



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – CECEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E
DINÂMICA DO ESPAÇO – PPGeo

IDEVAN GUSMÃO SOARES

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO PROCESSO EROSIVO
COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO E À GESTÃO AMBIENTAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO-MA**

Linha de pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação

São Luís-MA

2021

IDEVAN GUSMÃO SOARES

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO PROCESSO EROSIVO
COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO E À GESTÃO AMBIENTAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO-MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGeo) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Araujo dos Santos.

Linha de pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação.

São Luís-MA

2021

Soares, Idevan Gusmão.

Análise da vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo como subsídio ao planejamento e à gestão ambiental na bacia hidrográfica do Rio Preto - MA / Idevan Gusmão Soares. – São Luís, 2021.

224 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Araujo dos Santos.

1.Rio Preto. 2.Vulnerabilidade ambiental. 3.Morfodinâmica. 4.Problemas ambientais. 5.SIG. I.Título.

CDU: 911.9:502/504(812.1)

IDEVAN GUSMÃO SOARES

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO PROCESSO EROSIVO
COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO E À GESTÃO AMBIENTAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PRETO-MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGeo) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Geografia.

Aprovado em: 18/03/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luiz Carlos Araujo dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)



Profa. Dra. Regina Célia de Oliveira
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)



Profa. Dra. Melina Fushimi
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Dedico esse trabalho a todos que me ajudaram a construir cada etapa deste sonho. Dedico primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino, meu guia; a minha mãe Idalina Gusmão Soares (*in memoriam*) e irmã Helena Maria Gusmão Soares.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ter concedido, através de sua bondade infinita, o potencial de concretizar mais uma conquista em minha vida e por ter me dado força e perseverança para lutar pelos meus sonhos e objetivos.

À minha família, em especial a minha irmã Helena Maria Gusmão Soares e a minha mãe Idalina Gusmão Soares (*in memorian*) e Alexia de Melo Amorim, que são a minha base e incentivo para seguir firme a cada dia.

Ao prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos, pelo apoio, orientação e acolhimento durante a realização deste trabalho, assim, como a profa. Dra. Regina Célia de Oliveira pela sua contribuição para o presente estudo quando estive estagiando na Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP no âmbito do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia - PROCAD/Amazônia, ainda estendo os agradecimentos aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGeo.

A Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), por investir nos discentes e por promover o ensino, pesquisa e extensão na Instituição e ao PPGeo da UEMA.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pelo financiamento da pesquisa e ao PROCAD/Amazônia por apoiar projetos conjuntos de ensino e pesquisa, em instituições distintas como foi o caso da parceria firmada entre o Curso de Geografia da UEMA e o Curso de Geografia da Unicamp e da Universidade Federal do Pará – UFPA, também agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ao Grupo de Estudos da Amazônia Oriental - GEOAMAZON, aos pesquisadores/técnicos do Núcleo Geoambiental da UEMA em especial ao Gerente, prof. Me. Jucivan Ribeiro Lopes, a chefe do setor de Geoprocessamento, a Profa. Me. Elienê Pontes de Araújo, Danúbio Campos Pinheiro, Haunen Araújo Rocha, João Firminiano da Conceição Filho, Deysiele Viana de Oliveira.

Aos amigos e colegas do PPGeo da UEMA, a saber: Katiuse Mendes Lopes, Gisele Polanski França da Silva, Ricardo Gonçalves Santana, Gleyciane de Jesus Pereira Cruz, Fernando Gustavo Meireles Baima, Matheus Andrade Marques. E aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Unicamp: Paulo Roberto Mendes Pereira e Adielson Correia Botelho. Aos amigos Edelson Leitão Maciel e Janderson Rocha Silva.

HÁ MOMENTOS

*... Sonhe com aquilo que você quiser
Seja o que você quiser ser, porque você possui
apenas uma vida
E nela só se tem uma chance de fazer aquilo
que se quer.
Tenha felicidade bastante para fazê-la doce.
Dificuldade para fazê-la forte. Tristeza para
fazê-la humana.
E esperança suficiente para fazê-la feliz.*

(...)

*A felicidade aparece para aqueles que
choram.
Para aqueles que se machucam. Pra aqueles
que buscam e tentam sempre.
E para aqueles que reconhecem a importância
das pessoas que passam por suas vidas.
O futuro mais brilhante é baseado num
passado intensamente vivido.
Você só terá sucesso na vida quando perdoar
os erros e as decepções do passado.
A vida é curta, mas as emoções que podemos
deixar duram uma eternidade.
A vida não é de se brincar porque um belo dia
se morre.*

(Clarice Lispector)

RESUMO

O trabalho tem como área-objeto a bacia hidrográfica do rio Preto a qual localiza-se na região nordeste do estado do Maranhão. Esta pesquisa pauta-se na categoria paisagem e tem por objetivo geral analisar a vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo da bacia hidrográfica do rio Preto - MA como subsídio ao planejamento e à gestão ambiental e por objetivos específicos: determinar as unidades de planejamento e gestão da bacia; identificar a vulnerabilidade dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica do rio Preto e avaliar o grau de vulnerabilidade a partir do uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto. Para atingir os objetivos realizou-se pesquisa bibliográfica; trabalho de campo; cálculo de parâmetros morfométricos; seleção de bases cartográficas; aplicação de técnicas de geoprocessamento para mapeamentos temáticos, adotou-se a escala de 1:250.000. Toda a produção cartográfica foi realizada nos Sistemas de Informação Geográfica, QGIS, SPRING e ArcGIS. Recorreu-se ao método de Crepani *et al.* (2001) e AHP para espacializar os graus de vulnerabilidade ambiental da bacia, já para determinar as unidades de planejamento e gestão utilizou-se o método de Otto Pfafstetter. Os resultados sinalizam que a UPRH do riacho do Gavião apresenta a maior área de estabilidade na bacia ocupando 67,40%, enquanto a classe medianamente estável/vulnerável ocupa 24,26% e em situação de vulnerabilidade abrange 8,35%. As áreas vulneráveis associam-se a agricultura, pastagem, área urbana, silvicultura, vegetação secundária, os litotipos do Grupo Itapecuru, Barreiras e Depósitos Eólicos Continentais Antigos. Na UPRH do rio Mocambo predominou a estabilidade com cerca de 48,34%, o meio *intergrade* compreende 29,34% e as áreas instáveis 22,33%. Nesta unidade a vulnerabilidade associa-se tanto a interação dos componentes naturais da paisagem ao norte da bacia quanto a atuação antrópica relacionada ao uso urbano, a vegetação secundária e o cultivo de eucalipto. Já os meios estáveis na UPRH do rio Riachão ocupam 43,45%, os *intergrades* cerca de 28,65% e os instáveis 27,9%. Nessa unidade a agricultura, silvicultura, pastagem, área urbana, formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) foram determinantes para vulnerabilidade ambiental, também observa-se a vulnerabilidade natural ao norte da bacia. Identifica-se ainda conflitos sociais e que problemas ambientais como desmatamento, ocupação de APP, compactação de solos por máquinas pesadas, erosão laminar, desertificação dos solos, uso de agrotóxicos e queimadas, ambas relacionadas as monoculturas, têm acarretado impactos a bacia, assim como agravado a vulnerabilidade. Neste contexto, através do mapeamento das áreas de vulnerabilidade as medidas de prevenção e mitigação se tornam mais fáceis de serem vislumbradas devido à espacialização destes riscos, conseqüentemente, tem-se subsídios essenciais para o poder público atuar no sentido realizar uma gestão ambiental e, por conseguinte conservar a bacia do rio Preto - MA.

Palavras-chave: rio Preto. Vulnerabilidade ambiental. Morfodinâmica. Problemas ambientais. SIG.

RESUMEN

El objeto de la obra es la cuenca hidrográfica del río Preto, que se ubica en la región nororiental del estado de Maranhão. Esta investigación se basa en la categoría de paisaje y su objetivo general es analizar la vulnerabilidad ambiental al proceso erosivo de la cuenca hidrográfica del Río Preto - MA como un subsidio a la planificación y gestión ambiental y para objetivos específicos: determinar la planificación y unidades de manejo de la cuenca; identificar la vulnerabilidad de los parámetros físicos de la cuenca hidrográfica del río Preto y evaluar el grado de vulnerabilidad por el uso y cobertura del suelo en la cuenca del río Preto. Para lograr los objetivos se realizó una investigación bibliográfica; trabajo de campo; cálculo de parámetros morfométricos; selección de bases cartográficas; aplicación de técnicas de geoprocésamiento para cartografía temática, se adoptó la escala de 1: 250.000. Toda la producción cartográfica se realizó utilizando Sistemas de Información Geográfica, QGIS, SPRING y ArcGIS. Crepani y col. (2001) y AHP para espacializar los grados de vulnerabilidad ambiental de la cuenca, mientras que se utilizó el método de Otto Pfafstetter para determinar las unidades de planificación y manejo. Los resultados indican que la UPRH del arroyo Gavião tiene la mayor área de estabilidad en la cuenca, ocupando el 67,40%, mientras que la clase moderadamente estable / vulnerable ocupa el 24,26% y en situaciones de vulnerabilidad cubre el 8,35%. Las áreas vulnerables están asociadas a la agricultura, el pastoreo, el área urbana, la silvicultura, la vegetación secundaria, los litotipos del Grupo Itapecuru, Barreras y Antiguos Almacenes Eólicos Continentales. En la UPRH del río Mocambo, predominó la estabilidad con alrededor del 48,34%, el medio intergrado comprende el 29,34% y las áreas inestables el 22,33%. En esta unidad, la vulnerabilidad está asociada tanto a la interacción de los componentes naturales del paisaje al norte de la cuenca como a la actividad humana relacionada con el uso urbano, la vegetación secundaria y el cultivo de eucaliptos. Los medios estables en la UPRH del río Riachão ocupan el 43,45%, los intergrados alrededor del 28,65% y los inestables el 27,9%. En esta unidad, agricultura, silvicultura, pastoreo, área urbana, formaciones pioneras, vegetación con influencia marina (Restinga) fueron determinantes para la vulnerabilidad ambiental, también se observa vulnerabilidad natural en el norte de la cuenca. También identifica conflictos sociales y que problemas ambientales como la deforestación, ocupación de APP, compactación de suelos por maquinaria pesada, erosión laminar, desertificación de suelos, uso de pesticidas e incendios, ambos relacionados con monocultivos, han tenido impactos en la cuenca, así como agravados la vulnerabilidad. En este contexto, a través del mapeo de áreas de vulnerabilidad, las medidas de prevención y mitigación se vuelven más fáciles de vislumbrar debido a la espacialización de estos riesgos, en consecuencia, existen subsidios imprescindibles para que el poder público actúe para realizar la gestión ambiental, por tanto, conservar en consecuencia la cuenca del río Preto - MA.

