	241.40	191.00	73.70	35.80	18.50	5.30	10.60	14.90	23.80	42.10	979.30	-7.11560	-38.49670
São José de Piranhas/Sítio Arapuá	103.30	175.30	238.90	159.90	48.30	19.50	8.20	3.20	4.40	8.50	22.10	40.10	849.60	-7.11560	-38.61610
Salgadinho	32.10	64.80	110.60	106.00	50.00	22.80	17.40	6.60	2.20	2.10	7.10	13.20	435.80	-7.10220	-36.84530
Aguiar	101.00	156.80	234.70	191.00	75.00	29.60	18.50	5.70	3.20	10.40	23.00	45.10	893.50	-7.09330	-38.17330
Sapé	48.90	65.60	128.60	154.80	156.60	165.20	132.30	74.30	40.00	17.30	14.90	24.00	1029.30	-7.09250	-35.22330
Santa Teresinha	74.80	161.80	223.00	223.80	75.90	31.40	17.00	2.10	4.40	8.10	8.50	26.90	871.10	-7.08420	-37.44500
João Pessoa/DFAARA	80.10	101.10	204.80	263.90	282.50	301.70	236.60	140.00	67.50	28.10	27.70	36.10	1764.20	-7.08330	-34.83330
Pocinhos	20.70	35.30	60.50	68.60	52.50	51.20	47.10	18.30	9.70	5.30	3.70	8.00	382.30	-7.07780	-36.05920
Juazeirinho	34.50	84.00	111.90	138.60	43.40	21.10	37.80	8.70	2.90	7.60	4.40	16.60	522.30	-7.06830	-36.58000
Soledade	23.00	52.90	94.10	89.50	39.30	33.30	27.80	8.00	2.90	5.70	3.50	9.70	391.20	-7.06080	-36.36190
Alagoa Nova	72.60	100.60	154.40	160.60	172.60	191.20	167.00	121.60	53.90	23.80	30.30	37.00	1283.70	-7.05420	-35.75780
Alagoa Grande	60.50	80.60	116.80	129.60	117.00	128.60	133.80	65.30	44.20	15.40	17.00	29.40	950.00	-7.03670	-35.63110
Mulungu	38.90	64.80	111.10	115.20	129.80	126.20	108.20	61.00	29.90	11.90	11.50	19.00	832.20	-7.03110	-35.46920

Coremas/Aç. Coremas	94.10	153.70	239.60	179.30	85.30	32.80	15.60	7.00	3.50	12.80	21.50	35.40	882.30	-7.02500	-37.94281
Cachoeira dos Índios/Balanços	123.40	166.60	219.30	193.70	62.00	35.00	18.00	4.30	6.20	10.90	14.20	42.30	913.20	-6.99060	-38.74720
Olivedos	28.10	56.40	92.20	100.10	61.00	51.10	37.80	15.50	7.20	5.40	6.10	11.00	471.00	-6.98860	-36.24360
Cajazeiras/Aç. Eng. Ávidos	115.10	174.10	235.00	168.60	55.80	26.90	15.50	3.00	4.20	13.50	17.20	35.10	871.90	-6.98081	-38.45500
Areia	67.00	94.30	161.50	167.40	180.30	205.90	191.50	131.50	65.40	32.60	28.60	43.30	1358.40	-6.97560	-35.71780
Santa Luzia	44.50	102.70	157.10	130.60	43.00	15.40	8.40	1.70	1.00	3.40	8.90	19.90	547.80	-6.96390	-36.92030
São José da Lagoa Tapada	127.10	220.40	246.20	202.90	75.90	31.70	17.40	5.80	3.50	8.30	17.50	32.30	998.50	-6.94220	-38.16190
São Mamede	68.50	148.00	215.20	208.10	61.80	26.40	24.50	2.00	1.80	3.00	7.30	29.10	820.00	-6.93060	-37.10360
Condado	71.40	130.60	214.80	184.60	77.00	26.10	16.00	4.40	3.40	4.30	11.50	25.20	781.00	-6.92310	-37.59470
Nazarezinho	105.40	174.10	233.20	165.20	60.90	22.60	8.80	1.90	2.30	10.40	20.10	37.70	863.80	-6.92000	-38.31970
Algodão de Jandaíra	19.60	43.30	66.40	92.30	43.70	35.50	41.20	11.00	12.40	5.40	4.20	10.40	396.60	-6.90610	-36.00750
Malta	66.40	123.60	219.20	173.00	62.90	29.90	14.20	1.80	2.90	6.60	11.10	18.30	715.90	-6.90330	-37.51970
Cajazeiras	101.40	168.40	252.00	169.10	67.20	27.80	13.00	4.10	6.10	11.10	17.20	41.10	880.60	-6.89420	-38.54440
Seridó	27.20	97.00	85.40	118.90	45.80	21.80	22.30	3.90	2.50	1.60	2.20	7.60	465.30	-6.85530	-36.41060
São José de Espinharas	83.20	153.30	246.30	215.60	69.50	37.40	18.20	2.80	1.80	1.10	10.90	20.90	884.70	-6.84810	-37.32640
Guarabira	65.00	78.20	155.40	175.70	166.10	192.00	137.50	80.80	50.10	15.50	20.40	37.40	1196.80	-6.84530	-35.49640
Sousa/São Gonçalo	96.00	176.00	247.20	175.60	68.80	34.50	15.80	5.60	4.50	11.60	18.50	41.10	914.40	-6.83580	-38.31170
Araçagi	58.30	70.70	97.70	138.80	138.60	140.80	138.10	67.70	51.20	15.20	16.10	23.20	982.10	-6.83330	-35.38780
Serraria	75.40	97.00	150.30	175.80	166.00	193.00	160.90	106.60	72.30	29.80	28.70	39.10	1288.30	-6.81920	-35.63860
Aparecida	82.60	154.40	219.60	196.40	100.50	50.10	25.30	12.70	10.00	9.60	6.90	35.30	920.00	-6.78640	-38.08470
Bananeiras/Vila Maia	71.40	84.70	153.80	169.70	161.20	153.10	167.40	80.90	57.30	28.40	25.50	41.40	1225.70	-6.78080	-35.57810
Pombal	73.70	124.40	191.80	162.10	73.30	31.10	12.10	7.40	2.90	7.70	12.60	20.60	730.90	-6.77190	-37.80060