Palabras-clave: río Preto. Vulnerabilidad ambiental. Morfodinâmica. Problemas ambientales. GIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Preto - MA	20
Figura 2	Ideia de espaço geográfico.....	56
Figura 3	Esquema representativo abrangendo as variáveis que compõem o mapa de vulnerabilidade natural e ambiental	65
Figura 4	Hierarquia de Vulnerabilidade Ambiental	101
Figura 5	Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas.....	104
Figura 6	Aplicação da equação para obter o mapa de vulnerabilidade ambiental .	111
Figura 7	Bacia hidrográfica otocodificada no 4ª nível.....	113
Figura 8	Carta-imagem com a localização dos trabalhos de campo realizados na bacia do rio Preto-MA	114
Figura 9	Mapa de precipitação acumulada anual da bacia do rio Preto-MA (Normal Climatológica de 1981-2010).....	116
Figura 10	Comportamento das precipitações (Normal climatológica 1981-2010) .	117
Figura 11	Temperatura máxima, mínima mensal e anual (Normal Climatológica de 1981-2010)	117
Figura 12	Rio Preto, coordenadas: 3° 27' 22.10" S e 43° 24' 17.09" W.....	118
Figura 13	Mapa de hierarquia fluvial da bacia do rio Preto - MA	120
Figura 14	Coluna estratigráfica generalizada da Bacia do Parnaíba	123
Figura 15	Mapa de unidades geológicas da bacia do rio Preto - MA	125
Figura 16	Mapa de unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto - MA.....	129
Figura 17	Mapa hipsométrico da bacia do rio Preto-MA.....	132
Figura 18	Frequência relativa das classes de elevação da bacia do rio Preto-MA...	133
Figura 19	Perfil altimétrico da bacia hidrográfica do rio Preto-MA.....	134
Figura 20	Mapa clinográfico da bacia do rio Preto-MA	136
Figura 21	Frequência relativa das classes de declividade e as formas de relevo	137
Figura 22	Mapa de solos da bacia do rio Preto - MA.....	139

Figura 23	Plantio de mandioca (A) e casa de farinha (B) na zona rural de Chapadinha	145
Figura 24	Plantio de milho (A) e arroz (B) na zona rural de Buriti	145
Figura 25	Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto - MA	147
Figura 26	Agroindústrias presentes na zona rural do município de Anapurus	148
Figura 27	Plantio de soja em Anapurus.....	150
Figura 28	Roça de toco na zona rural de Chapadinha.....	154
Figura 29	Plantio de eucalipto na zona rural do município de Buriti.....	155
Figura 30	Área urbana do município de Mata Roma (a) e Anapurus (b).....	157
Figura 31	Comparativo da população urbana, rural e total (1991, 2000 e 2010)....	158
Figura 32	Moradias do Programa Minha Casa, Minha Vida na área urbana de Chapadinha	159
Figura 33	Bovinos na zona rural do município de Chapadinha	160
Figura 34	Vegetação secundária no povoado Lagoa Amarela, município de Chapadinha	161
Figura 35	Vegetação ripária na bacia do rio Preto	162
Figura 36	Desmatamento de APP na zona rural de Chapadinha.....	163
Figura 37	Atividade pesqueira na bacia do rio Preto na zona rural de Mata Roma.	164
Figura 38	Savana Arborizada na zona rural do município de Anapurus.....	165
Figura 39	Áreas de formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) em Belágua.....	167
Figura 40	Área de babaçual na zona rural de Chapadinha	168
Figura 41	Mapa de vulnerabilidade de solos da bacia do rio Preto-MA.....	172
Figura 42	Mapa de vulnerabilidade das unidades geológicas da bacia do rio Preto-MA	175
Figura 43	Mapa de vulnerabilidade das unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto-MA	178
Figura 44	Mapa de vulnerabilidade da declividade da bacia do rio Preto - MA.....	180

Figura 45	Mapa de vulnerabilidade do uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto - MA	183
Figura 46	Cultivo de milho na zona rural do município de Chapadinha.....	186
Figura 47	Mapa de vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo da bacia do rio Preto - MA	192

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Síntese das concepções e definições sobre paisagem das escolas alemã, russa e francesa.....	46
Quadro 2	Definições de vulnerabilidade	58
Quadro 3	Classes de uso e cobertura da terra vetorizadas com o uso do SPRING...	97
Quadro 4	Planos de informação - variáveis e critérios.....	105
Quadro 5	Tributários da bacia hidrográfica do rio Preto-MA	119
Quadro 6	Síntese das formas de relevo da bacia do rio Preto-MA	138
Quadro 7	Características da vegetação dos municípios banhados pela bacia do rio Preto.....	143
Quadro 8	Vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo da bacia do rio Preto por UPRH	193
Quadro 9	UPRH da bacia do rio Preto: fatores potenciais e limitantes.....	198

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Escala de valores AHP para comparação pareada	78
Tabela 2	Valores de <i>IR</i> para matrizes quadradas de ordem <i>n</i>	81
Tabela 3	Regras para reclassificação das altitudes	91
Tabela 4	Classes de declividade.....	93
Tabela 5	Regras para reclassificação dos intervalos de declividade.....	93
Tabela 6	Características espectrais da imagem Landsat-8.....	95
Tabela 7	Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia	98
Tabela 8	Matriz de comparação pareada.....	102
Tabela 9	Matriz padronizada.....	102
Tabela 10	Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns	106
Tabela 11	Valores de vulnerabilidade dos solos.....	107
Tabela 12	Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade.....	108
Tabela 13	Pesos de vulnerabilidade para as informações dos temas de geologia, solos, declividade	108
Tabela 14	Pesos de vulnerabilidade para as informações do tema uso e cobertura da terra.....	109
Tabela 15	Unidades geológicas da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	124
Tabela 16	Unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	128
Tabela 17	Hipsometria da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações.....	133
Tabela 18	Declividade e formas de relevo da bacia do rio Preto-MA.....	135
Tabela 19	Classes de solos da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	138

Tabela 20	Classes de uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	148
Tabela 21	Produção de soja na Mesorregião Leste Maranhense, Microrregião de Chapadinha e Municípios para o ano de 1994	149
Tabela 22	Municípios inseridos na bacia hidrográfica do rio Preto-MA.....	158
Tabela 23	Vulnerabilidade dos solos da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	171
Tabela 24	Vulnerabilidade das unidades geológicas da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	174
Tabela 25	Vulnerabilidade das unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	177
Tabela 26	Vulnerabilidade do gradiente de declividade da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	179
Tabela 27	Vulnerabilidade do uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	182
Tabela 28	Vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações	191

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Água
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
BHRP	Bacia Hidrográfica do Rio Preto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPT	Comissão Pastoral da Terra
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPSG	European Petroleum Survey Group
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IMESC	Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OLI	Operational Land Imager
QGIS	Quantum GIS
SEMA-MA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
UPRH	Unidade de Planejamento de Recursos Hídricos
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZEE/MA	Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	A paisagem como categoria de análise na Geografia	25
2.1.1	Introdução ao Conceito Geográfico de Paisagem	25
2.1.2	A abordagem da escola alemã	28
2.1.3	A abordagem da escola russa	33
2.1.4	A abordagem da escola francesa	37
2.1.5	O estudo da Paisagem na Geografia Brasileira	48
2.2	Vulnerabilidade ambiental e natural e suas diferentes abordagens	58
2.3	Aplicação do geoprocessamento no estudo da vulnerabilidade ambiental e natural	67
2.4	Método AHP – Processo Analítico Hierárquico	74
2.4.1	A Hierarquia.....	76
2.4.2	O Processo de Hierarquização do AHP.....	77
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	82
3.1	Método de interpretação	83
3.2	Método de pesquisa	88
3.3	Mapeamento dos aspectos fisiográficos	89
3.4	Identificação do uso e cobertura da terra	95
3.5	Identificação dos parâmetros morfométricos da bacia	97
3.6	Aplicação do método AHP para obtenção dos pesos das temáticas: Uso e Cobertura da Terra, Geomorfologia, Declividade, Pedologia e Geologia	100
3.7	Processo de mapeamento da vulnerabilidade ambiental da bacia	103
3.8	Identificação das unidades de planejamento e gestão da bacia	112

3.9	Trabalho de Campo.....	113
4	ANÁLISE INTEGRADA DA FISIOGRAFIA DA BACIA DO RIO PRETO	115
5	ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA.....	144
6	VULNERABILIDADE DOS PARÂMETROS FÍSICOS E DO USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA DO RIO PRETO	171
6.1	Vulnerabilidade dos solos	171
6.2	Vulnerabilidade das unidades geológicas.....	174
6.3	Vulnerabilidade geomorfológica	177
6.4	Vulnerabilidade do parâmetro declividade	179
6.5	Vulnerabilidade do uso e cobertura da terra.....	182
7	ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO	191
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	203
	REFERÊNCIAS	207

1 INTRODUÇÃO

Inicialmente, o conceito de vulnerabilidade foi proposto por Le Grand (1964), nos Estados Unidos e, posteriormente, em 1970, na França por Albinet e Margat (1970). Durante as décadas de 1980 e 1990 este conceito foi difundido mais amplamente com a publicação de outros trabalhos, tais como: Drastic (ALLER *et al.*, 1987); God (FOSTER; HIRATA, 1988); Avi (VAN STEMPVOORT; EWERT; WASSENAAR, 1992); Sintacs (CIVITA; DE MAIO, 1997); e Epik (DOERFLIGER; ZWAHLEN, 1997). A partir destas publicações, o conceito se consolidou, resultando em muitas interpretações para seu significado (FRANCISCO, 2018).

Nesse percurso histórico de construção teórico-conceitual, diversas dimensões e termos foram associados à vulnerabilidade para defini-la, dentre elas: fragilidade, risco, susceptibilidade, perigo, exposição, sensibilidade, e capacidade adaptativa ou de resposta. Além da introdução destes termos, há uma diversidade de enfoques de estudo, dentre os quais: vulnerabilidade ambiental, natural, social e socioambiental, assim como métodos e índices para medir e representar cartograficamente o grau de vulnerabilidade (SANTOS; SOARES, 2020).

Nesse contexto, entende-se que a vulnerabilidade natural mostra a pré-disposição do ambiente frente a fatores naturais como: geomorfologia, geologia, pedologia e a sua estabilidade em relação à morfogênese e à pedogênese, enquanto que a vulnerabilidade ambiental é intensificada pela pressão antrópica (GRIGIO, 2003; KLAIS *et al.*, 2012).

Conforme Grigio (2003), a vulnerabilidade natural abrange os aspectos naturais da paisagem (pedologia, geomorfologia, geologia e vegetação). Já a vulnerabilidade ambiental aborda essas variáveis e inclui a ação antrópica (uso e ocupação do solo), elemento considerado pelo autor como de grande importância em qualquer tipo de análise ambiental.

Entende-se que na natureza ocorre uma predisposição para a degradação dos solos decorrente da atuação erosiva (eólica e pluvial), assim como movimentos de massa e assoreamento de rios, ou seja, processos naturais que o ser humano não determina, porém a atuação antrópica sem o devido planejamento pode intensificar esses fenômenos, por exemplo, o desmatamento de extensas áreas para atividade agrícola, deixando o solo exposto e vulnerável à atuação mais intensa dos agentes erosivos ou ainda a remoção da mata ciliar das margens dos rios intensificando o assoreamento. Neste viés, surge a vulnerabilidade ambiental decorrente da intensificação advinda da pressão antrópica (SANTOS; SOARES, 2020).

Conforme Spörl (2007), os estudos relacionados à vulnerabilidade dos ambientes são importantes para o planejamento ambiental, pois se trata de um instrumento cuja finalidade é identificar e analisar os ambientes em função de seus diferentes níveis de susceptibilidade, proporcionando, assim, uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial.

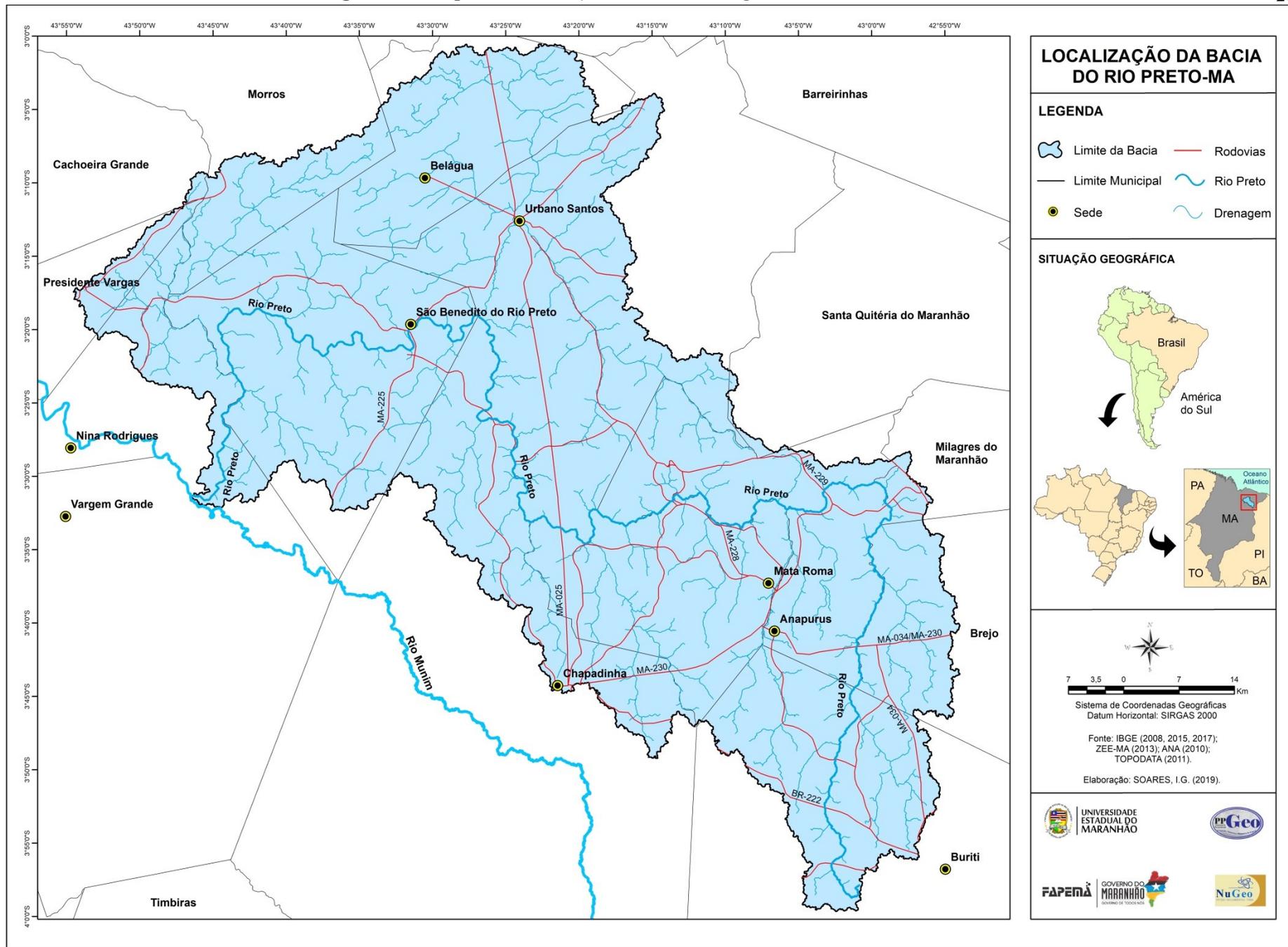
O planejamento e gestão ambiental necessitam de ferramentas ou metodologias que lhe apoiem e permitam facilitar seu processo. Uma destas metodologias é a determinação da vulnerabilidade ambiental, que permite avaliar a condição de risco da área em questão à processos geoambientais como a erosão; contaminação dos solos; dos recursos hídricos; perda de aproveitamento agrícola; dentre outros (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012).

Devido à complexidade em relação ao meio ambiente é necessária uma abordagem integrada para seu entendimento visando a conservação. O planejamento ambiental, dentro dessa ótica, é um excelente instrumento de gestão, pois estabelece diretrizes e metas a serem alcançadas dentro de um cenário temporal (FERREIRA, 2016). Neste contexto, os Sistemas de Informação Geográfica-SIG são úteis e eficazes na avaliação da vulnerabilidade ambiental, pois diversas camadas de informações, por exemplo, solos, vegetação, relevo, uso e ocupação etc., podem ser integrados e processados.

Em face ao exposto, o trabalho tem como área-objeto a bacia hidrográfica do rio Preto (BHRP) que é um afluente da bacia do rio Munim. A BHRP está situada entre as coordenadas geográficas: 3°0'00" - 4°0'00" S e 42°55'0" - 43°55'00" W. Após percorrer 270, 92 km, deságua no rio Munim, no município de Nina Rodrigues (Figura 1).

A gestão ambiental da bacia em questão está sobre a responsabilidade do Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Munim (MARANHÃO, 2013). Este órgão tem como missão promover a gestão integrada dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Munim, articulando as políticas públicas e setoriais correlatas e integrando o planejamento e as ações das instâncias do Sistema Estadual de Gerenciamento da Bacia. Embora tenha essa missão, o Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Munim não é atuante.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Preto-MA



Fonte: SOARES, 2021.

Desde 1980 a área da bacia tornou-se uma fronteira agrícola para onde se direcionaram projetos de expansão do agronegócio. As transformações e mudanças na dinâmica da bacia hidrográfica são observadas atualmente, devido a processos decorrentes dos usos da terra, ensejados pelas culturas agrícolas, com destaque para os cultivos de soja e eucalipto. As empresas relacionadas ao agronegócio têm cultivado extensas áreas com esses monocultivos, deixando expressivas áreas vulneráveis à aceleração de processos erosivos lineares, possibilitando o assoreamento do leito do rio Preto (SANTOS; SOARES, 2020).