Sousa	88.50	153.40	218.90	156.70	71.50	28.80	11.60	4.00	3.60	6.40	12.80	32.80	783.90	-6.76940	-38.21940
Sossêgo	27.80	64.20	90.40	159.20	68.30	37.00	49.80	10.50	10.10	6.30	1.90	14.10	536.10	-6.76640	-36.24670
Pedra Lavrada	23.60	59.00	102.90	89.60	31.50	20.60	15.00	4.90	2.20	4.20	2.20	9.30	359.40	-6.75530	-36.46440
Bananeiras	61.00	87.90	152.20	165.00	165.60	165.80	148.60	98.60	52.10	19.60	21.30	36.50	1190.00	-6.75140	-35.63420
Vista Serrana/Desterro de Malta	41.40	88.80	150.80	110.10	37.50	19.50	8.00	1.10	3.30	0.40	2.70	12.80	455.90	-6.73861	-37.56831
Barra de Santa Rosa	12.50	37.20	74.30	79.00	47.60	41.40	33.40	13.40	7.40	4.70	6.10	7.90	369.70	-6.72890	-36.05640
Casserengue/Sítio Salgado	16.70	36.30	96.60	92.20	57.00	40.90	46.80	7.80	6.30	0.90	0.80	9.60	413.80	-6.72750	-35.78920
São João do Rio do Peixe/Antenor Navarro	111.70	171.80	277.10	192.90	90.80	37.90	16.20	7.00	4.90	9.30	20.60	37.50	976.30	-6.72531	-38.45189
São João do Rio do Peixe/Aç. Pilões	96.90	139.90	233.30	171.20	75.70	35.30	17.80	4.70	3.80	8.50	12.10	31.30	819.80	-6.69500	-38.52189
Cacimba de Dentro	30.50	60.30	99.20	121.60	96.50	88.40	107.10	45.30	23.80	9.70	10.90	17.20	719.00	-6.63670	-35.79530
São Francisco	87.80	147.90	205.70	200.10	119.50	52.30	25.30	10.20	2.40	5.90	4.10	25.00	858.90	-6.61780	-38.09470
Caiçara	51.60	68.60	108.00	121.00	103.30	85.40	101.70	42.60	33.50	6.50	17.90	18.80	785.80	-6.61470	-35.46810
Sousa/Sítio São Vicente	114.00	167.90	196.80	192.70	109.10	43.50	17.20	0.60	2.00	6.90	5.90	32.30	863.70	-6.61420	-38.33030
Sumé	43.80	77.40	132.90	130.20	58.60	42.40	23.40	9.20	5.00	6.40	11.90	18.10	584.90	-6.61420	-38.33030
Jacaraú	50.00	57.50	176.80	166.40	168.40	162.70	144.50	128.00	40.20	16.70	23.90	21.80	1424.50	-6.61360	-35.29170
Mataraca	104.20	133.60	210.60	231.00	249.40	223.60	249.00	121.00	91.60	35.00	37.00	42.00	1742.60	-6.60140	-35.05360
Mamanguape	77.00	97.30	183.10	205.40	232.90	248.70	181.80	94.50	45.50	25.30	30.80	45.40	1501.10	-6.56110	-35.13500
Jericó	85.50	163.40	217.80	189.90	100.10	40.40	24.50	6.10	3.10	4.50	5.80	23.30	886.00	-6.55000	-37.80000
Araruna	48.80	68.10	133.00	126.20	110.30	113.90	105.80	59.80	29.40	12.50	16.30	21.40	844.50	-6.53140	-35.73970
Uiraúna	90.20	122.60	181.00	200.60	99.00	35.30	9.50	4.30	0.70	5.70	3.70	18.80	820.60	-6.52310	-38.40920