As queimadas para limpeza das áreas agrícolas e áreas de pastagem são outras atividades que também favorecem o nível de degradação da bacia. Os camponeses que vivem nos municípios banhados pela bacia, por sua vez, fazem o uso da terra para cultivos agrícolas, com destaque para as culturas temporárias e criação extensiva de animais.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é analisar a vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo da bacia hidrográfica do rio Preto - MA como subsídio ao planejamento e à gestão ambiental, já por objetivos específicos: Determinar as unidades de planejamento e gestão da bacia; Identificar a vulnerabilidade dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica do rio Preto; Avaliar o grau de vulnerabilidade a partir do uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto.

Os parâmetros físicos levados em consideração no estudo da vulnerabilidade ambiental da bacia dizem respeito a geomorfologia, pedologia, declividade, geologia, considera-se a integração desses parâmetros associado ao uso e cobertura da terra com base na sua estabilidade em relação à morfogênese e à pedogênese, almejando contribuir na mitigação de áreas vulneráveis.

No que diz respeito a estrutura do trabalho, o mesmo, foi organizado em oito seções. Na primeira seção aborda-se, a presente introdução, a segunda trata dos pressupostos teóricos, esta seção é composta por quatro subseções, a saber: Paisagem como categoria de análise na Geografia, a qual aborda-se a etimologia e a trajetória do termo paisagem, assim como, sua evolução enquanto objeto de análise dos estudos geográficos na ótica das escolas francesa, alemã, russa e suas repercussões sobre o estudo da paisagem na geografia brasileira e ainda as concepções desta categoria por parte de alguns geógrafos brasileiros.

A segunda subseção do referencial teórico é intitulada: Vulnerabilidade ambiental e natural e suas diferentes abordagens. Nela discorre-se sobre a variedade de concepções sobre vulnerabilidade ambiental e natural, também apresenta-se os diferentes termos que são

associados a definição de vulnerabilidade ambiental, dentre eles: suscetibilidade, fragilidade, risco, perigo, exposição, sensibilidade, capacidade adaptativa, destaca-se ainda a definição de fragilidade ambiental e as múltiplas escalas e objetos de estudo sobre o enfoque da vulnerabilidade.

A terceira subseção tem por título: Aplicação do geoprocessamento no estudo da vulnerabilidade ambiental e natural. Nela são definidas, inicialmente, os termos geotecnologias, geoprocessamento, SIG, sensoriamento remoto e o benefício de suas aplicações na Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Planejamento Urbano e Regional. Discorre-se sobre a importância do SIG no que concerne sua capacidade de integração de variados tipos de dados.

Ainda na terceira subseção aborda-se os vários métodos, índices e indicadores que foram elaborados e utilizados com a finalidade de mensurar e espacializar os graus de vulnerabilidade ambiental e natural de um determinado objeto de estudo.

A última subseção do referencial teórico é intitulada: Método AHP – Processo Analítico Hierárquico. Nele explica-se o que é uma hierarquia como elaborá-la, na sequência discute-se sobre o processo de hierarquização do AHP. Desta forma, discute-se o que vem a ser prioridades no AHP; o uso da escala de prioridades; julgamentos; atribuição de pesos aos critérios, de acordo com sua importância relativa; a explicação das etapas para aplicação do AHP; apresenta-se as fórmulas para o cálculo do Índice de Consistência e Razão de Consistência; Índice Randômico; a distinção entre modo distributivo e ideal e, por fim destaca-se como será utilizado este método para alcançar o objetivo geral.

A terceira seção descreve os procedimentos metodológicos usados durante toda a pesquisa, esta seção subdivide-se em nove subseções, a saber: Método de Interpretação, nela apresenta-se a distinção entre método de interpretação e de pesquisa; aspectos do método de interpretação do tipo estruturalista a qual o presente estudo se baseia, assim como, sua lógica e funcionamento; o uso do método estruturalista nas mais diversas áreas do saber, inclusive na Geografia; como proceder no estudo das estruturas; e como a visão estruturalista é aplicada no estudo da vulnerabilidade ambiental da bacia em estudo.

A segunda subseção dos procedimentos metodológicos tem por título: Método de pesquisa, a qual apresenta os tipos de pesquisa que subsidiaram o desenvolvimento do estudo; a terceira subseção intitula-se: Mapeamento dos aspectos fisiográficos, onde descreve-se os procedimentos para confecção dos seguintes mapas temáticos: Classes de Solos, Unidades

Geológicas, Declividade, Hipsometria, Unidades Geomorfológicas, Precipitação Acumulada Anual. Além disso, também relata-se sobre a fonte da base de dados, os Sistemas de Informação Geográfica utilizados para a produção cartográfica e ainda a elaboração do perfil altimétrico e os cálculos feitos dos parâmetros morfométricos referente a temática altitude e declividade.

A quarta subseção tem por título: Identificação do uso e cobertura da terra, nela descreve-se os procedimentos para a produção do mapa de uso e cobertura da terra, desde a aquisição das imagens orbitais; operações de geoprocessamento; uso da técnica de fusão de imagem e de interpretação dos elementos da imagem; as referências que subsidiaram o mapeamento; e concluindo com o estabelecimento das classes que foram vetorizadas em ambiente SIG.

A quinta subseção, Identificação dos parâmetros morfométricos da bacia, descreve os cálculos realizados para identificar os parâmetros morfométricos da BHRP, a saber: Coeficiente de Compacidade; Fator de Forma; Densidade de Drenagem; Índice de Circularidade; Índice de Rugosidade; Coeficiente de Manutenção; Tempo de Concentração.

No tocante a sexta subseção intitulada: Aplicação do método AHP, expõe-se as etapas executadas para obtenção do peso das variáveis geologia, declividade, geomorfologia, pedologia e uso e cobertura da terra. Já a sétima subseção, Processo de mapeamento da vulnerabilidade ambiental da bacia, expõe uso da metodologia de Crepani *et al.* (1996; 2001) para espacializar e mensurar os diferentes graus de vulnerabilidade ambiental da BHRP.

A oitava subseção intitula-se: Identificação das unidades de planejamento e gestão da bacia, a qual apresenta o método de Otto Pfafstetter que foi utilizado para subdividir a bacia do rio Preto em 3 Unidade de Planejamento de Recursos Hídricos (UPRH). Já a última subseção dos procedimentos metodológicos, que tem por título: Trabalho de Campo, descreve o roteiro das atividades que foram executadas durante esta etapa da pesquisa, assim como, expõe seus objetivos principais.

A quarta seção intitulada: Análise integrada da fisiografia da bacia do rio Preto, apresenta as características da bacia, dentre elas: Clima; Hidrografia; Geologia; Geomorfologia abordando tanto as unidades geomorfológicas quanto a declividade e hipsometria; tipos de Solos; e Vegetação, dentre outras informações consideradas pertinentes para a caracterização fisiográfica da bacia.

Quanto a quinta seção, Análise do uso e cobertura da terra, discorre-se sobre o camponês e o empresariado do ramo do agronegócio que são os atores sociais presentes na área-objeto; evidencia-se os interesses específicos em relação ao uso da terra por parte deles; as empresas relacionadas ao agronegócio que se encontram na bacia e o início do plantio de suas monoculturas; as classes de uso e cobertura da terra identificadas na bacia; os impactos advindos do uso da terra; a degradação ambiental decorrente do uso sem planejamento; as ações e incentivos governamentais para o desenvolvimento da agroexportação da soja no Maranhão neste contexto comenta-se sobre o Programa do Corredor de Exportação Norte e Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER III); e as Unidades de Conservação na área de estudo.

Em relação a sexta seção, Vulnerabilidade dos parâmetros físicos e do uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto, enfoca-se a vulnerabilidade dos solos, unidades geológicas, geomorfológicas, declividade e uso e cobertura da terra. Destacando-se os tipos de meios morfodinâmicos a qual se enquadram as classes dessas temáticas, assim como, a importância da cobertura vegetal nativa como fator de proteção do solo no tocante a ação do processo erosivo, além das implicações ambientais decorrente do uso da terra e sua consequente contribuição para o agravamento da vulnerabilidade.

A sétima seção que tem por título: Análise da vulnerabilidade ambiental como subsídio de planejamento e gestão, discute a vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Preto por UPRH destacando como os diferentes elementos da paisagem ao se inter-relacionarem influenciam nos graus de vulnerabilidade ou estabilidade. Discorre-se ainda sobre os fatores de potencialidades e os fatores limitantes ao planejamento e gestão da BHRP. Aponta as técnicas de cultivo e conservação dos solos visando mitigar as áreas vulneráveis servindo assim de subsídio de planejamento e gestão da bacia em estudo.

Por fim, a última seção trata das considerações finais, nela ressalta-se os resultados obtidos em relação a vulnerabilidade dos parâmetros físicos e de uso e cobertura da terra e da vulnerabilidade ambiental por UPRH; as técnicas de cultivo e conservação dos solos; os impactos ambientais relacionados ao uso da terra na bacia; apresenta a importância das revisões bibliográficas, trabalho de campo e uso do geoprocessamento e sensoriamento remoto para o alcance dos objetivos propostos; e a importância do mapeamento da vulnerabilidade da bacia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Paisagem como categoria de análise na Geografia

Esta subseção tem o objetivo de abordar a etimologia e a trajetória do termo paisagem no âmbito da ciência geográfica, a partir da análise das obras de alguns autores que discorrem sobre a temática. Para tanto, se faz uma abordagem da evolução enquanto objeto de análise dos estudos geográficos através de sua idealização em diferentes escolas (alemã, russa e francesa), na qual foram responsáveis pela sua efetivação enquanto categoria de análise na Geografia. Em um segundo momento se aborda a influência desses estudos feitos pelas escolas geográficas nas análises de paisagem efetivadas na geografia brasileira e algumas definições e concepções de paisagem sobre a ótica de geógrafos(as) brasileiros(as).