Triunfo/Barra do Juá	67.00	119.20	203.40	159.10	94.30	39.40	21.00	6.70	4.30	4.70	10.50	20.70	776.90	-6.51420	-38.53920
Picuí	29.70	50.80	88.10	85.70	36.80	19.70	10.60	4.00	1.40	1.10	3.70	9.90	339.10	-6.50500	-36.34690
Cuité	53.60	86.40	185.60	185.40	96.60	74.50	79.90	33.40	15.60	12.40	11.60	27.20	872.70	-6.48500	-36.14920
Riacho dos Cavalos/Jenipapeiro dos Carreiros	69.80	185.60	232.10	201.40	107.80	50.30	30.40	8.20	4.80	1.10	6.10	30.90	931.10	-6.43531	-37.65311
Católé do Rocha	71.20	141.80	235.10	210.60	126.80	46.80	21.80	7.70	3.80	5.80	8.70	24.00	849.10	-6.35190	-37.72390
Brejo do Cruz	72.50	139.00	212.20	190.20	98.60	38.50	15.60	5.10	3.10	4.80	7.70	21.90	810.00	-6.34830	-37.49970
Belém do Brejo do Cruz	60.70	127.60	206.60	176.40	77.30	29.10	20.50	3.00	2.40	6.40	7.00	18.70	721.00	-6.18640	-37.53560

**Anexo 2: Matriz Geoecológica**

MATRIZ GEOECOLÓGICA			1- Metacalcários, Quartzitos e Xistos		2- Suítes Intrusivas e Granitoides Indiscriminados		3- Suíte Máfica		4- Depósitos Sedimentares (Colúvio-Eluviais e Campos Novos)		5- Rochas Sedimentares		6 - Coberturas Metamórficas		
			(Equador, Seridó, Serra dos Quintos, Sertânia)								(Sumé)				
Índice de Aridez	Erosivida de	USO DA TERRA	1- Topos Suaves	2- Superfícies Aplainadas	1- Topos Suaves	2- Superfícies Aplainadas	1- Topos Suaves	2- Superfícies Aplainadas	1- Topos Suaves	2- Superfícies Aplainadas	1- Topos Suaves	2- Superfícies Aplainadas	1- Topos Suaves	2- Superfícies Aplainadas	
1- MODERADA (acima de 0.4)	(1) +3- ALTA (4500 - 6647)	8- CAATINGA DENSA	C	C	C - IG	C-IG	C - IG	C-IG	C	C	C	C	C	C	
		6- CAATINGA MÉDIA DENSA	R	R	R	R	R - IG	R - IG	R	R	R	R	R	R	
		7- CAATINGA RAREFEITA	R	R	R - IG	R - IG	R - IG	R - IG	R	R	R	R	R	R	
		3- ALGAROBA	C	CP	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	CP	CP	CP	CP	CP	CP	
		2- AGROPASTO	U	U	U-IG	U-IG	U-IG	U-IG	U	U	U	U	U	U	
		5- FORMAÇÃO PLUTÃO BRAVO	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG
		9- MINERAÇÃO CAULIN	R	R	R-IG	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R	R	R