2.1.1 Introdução ao Conceito Geográfico de Paisagem

Etimologicamente, o vocábulo paisagem surgiu no século XVI sendo que nas línguas românicas, deriva do latim (*pagus*, que significa país), com o sentido de lugar, setor territorial. Assim, dela derivam as distintas formas: *paisaje* (espanhol), *paysage* (francês), *paesaggio* (italiano), etc. As línguas germânicas apresentam um paralelismo através da palavra originária *land*, com um sentido praticamente igual e da qual derivam *landschaft* (alemão), *landscape* (inglês), *landschap* (holandês), etc. (PASSOS, 2003; VITTE, 2007).

As considerações geográficas sobre a paisagem partilham de diversos relatos de viagens temporalmente relacionados à antiguidade clássica (séculos VIII a.C. a VI d.C), nos quais apreende-se esforços para a unificação dos fenômenos num mesmo nível de abordagem (MARQUES NETO, 2008).

No Ocidente, o primeiro termo para designar paisagem foi a palavra alemã *landschaft*. Este termo existe desde a Idade Média (séculos V-XV), para designar uma região de dimensões médias, em cujo território desenvolviam-se pequenas unidades de ocupação humana. No período iluminista (século XVIII), o termo assimilou também um senso semântico, com a noção de quadro, arte e/ou natureza (MAXIMIANO, 2004).

Na França, a partir da Renascença (séculos XIV-XVI), proferiu-se *paysage* com um sentido próximo do original *landschaft*, que considera os arredores, com uma conotação espacial delimitada e delimitante. Na mesma época, metade do século XVI, também surgiu a

associação do termo *paysage* à estética, aliando aspectos naturais e representação artística da paisagem (MAXIMIANO, 2004).

Conforme Luchiari (2001), a noção de paisagem surge na Idade Média, na pintura, sob a forma de sentimento a natureza e valorização estética como símbolo distintivo de posição social, mas apenas após romper com a visão teológica medieval a ela assimilada durante esse período, após a laicização e autonomização dos elementos da natureza é que ela adquiriu sentido de lugar (BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.95).

Ainda no contexto da representação da paisagem na pintura Jellycoe e Jellycoe (1995 *apud* MAXIMIANO, 2004, p.84), citam as pinturas rupestres da França (*Lascaux*) e norte da Espanha, como as primeiras concepções conscientes do ser humano, a respeito de paisagem. As pinturas datam de período entre 30 mil e 10 mil anos a.C., e são os registros mais antigos que se conhece da observação humana sobre a paisagem.

Em relação a pintura, Passos (2003) revela que há duas vias de abordagem do fenômeno paisagem: aquela que, nas relações do homem com seu meio, privilegia a subjetividade; e a lição de que esta subjetividade se exprime de maneiras diferentes, segundo os tempos e as áreas culturais.

No século XV surgiu a concepção de paisagem associada à representação de lugar, à apreensão dos quadros da natureza e sua representação por meio da pintura de quadros. Roger (2000) destaca quatro condições para existência da paisagem: a primeira delas é sua própria representação linguística; sua representação literária, seja oral ou escrita, cantada ou descrita; e suas representações na pintura e na paisagem dos jardineiros, expressas através da ornamentação dos jardins (BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.95).

No que diz respeito a paisagem dos jardins na antiguidade, vale destacar o relato de Leite (1994 *apud* MAXIMIANO, 2004, p.84):

No Egito, a IV dinastia egípcia (2500 a.C) organizava jardins ornados com partes com água e varandas, que, em conjunto com pavilhões e celeiros, formavam um complexo residencial rodeado por muros. Os jardins, em geral, eram como oásis trazidos para dentro das cidades fortificadas. Os muros protegiam contra as ameaças externas que tanto podiam vir de outros povos, como de forças naturais, ainda desconhecidas. Portanto, percebe-se que a visão da paisagem original era de uma certa precaução, delimitada pelo conhecimento da realidade circundante. Ainda hoje o conhecimento da realidade define como se vê a paisagem, embora haja valores diferentes, como o econômico, o estético e o religioso.

No tocante a literatura evidencia-se, antes do século XVIII, a intenção deliberada de evocar as paisagens. Sendo que a paisagem se fez presente nos romances de aventuras e regionalistas, nos poemas, poesias e teatro. As estórias imaginadas e narradas em momentos diferentes da literatura representam um modo de conceber o mundo e está diretamente relacionado com o contexto social e político do momento, mas essa noção de paisagem tem como característica a subjetividade (PASSOS, 2003; BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

Barbosa e Gonçalves (2014, p.94) afirmam que, geralmente, o termo paisagem aparece relacionado, ao menos, a três acepções:

Como arranjo fisionômico das características biofísicas e humanas de uma determinada área; como extensão de um terreno perceptível a partir de um lugar determinado; e, como a percepção subjetiva e sua representação por meio de um quadro ou fotografia, significando um cenário ou uma cena. Deriva daí, portanto dois sentidos para formação de seus diversos conceitos na geografia: um sentido objetivo ligado aos aspectos concretos do meio ambiente, aquele da descrição das formas e funções dos objetos e sua fisionomia, como uma região natural e ou os meios, rural e urbano, e aquele sentido subjetivo, ligado à percepção, à abstração do arranjo ambiental ou de parte dele, pelo sujeito.

Na ciência geográfica, entretanto, o termo paisagem adquiriu caráter polissêmico desde seu surgimento na escola alemã, no século XIX. A construção desse conceito na Geografia ocorreu sob a influência do racionalismo positivista, romantismo e do idealismo. “Sua apreensão na perspectiva racionalista se deu a partir de uma racionalização objetiva, muito mais ligada à ciência. A partir da apreensão visual de objetos travestidos de formas e passíveis de descrição fisiológica”. (BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.94).

Na perspectiva idealista e romântica a paisagem surge como um conceito subjetivo, onde, a apreensão e a descrição dos objetos da paisagem dependem da subjetividade do sujeito. Daquilo que os sentidos do indivíduo dotados, por uma formação cultural e social, conseguem apreender. É uma perspectiva mais artística e literária (BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

Na geografia, paisagem emergiu então, sob a influência da noção evolutiva da paisagem pitoresca, de representar cenários da natureza através da pintura, e da arte de ornamentação de jardins, mas também da sua noção literária, associada a uma concepção estética, assumindo nessa ciência, caráter estético-descritivo, considerando a morfogênese e a magnitude dos objetos para fins de classificação dos elementos da natureza. Estudo apoiado na fisionomia e funcionalidade (BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.96).

A partir do século XIX, o termo *paisagem* é amplamente utilizado em Geografia e, em geral, se concebe como o conjunto de “formas” que caracterizam um setor determinado da superfície terrestre. A partir desta concepção que considera puramente as formas, o que se distingue é a heterogeneidade da homogeneidade, de modo que se pode analisar os elementos em função de sua forma e magnitude e, assim, obter uma classificação de paisagens: morfológicas, vegetais, agrárias, etc. Esse conceito de paisagem foi introduzido em Geografia por A. Hommeyerem mediante a forma alemã *landschaft*, entendendo exatamente por este termo, o conjunto de elementos observáveis desde um ponto alto (PASSOS, 2003).

É importante destacar, conforme Maximiano (2004, p.86) que:

Na metade do século XIX, estudos de vegetação para análise da paisagem trabalhavam com tipologias de unidades de vegetação e eram retomadas em uma tipologia maior de unidades paisagísticas. Em níveis diferentes, as unidades paisagísticas foram assimilando progressivamente componentes físicos até sociais.

A segunda metade do século XIX e a primeira do século XX representam, para a concepção científica da paisagem, o período do estabelecimento da maior parte de suas bases teóricas (PASSOS, 2003).

Na sequência são apresentadas as diferentes abordagens do estudo da paisagem, empreendidas, pelas escolas geográficas alemã, russa e francesa sendo que nesses estudos evidenciam-se as distintas bases de orientações teórico-metodológicas e filosóficas dessas escolas, e por fim discorre-se sobre as influências dessas correntes geográficas na abordagem da paisagem realizada pelos geógrafos brasileiros.

2.1.2 A abordagem da escola alemã

Inicialmente, as concepções de paisagem situam-se em Alexandre Von Humboldt (1769-1859), no século XIX. Ele dedicou um interesse particular à paisagem sobretudo sob esse ponto de vista que ele estuda a vegetação, considerada como o dado mais significativo para caracterizar um aspecto espacial. Mas não é de uma paisagem documentário que se trata: as diferenciações paisagísticas da vegetação devem permitir entender as leis que regem a fisionomia do conjunto da Natureza, pela aplicação de um método às vezes explicativo e comparativo (PASSOS, 2003).

Humboldt fez referência à paisagem demonstrando seu interesse pela fisionomia e aspecto da vegetação, pelo clima, sua influência sobre os seres e o aspecto geral da paisagem,

variável conforme a natureza do solo e sua cobertura vegetal (ROUGERIE; BEROUTCHATCHVILI, 1991 *apud* MAXIMIANO, 2004, p.85). Ele ainda destacou-se por sua visão holística da paisagem, de forma que associava elementos diversos da natureza e da ação humana, sistematizando, assim, a ciência geográfica (SCHIER, 2003).