2- MÉDIA (3000 - 4500)	8- CAATINGA DENSA	C (12811)	C	C - IG (12821)	C - IG (12822)	CP - IG	C-IG	C	C	C	C	C (12861)	C (12862)
	6 - CAATINGA MÉDIA DENSA	R	RP	C -IG (12621)	C - IG	R - IG	R -IG	RP	RP	RP	RP	R (12661)	RP (12662)
	7- CAATINGA RAREFEITA	RP	RP	RP-IG	RP-IG	RP-IG	RP-IG	RP	RP	RP	RP	RP	RP
	3- ALGAROBA	CP	CP	CP-IG	CP-IG	CP-IG	CP-IG	CP	CP	CP	CP	UR	U
	2- AGROPASTO	U	U	U-IG (12221)	U-IG (12221)	U-IG	U-IG	U	U	U	U	U (12261)	U (12262)
	5- FORMAÇÃO PLUTÃO BRAVO	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG
	9 - MINERAÇÃO CAULIN	R	R	R -IG	R -IG	R - IG	R-IG	R	R	R	R	R	R
1- BAIXA (1500 - 3000)	8- CAATINGA DENSA	C (11811)	CP (11812)	C-IG (11821)	CP-IG (11822)	C-IG	CP-IG	C (11841 )	CP (11842)	C (11851 )	CP (11852)	C (11861)	CP (11862)
	6 - CAATINGA MÉDIA DENSA	RP (11611)	RP (11611)	RP-IG (11621)	RP-IG (11622)	RP-IG	RP	RP (11641 )	RP	RP (11651 )	RP (11652)	RP (11661)	RP (11662)
	7- CAATINGA RAREFEITA	RP (11711)	RP (11712)	RP-IG (11721)	RP-IG (11722)	RP-IG	RP-IG	RP	RP	RP (11751 )	RP (11752)	RP (11761)	RP (11762)
	3- ALGAROBA	RP (11311)	RP (11312)	RP-IG (11321)	RP-IG (11322)	RP-IG	RP-IG	RP	RP	RP (11351 )	RP (11352)	RP (11361)	RP (11362)

		2- AGROPASTO	U	U (11212)	UR-IG (11221)	UR-IG (11222)	U-IG	U-IG	U	U	U	U	U (11261)	U (11262)	
		5- FORMAÇÃO PLUTÃO BRAVO	C - IG	C - IG (11512)	C - IG (11521)	C - IG (11522)	C - IG (11531)	C - IG (11532)	C - IG	C - IG (11542)	C - IG (11551 )	C - IG (11552)	C - IG (11561)	C - IG (11562)	
		9- MINERAÇÃO CAULIN	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	
2- ALTA (0.3 até 0.4)	3- ALTA (4500 - 6647)	8- CAATINGA DENSA	C	C	C-IG (23821)	C-IG (23822)	C - IG	C - IG	C	C	C	C	C (23861)	C (23862)	
		6- CAATINGA MÉDIA DENSA	R	R	R - IG	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R (23661)	R (23662)	
		7- CAATINGA RAREFEITA	R	R	R - IG	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R	R	
		3- ALGAROBA	R	R	R-IG (23321)	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R (23361)	R (23361)	
		2- AGROPASTO	RP	RP	RP-IG	RP-IG	RP-IG	RP-IG	RP	RP	RP	RP	RP	RP	
		5- FORMAÇÃO PLUTÃO BRAVO	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG
		9- MINERAÇÃO CAULIN	R	R	R-IG	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R	R	R
	2- MÉDIA (3000 - 4500)	8- CAATINGA DENSA	C (22811)	C (22812)	C-IG (22821)	C-IG (22822)	C-IG	C-IG (22832)	C	C (22842)	C	C	C (22861)	C (22862)	
		6- CAATINGA	R (22611)	R (22612)	R-IG (22621)	R-IG (22622)	R-IG (22631)	R-IG (22632)	R (22641 )	R (22642)	R	R	R (22661)	R (22662)	