Segundo Marques Neto (2008, p.244), “O caráter holístico da paisagem humboldtiana, cuja descrição denota forte inspiração no romantismo de Goethe (1749-1832), entrelaça condicionantes físicos de ordem geomorfológica, climática e biogeográfica, além das manifestações antrópicas dadas ao longo da história [...]”.

Os trabalhos de Goethe e Humboldt influenciaram na concepção de que existe uma harmonia na ordem natural e que a natureza manifesta-se diferenciada na superfície terrestre em função de como ocorre à integração entre os seus elementos (VITTE, 2007).

O conceito de paisagem, discutido no surgimento da Geografia, está atrelado à sua própria busca por um método próprio. Pautados neste conceito, Humboldt e Ritter (1779-1859) lançaram as bases para uma Geografia analítica e comprometida com a dinâmica das relações espaciais e em entender o conjunto da estrutura e processos ocorrentes na superfície da Terra. O empirismo raciocinado de Humboldt consistia numa análise da paisagem interessada na unidade dos fenômenos que o naturalista efetivou durante suas viagens, e que a obra *Quadros da Natureza*, sintetiza em dois volumes (MARQUES NETO, 2008).

Utilizando os tipos de formas vegetais e a noção de formação vegetal lançadas por Humboldt, Grisebach estabelece, em 1838, uma tipologia das formas e, em 1872, um resumo global das formações vegetais, precisando nesta ocasião que a organização das formas vegetais leva às diferenciações fisionômicas da paisagem (PASSOS, 2003).

Outra contribuição ao estudo da paisagem foi empreendida por Friedrich Ratzel (1844-1904), entretanto, sua colaboração é mais tardia, durante os últimos decênios do século XIX: na linha do racionalismo e do positivismo ambiental, ele insiste sobre as relações causais que interagem na natureza (PASSOS, 2003; MAXIMIANO, 2004).

Ratzel utilizou o conceito de paisagem em uma forma antropogênica, demonstrando que ela é o resultado do distanciamento do espírito humano do seu meio natural. Desta forma, descreve uma dialética entre os elementos fixos da paisagem natural, como o solo, os rios, etc., com os elementos móveis, em geral humanos (SCHIER, 2003; BRITTO; FERREIRA, 2011).

Na virada do século XX, as ideias de Ratzel foram assimiladas pela *Landschaftskunde*, uma ciência das paisagens, considerada sob ótica territorial, ou seja, uma expressão espacial das estruturas da natureza, organizadas por leis cientificamente observáveis (PASSOS, 2003; MAXIMIANO, 2004). As contribuições mais significantes neste período são dos autores: Ferdinand von Richthofen e Siegfried Passarge.

Richthofen (1833-1905) apresenta a visão da superfície terrestre (*Erdoberfläche*) como a intersecção de diferentes esferas: litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, o que ajuda a compreender as interconexões em qualquer setor da mesma (PASSOS, 2003).

Outro autor que se destacou no estudo da paisagem foi Passarge (1866-1958) que, através de suas pesquisas converteu-se no primeiro autor a dedicar um livro à paisagem (*Grundlagen der Landschaftskunde*, 1919-1920), dando origem a um novo ramo na Geografia denominado “Geografia da Paisagem”. A ele se devem apontamentos básicos, tais como os formulados em seu livro *Geomorfologia*, no capítulo referente às formas do relevo. A ideia de globalidade da paisagem é expressa por ele, neste livro, quando afirma:

Não basta para a distinção de paisagens (geomorfológicas) uma divisão estritamente climática, mas é preciso recorrer a uma divisão geográfica. Portanto, a morfologia das grandes zonas de paisagem, e não as zonas climáticas, é que deve ser considerada: paisagens de bosque, de estepes, desertos áridos, desertos frios (PASSOS, 2003, p.32).

A análise das relações entre os elementos é colocada em evidência nos estudos de Passarge. Em seu livro *Geomorfologia* (1931) explica no capítulo dedicado à gênese das formas do terreno, como estas mantêm íntimas vinculações com os elementos climáticos e com a vegetação:

Os elementos climáticos tendem à destruição das formas, enquanto a vegetação contribui para a sua conservação. As interações entre um conjunto de forças semelhantes conduzem às formas integradas, que lhes conferem uma série de características próprias e compõem as diferentes unidades de paisagem, que não são nunca a simples soma de seus componentes, mais interação entre os mesmos se origina uma estrutura que os convertem em algo basicamente diferente (PASSOS, 2003, p.33).

Ainda no sentido de expor as contribuições de Passarge no estudo da paisagem, Vitte (2007, p.75) argumenta que:

Na geografia física, o tratamento da paisagem será feito por Passarge em suas obras *Pysiologische Morphologie* (1912), *Die Grundlagen der Landschaftskunde*

(1919/1920) e o *Die Landschaftsgürtel der Erde* (1922). Nelas, o corolário da fisiologia da paisagem foi o eixo estruturador de sua obra. Assim, a compreensão do processo genético e estruturador das paisagens naturais, associado a um instrumental cartográfico, permitiria ao geógrafo estabelecer uma ordem e uma hierarquia entre as paisagens, passando do nível local ao zonal.

Alfred Hettner (1859-1941) compôs a geografia em três perspectivas, todas de origem kantiana: a geografia geral (dividida em várias disciplinas como geomorfologia, geografia climática, geografia dos solos, geografia econômica, etc.), a nomotética (trabalhando a paisagem de forma comparada), e a idiográfica (focaliza no conjunto específico de uma única paisagem, buscando entender como ela se organiza internamente) os dois últimos fazendo parte da geografia regional. A geografia deveria ser ao mesmo tempo física e humana (SCHIER, 2003; BRITTO; FERREIRA, 2011).

Otto Schlüter (1872-1959), que desde 1890 vinha se especializando no estudo dos estabelecimentos humanos, casas, campos, cercados, etc., redige, em 1907, uma curta brochura na qual faz da paisagem o objeto da geografia humana. Segundo Claval (1999, p.23), “esta publicação mantém a unidade da geografia, pois uma paisagem é tanto modelada pelas forças da natureza e pela vida, quanto pela ação dos homens”. Schlüter dedica, assim, boa parte de sua obra a retratar o estudo desde a pré-história das flutuações da cobertura florestal até as zonas humanizadas no espaço germânico (SCHIER, 2003, p.83).

Conforme Maximiano (2004, p.86), “Schlüter, no início do século XX, lançou o termo *Naturlandschaft* e *Kulturlandschaft*, propondo que a descrição fisionômica associasse elementos tanto da natureza quanto elementos da cultura, que, em sua totalidade corresponderiam à paisagem”.

Em função da ação do positivismo e da especialização dos vários ramos do saber geográfico, o conceito de paisagem geográfica como originariamente formulado foi descaracterizado. Agora, pode-se falar em paisagem cultural (*Kulturlandschaft*), paisagem natural (*Naturlandschaft*), paisagem florestal (*Urlandschaft*), como foram desenvolvidos nos trabalhos de Schlüter (VITTE, 2007).

É importante mencionar que, comumente, os geógrafos distinguem entre a paisagem natural e a cultural. A paisagem natural refere-se aos elementos combinados de terreno, vegetação, solo, rios e lagos, enquanto a paisagem cultural, inclui todas as alterações feitas pelo homem, como nos espaços urbanos e rurais (SCHIER, 2003).

Carl Troll (1899-1975) incorporou ao conceito de paisagem as abordagens da Ecologia. Foi ele quem definiu *ecótopo* como a extensão do conceito de *biótopo* à totalidade dos elementos geográficos, muito especialmente os abióticos, delineando desta forma o futuro conceito de “geossistema”. Definiu a Ecologia da paisagem que posteriormente denominou Geoecologia. Assim mesmo, segue a tendência de refletir sobre a paisagem natural *Naturlandschaft*, e a paisagem cultural, *Kulturlandschaft*, sendo para ele a paisagem cultural o conceito principal, incluindo a paisagem natural e humana (PASSOS, 2003).

Suertegaray (2001, p.4) discorre sobre a concepção de Troll (1950) no tocante a paisagem. Este autor concebia paisagem, segundo ela, como o conjunto das interações homem e meio. Tal conjunto apresentava-se sob dupla possibilidade de análise: a da forma (configuração) e da funcionalidade (interação de geofatores incluindo a economia e a cultura humana). Para ele, paisagem é algo além do visível, é resultado de um processo de articulação entre os elementos constituintes. Assim, a paisagem deveria ser "estudada na sua morfologia, estrutura e divisão além da ecologia da paisagem, nível máximo de interação entre os diferentes elementos". Esta análise, em sua visão, poderia ser de ordem exclusivamente natural (paisagens naturais) ou de ordem humana (paisagens culturais).

Segundo Maximiano (2004, p.86), “A linha que mais conservou a vegetação como parâmetro de análise da paisagem, conforme a ótica de Humboldt e Grisebach, resultou mais tarde nas concepções da Ecologia da Paisagem e Geo-Ecologia, de Carl Troll”. Para Troll a paisagem é definida como a entidade visual e espacial total do espaço vivido pelo homem (BRITTO; FERREIRA, 2011).

A paisagem representa um conjunto específico de relações ecológicas, principalmente com os seus fatores físicos. Esta ideia, lançada por Troll, em 1939, dá raiz à *Landschaftsökologie* (ecologia da paisagem), que reagrupa os elementos da paisagem de um ponto de vista ecológico, dividindo-os em *ecótopos*, unidades comparáveis aos ecossistemas. Com este modo de pensar, introduzia-se um entendimento sistêmico das unidades geográficas (SCHIER, 2003).