		MÉDIA DENSA												
		7- CAATINGA RAREFEITA	RP (22711)	RP (22712)	RP-IG (22721)	RP-IG (22722)	RP-IG	RP-IG (22732)	RP (22741)	UR	RP	UR	RP (22761)	U (22761)
		3- ALGAROBA	RP (22311)	RP (22312)	RP-IG (22321)	RP-IG (22322)	RP-IG	RP-IG (22332)	RP (22341)	RP (22342)	RP	RP	RP (22361)	RP (22361)
		2- AGROPASTO	U (22211)	U (22212)	UR-IG (22221)	UR-IG (22222)	U-IG	UR-IG	U (22241)	U (22242)	U	U	U (22261)	U (22262)
		5- FORMAÇÃO PLUTÃO BRAVO	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	UR	U	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG
		9- MINERAÇÃO CAULIN	R (22911)	R (22912)	R-IG	R-IG	R-IG (22931)	R-IG (22932)	R (22941)	R	R	R	R	R
1- BAIXA (1500 - 3000)	8- CAATINGA DENSA	C (21811)	C (21812)	C - IG (21821)	C - IG (21822)	C - IG	C - IG	CP (21841)	CP	CP (21851)	CP (21852)	CP (21861)	CP (21862)	
	6- CAATINGA MÉDIA DENSA	RP (21611)	RP (21612)	R - IG (21621)	R - IG (21612)	R - IG (21631)	R-IG (21632)	RP (21641)	RP	RP	RP	RP (21661)	RP (21662)	
	7- CAATINGA RAREFEITA	RP (21711)	RP (21712)	RP-IG (21721)	RP -IG (21712)	RP -IG (21731)	RP -IG (21732)	RP	RP	RP	RP	RP (21761)	RP (21762)	

		3- ALGAROBA	RP (21311)	RP (21312)	RP-IG (21321)	R-IG (21322)	R-IG	R-IG	R	UR	RP	UR	RP (21361)	RP (21362)	
		2- AGROPASTO	U (21211)	U (21212)	UR-IG (21221)	UR-IG (21222)	UR-IG	UR-IG	U	U	U	U	U (21261)	U (21362)	
		5- FORMAÇÃO PLUTÃO BRAVO	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG
		9- MINERAÇÃO CAULIN	R	R	R-IG	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R	R	R
3 - MUITO ALTA (0.2 "mínima da região" até 0.3)	3- ALTA (4500 - 6647)	8- CAATINGA DENSA	C	C	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C	C	C	C	C	C	
		6- CAATINGA MÉDIA DENSA	C	C	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C	C	C	C	C	C	
		7- CAATINGA RAREFEITA	R	R	R-IG	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R	R	
		3- ALGAROBA	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
		2- AGROPASTO	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	
		5- FORMAÇÃO PLUTÃO BRAVO	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG	C-IG
		9- MINERAÇÃO CAULIN	R	R	R-IG	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R	R	R

	2- MÉDIA (3000 - 4500)	8- CAATINGA DENSA	C	C	C - IG (32821)	C - IG (32822)	C - IG	C - IG	C - IG	C	C	C	C (32861)	C (32862)	
		6 - CAATINGA MÉDIA DENSA	C	C	R - IG (32621)	R - IG (32622)	C - IG	C - IG	C - IG	C	C	C	R (32661)	R (32662)	
		7- CAATINGA RAREFEITA	R	R	R - IG (32721)	R - IG (32722)	R - IG	R - IG	R - IG	RP	RP	RP	RP (32761)	RP (32762)	
		3- ALGAROBA	U	U	U	U	U	U	U	RP	RP	RP	RP (32361)	RP (32362)	
		2- AGROPASTO	CP	CP	RP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	U	U	
		5- FORMAÇÃO PLUTÃO BRAVO	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG
		9 - MINERAÇÃO CAULIN	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP
	1- BAIXA (1500 - 3000)	8- CAATINGA DENSA	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
		6 - CAATINGA MÉDIA DENSA	R	CP	R - IG	R - IG	R ] - IG	CP-IG	C	UR	UR	UR	UR	UR	UR
		7- CAATINGA RAREFEITA	R	RP	R - IG	RP- IG	RP-IG	R-IG	RP	R	RP	R	RP	R	
		3- ALGAROBA	U	U	UR - IG	UR - IG	UR - IG	UR - IG	U	U	C	C	U	U	
		2- AGROPASTO	U	U	UR - IG	UR - IG	UR - IG	UR - IG	UR	U	UR	UR	U	U	
		5- FORMAÇÃO	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG	C - IG

		PLUTÃO BRAVO												
		9 - MINERAÇÃO CAULIN	R	R	R-IG	R-IG	R-IG	R-IG	R	R	R	R	R	R

R = Recuperação Integral; C = Conservação Integral; RP = Recuperação Parcial (cursos d'água, nascentes, etc.), Áreas destinadas a Uso ; CP = Conservação Parcial (cursos d'água, nascentes, etc.) ; IG =Interesse Geológico ; UR = Uso Restrito; U = Uso Consciente.

Relação entre as classes para a BHRT