Embora Humboldt já tivesse definido a paisagem como a totalidade de uma região, Troll, forjou o termo ecologia da paisagem, no final dos anos 30. Sua expectativa era de combinar a dimensão espacial, horizontal, da abordagem geográfica, com a dimensão funcional, vertical, da abordagem ecológica (MAXIMIANO, 2004).

A partir das abordagens da Ciência Ecológica, o conceito de sistema foi plenamente incorporado aos estudos da paisagem considerada como um sistema aberto. Neste momento, se destacam E. Neef e G. Haase. Para eles o homem tem (também) uma atividade espiritual que deve ser interpretada como parte do sistema da paisagem: o homem se encontra vinculado ao seu meio e aos demais homens, não somente através do intercâmbio de matéria e de energia, mas também, através do intercâmbio de informação (PASSOS, 2003).

Os últimos apontamentos da escola alemã da paisagem se dirigem basicamente aos estudos de grande escala e da sua cartografia, o que requer, em primeiro lugar, uma cuidadosa classificação das unidades da paisagem (G. HAASE), assim como também uma clara tendência à aplicação – mediante o tratamento, por exemplo, da gestão da paisagem a diferentes escalas (G. e J. HAASE) -, do diagnóstico dos problemas de fragilidade da paisagem, da avaliação da potencialidade e usos da mesma (H. HUBRICH, H. RIECHTER); da problemática referente aos sistemas de informação e bases de dados (PASSOS, 2003).

A abordagem da Ciência da Paisagem na escola alemã seguiu-se orientada simultaneamente em duas linhas: uma abordagem naturalista, denominada de paisagem natural (*Naturlandschaft*) e outra de cunho cultural, a paisagem cultural (*Kulturlandschaft*). Essas duas abordagens serviram de base para o desenvolvimento das demais correntes de pensamento geográfico sobre paisagem, que se desenvolveram no âmbito das principais escolas geográficas do continente europeu (a Soviética e a Francesa) e das escolas Anglo-Saxônicas (BARBOSA, 2015).

2.1.3 A abordagem da escola russa

Na ex-União Soviética, a Ciência da Paisagem tem início no final do século XIX. Suas origens relacionam-se com as concepções da escola germânica e das contribuições da edafologia científica de Vasily Vasili'evich Dokoutchaev (1848-1903) (PASSOS, 2003).

A orientação naturalista da escola germânica influenciou Dokoutchaev no desenvolvimento de sua teoria sobre a gênese dos solos e na elaboração do conceito de esfera físico-geográfica, encarando a origem do manto pedológico mediante uma relação integrada de elementos da paisagem (relevo, matéria orgânica, rocha, clima, tempo), dando as primeiras bases para o desenvolvimento do conceito de geossistema (MARQUES NETO, 2008).

Segundo Dokoutchaev, o solo é resultado da interação dos elementos da paisagem, isto é, do complicado sistema de relações do complexo natural: a rocha mãe, o

relevo, a água, o calor e os organismos. Deste modo, essa formulação constitui o ato de nascimento da Ciência da Paisagem e Dokoutchaev é tido como o fundador da nova escola geográfica soviética (PASSOS, 2003).

O entre-duas-guerras e os dois decênios seguintes conheceram um desenvolvimento importante desta geografia da *landschaft*, sob o duplo efeito da acentuação das prospecções de terras virgens e do esforço de reflexão teórica (PASSOS, 2003).

A escola russa assimilou características eminentemente naturalistas, sendo que (BARBOSA; GONÇALVES, 2014) numa primeira fase, os autores soviéticos definem o complexo físico ou complexo natural, considerando que o globo terrestre está formado por elementos ou corpos individuais que atuam em qualidade de componentes e chegam a duas conclusões: os elementos naturais se encontram irregularmente distribuídos na superfície terrestre; elementos naturais estão relacionados entre si (PASSOS, 2003).

Na ótica soviética, a análise da paisagem prendeu-se mais ao sistema físico do que à vegetação, e reuniu os conceitos da *landschaft* alemã e do Complexo Natural Territorial (CNT)¹ de Dokoutchaev. A partir dos anos 30 até os anos 60 do século XX, as pesquisas sobre paisagem como sistema físico-químico vinham da URSS, de publicações de A.A. Grigoriev, L.S. Berg, V.B. Sochava, N.A. Solncev e A.G. Isachenko (MAXIMIANO, 2004).

Autores como J. P. Gerasimov e J. A. Mescherikov formularam o conceito de morfoestrutura e morfoescultura estabelecendo uma proposta de hierarquização do relevo terrestre em diferentes níveis taxonômicos, entre as décadas de 40 e 70. Neste processo, foi elaborado o conceito de “geossistema”. A ênfase da geografia corológica e determinista despertou uma nova ótica entre alguns pesquisadores (MAXIMIANO, 2004; MARQUES NETO, 2008).

Conforme ressalta Passos (2003), “O período dos anos 50 e 60 é geralmente considerado como aquele de afirmação doutrinal da *Landschaftovedenie* (ciência da paisagem), sobretudo até 1965”.

Se identifica três linhas na qual foi fundamentada a paisagem na escola russa: os regionalistas, em torno de Solncev e de Isachenko, para quem uma *landschaft* é uma unidade morfológica sempre localizada; de outro lado, os pesquisadores que, com D. L. Armand, consideram a *landschaft* como uma entidade sistêmica totalmente dissociada das noções

¹ O CNT segundo Amorim (2012) é representado como recorte do ambiente na qual ocorre a interação de componentes bióticos e abióticos que se desenvolvem no interior de um complexo sistêmico.

corológicas; entre os dois, os tipologistas como Gvodzietski ou Saneblidze, interessados mais pela classificação do que pela corologia (PEREIRA, 2017).

Posteriormente desenvolveu-se a cartografia das unidades da paisagem, na qual se incluem, até meados do século XX, elementos diversos, especialmente o solo e a vegetação (PASSOS, 2003). Neste sentido, a escola russa desenvolveu a noção de *Naturlandschaft*, que tinha o propósito de identificar, classificar e cartografar as unidades naturais. “Os soviéticos se empenharam em desenvolver modelos sistemáticos de mapeamentos dos elementos da natureza levando em consideração as diversas escalas. Filosoficamente essa escola está apoiada no materialismo dialético, onde a natureza forma uma totalidade dialética”. (BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.99).

Uma importante contribuição para o estudo da paisagem no âmbito da escola soviética foi atribuída a Viktor Borisovich Sochava (1905-1978). Este autor lança em 1963, o termo e a noção de geossistema que terá importante repercussão na URSS e no estrangeiro (PASSOS, 2003).

O empenho dos soviéticos em encontrar um modelo teórico que os possibilitassem, realizar a classificação sistemática das unidades taxonômicas da paisagem, levaram-nos à elaboração da Teoria dos Geossistemas. Essa teoria foi desenvolvida a partir da Teoria Geral dos Sistemas, criada nos anos de 1930 por Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), num esforço de Sochava de aplicar esta teoria aos estudos da superfície terrestre (BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

Sochava (1978 *apud* PASSOS, 2003, p.35) explica que os geossistemas

São os sistemas naturais, de nível local, regional ou global, nos quais o substrato mineral, o solo, as comunidades de seres vivos, a água e as massas de ar, particulares às diversas subdivisões da superfície terrestre, são interconectados por fluxos de matéria e energia, em um só conjunto.

Conforme esclarece Passos (2003), o geossistema, neste contexto, é definido por combinações de massas e de energias e o conjunto da paisagem é considerado como a expressão de diferentes combinações.

Para Sochava (1963), o geossistema inclui todos os elementos da paisagem como um modelo global, territorial e dinâmico, aplicável a qualquer paisagem concreta. “Desse modo o mesmo pode ser compreendido como um modelo teórico de estudo da paisagem”. (BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.99).

Conforme Sochava (1978), o geossistema consiste em classes hierarquizadas do meio natural. Possui três escalas de grandeza: planetária, regional de grande extensão (pequena escala) e topológica a nível reduzido (grande escala). A sua identificação parte de dois princípios: de homogeneidade e de diferenciação. Os geossistemas com estrutura homogênea são geômeros e os de estrutura diferenciada são os geócoros essas duas classes são independentes e, concomitantemente, intercondicionadas. A perspectiva sistêmica permite a identificação da diversidade de interações dos níveis internos de uma paisagem, sua funcionalidade, seu estado e suas relações com o meio (PASSOS, 2003; MAXIMIANO, 2004; MARQUES NETO, 2008).

Ainda em se tratando do geossistema é colocado por Sochava (1977, p.9 *apud* MARQUES NETO, 2008, p.248) o seguinte argumento:

Hierarquia de construção é a mais importante feição dos geossistemas. Devido a isso, tanto a série elementar da superfície da Terra, quanto o geossistema planetário (“geographical cover”), ou as subdivisões intermediárias do meio natural, representam (cada qual separadamente ou em conjunto) uma unidade dinâmica, com uma organização geográfica a ela inerente.

A proposição de geossistemas de Sochava apresenta uma flexibilidade escalar que parte de ordens de grandeza planetárias e se rebaixa aos níveis topológicos, ressaltando que toda categoria dimensional de geossistema (topológica, regional, planetária e intermediária) possui suas próprias escalas e peculiaridades qualitativas da organização geográfica (MARQUES NETO, 2008).

Marques Neto (2008) põe em destaque outro aspecto das ideias de Sochava a qual refere-se à construção do geossistema segundo bases de ordem natural. Para ele, o geossistema consiste num sistema natural, composto por fatores bióticos e abióticos. Ainda que a dimensão antropocêntrica seja considerada, os atributos naturais é que são tidos como entes fundamentais na composição do geossistema.

Sochava explica que “embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais, influenciando sua estrutura e peculiaridades, são tomados em consideração durante seu estudo e suas descrições verbais ou matemáticas”. (SOCHAVA, 1997, p.6 *apud* MARQUES NETO, 2008, p.249-250).

Para o autor, os fatores antrópicos que participam da estrutura de um geossistema funcionam como elementos que interferem em sua dinâmica e estrutura, que é, necessariamente, de ordem natural (MARQUES NETO, 2008).

A contribuição da escola Soviética é reconhecida como umas das mais importantes para o conhecimento sobre paisagem em geografia, e especialmente para a “dita” geografia física, tanto no que diz respeito à “ordem epistemológica, quanto de estruturas institucionais”. Foi essa escola quem lançou as primeiras bases epistemológicas dentro de uma “lógica paisagística”. (PASSOS, 2003; BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.99).

2.1.4 A abordagem da escola francesa

A escola geográfica francesa influenciada, preponderantemente, por Paul Vidal de La Blache (1845-1918) usou bastante a descrição, para ressaltar os traços singulares da paisagem, com a intenção de delimitar e caracterizar a região geográfica (PASSOS, 2003).

A Geografia lablachiana até a segunda metade do século XX teve seus estudos voltados para descrição das regiões geográficas daquele país. Preocupava-se em enfatizar, descritivamente, os aspectos individuais de cada região (BARBOSA; GONÇALVES, 2014). Conforme Passos (2003) esse caráter excepcionalista-descritivo bloqueou qualquer tentativa de conceituação da paisagem e todo esforço para se chegar até leis gerais.

Conforme Dantas e Medeiros (2008, p.4), a noção que La Blache tem de região é fundada no princípio da “unidade terrestre”, segundo o qual a região se constituiria enquanto parte de um todo e ela mesma se constituiria numa unidade, em que, havendo a quebra das ligações naturais, seria impossível reconhecer o encadeamento que religa os fenômenos dos quais se ocupa a Geografia e que é sua razão de ser científica.

A região para La Blache não é a descrição de um mosaico de paisagens. Existe, na sua noção de região, uma visão de movimento, de imbricações dos seres regionais. As regiões de um país são peças que mantêm relações entre si, formando um todo (DANTAS; MEDEIROS, 2008, p.4).

Vidal mostra que existem regiões naturais, mas para a Geografia, interessa a relação entre essa região natural e as regiões históricas, e essa unidade natural/histórica não se realiza sem implicações complexas. Não existe uma superposição automática entre elas. A ideia é que existe uma base geográfica no desenvolvimento histórico de um povo (DANTAS; MEDEIROS, 2008, p.4).

Dessa forma, para Vidal região é um recorte espacial relacionado à diferenciação natural e cultural dos lugares. Elementos como clima, geologia, cultura, história e técnica se imbricam e dão singularidades ao local (DANTAS; MEDEIROS, 2008).

Nesse contexto, apresentando também um caráter naturalista da geografia tradicional, pautada no positivismo geográfico, a escola francesa se diferencia da alemã, ao tornar o homem um ser ativo dentro do processo de formação da paisagem, moldando e transformando-a de acordo com suas necessidades e incorporando a cultura como ferramenta modeladora da paisagem (PEREIRA, 2017).

É importante evidenciar que os autores franceses, sob influência de La Blache e Jean Rochefort, caracterizaram a *paysage* ou o *pays* (paisagem) como o relacionamento do homem com o seu espaço físico (SCHIER, 2003).

Desde a metade do século XIX, geógrafos franceses, pesquisadores de campo ou professores, desenvolveram análises que permitiram a elaboração de conhecimento sobre paisagens. Na França, o termo paisagem foi substituído por “região” e “gênero de vida”, que são mais ligados à história do que aos elementos naturais. Entre os geógrafos franceses, as referências à paisagem seriam mais alusivas do que fundamentais. Até a década de 60, a paisagem em si não chegava a ser alvo de pesquisa na França (MAXIMIANO, 2004).

O conceito de gênero de vida formulado por La Blache pressupunha uma paisagem culturalmente transformada pelo Homem, podendo ser relacionado a uma região com singularidade construída por meio dos aspectos culturais das sociedades que nela habitam (MARQUES NETO, 2008).

Leite (1994, p.50 *apud* MARQUES NETO, 2008, p.246) discute a analogia paisagem-região, tão presente na concepção vidalina, fazendo as seguintes assertivas:

Uma região pode ser entendida como a organização do espaço decorrente da divisão social do trabalho: uma paisagem, como o conjunto de objetos sociais em uma inter-relação específica. Tanto a paisagem quanto a região são, assim, entidades espaciais que dependem da história econômica, cultural e ideológica de cada sociedade e, se compreendidas como portadoras de funções sociais, não são produtos, mas processos de conferir ao espaço significados ideológicos ou finalidades sociais com base nos padrões econômicos, políticos e culturais vigentes.

A Geografia Regional Francesa levou em consideração a dimensão antropogênica no estudo da paisagem. Camargo (1998, p.136 *apud* MARQUES NETO, 2008, p.246) assevera que:

Para La Blache, o objeto de estudo da Geografia seria a relação entre o Homem e a Natureza, onde o Homem é um ser ativo que sofre influência do meio ambiente, mas que também atua sobre o mesmo, modificando-o de acordo com suas conveniências. Portanto, o Homem transformando a Natureza criava formas da superfície terrestre, sendo estas a sua verdadeira obra geográfica. Passa então a entender a Geografia como o estudo das paisagens, formadas por uma parte natural (a superfície terrestre) e outra humana, representada pelas obras criadas pelo Homem em sua superfície.

Éric Dardel (1899-1967) defendia que “a paisagem não se refere à essência, ao que é visto, mas, representa a inserção do homem no mundo, a manifestação de seu ser para com os outros, base de seu ser social”. (DARDEL, 1990, p.54 *apud* SCHIER, 2003, p.85). Desta forma, Schier (2003, p.85) assevera que, em muitos casos, a paisagem deve ser abordada não somente como um objeto de estudo, refletido e interpretado intelectualmente, mas como uma forma de vivência na sua plena positividade do cotidiano das pessoas.

Pierre Monbeig (1908-1987) buscou entender a paisagem a partir dos reflexos naturais e culturais das civilizações. Sua análise de paisagem pode ser comparada a um quebra-cabeça, onde é possível entender toda a interação entre o homem, o meio e suas formas de apropriar-se dos recursos (PEREIRA, 2017).

Atualmente, uma contribuição ao estudo científico da paisagem na França tem sido empreendida pelo geógrafo Paul Claval. Este autor tem realizado o estudo da paisagem sob uma perspectiva cultural. Em relação ao conceito de paisagem Claval (1999, p.420) afirma que “não há compreensão possível das formas de organização do espaço contemporâneo e das tensões que lhes afetam sem levar em consideração os dinamismos culturais. Eles explicam a nova atenção dedicada à preservação das lembranças do passado e a conservação das paisagens”.

Com base na obra Geografia Cultural de autoria de Claval (1999) e a citação supracitada Schier (2003, p.81) apresenta as seguintes conclusões:

Claval não só atribui ao homem a responsabilidade de transformar a paisagem como destaca que diferentes grupos culturais são capazes de provocar transformações diferenciadas nela, criando assim uma preocupação maior com os sistemas culturais do que com os próprios elementos físicos da paisagem. Não se trata mais da interação do homem com a natureza na paisagem, mas sim de uma forma intelectual na qual diferentes grupos culturais percebem e interpretam a paisagem, construindo os seus marcos e significados nela. Nesta perspectiva, a paisagem é a realização e materialização de ideias dentro de determinados sistemas de significação. Assim, ela é humanizada não apenas pela ação humana, mas igualmente pelo pensar. Cria-se a paisagem como uma representação cultural.

Na década de 1970, Bertrand (2004) propôs um esboço metodológico de estudo global da paisagem em geografia física. Sua proposta consistia em classificar as unidades taxonômicas da paisagem por ordem de grandeza escalar. Desse modo indicou seis níveis taxonômicos hierarquizados, partindo de uma ordem de grandeza escalar global para uma ordem escalar local, distribuídos em dois grupos de unidades: as unidades superiores (Zona, Domínio e Região Natural) e as unidades inferiores (Geossistema, Geofácies e Geótopo), tendo na proposição taxonômica de A. Cailleux e J. Tricart seu pressuposto central (MARQUES NETO, 2008; BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

Em sua proposta, o geossistema corresponde, numa escala local, ao resultado da combinação de dados abióticos (potencial ecológico) - fatores geomorfológicos, climáticos e hidrológicos -, com os dados bióticos (exploração biológica) - flora, fauna e solo - e a ação antrópica. Essa proposta geossistêmica se diferencia, portanto da proposta de Sochava pela inserção do caráter antrópico (BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

Diferentemente da proposição de Sochava, Bertrand não admite o geossistema distribuído em diferentes níveis de grandeza. O autor adequa a categoria na 4ª e 5ª ordem de grandeza temporo-espacial, onde a categoria configura unidade dimensional compreendida entre alguns km² e algumas centenas de km², numa rigidez escalar que define a priori os limites inferiores e superiores de abrangência espacial do geossistema (MARQUES NETO, 2008). É assim posto que “é nesta escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas as mais interessantes para o geógrafo”. (BERTRAND, 2004, p.146).

Conforme explica Monteiro (1996), no alvorecer dos anos 60 principiou, no lado "Físico", a haver uma reação àquela tendência especializante. Embora nos tenha chegado aqui no Brasil através da escola francesa com BERTRAND (1968) sabe-se hoje que isto principiou na escola soviética com SOTCHAVA (1960). Trata-se de um exemplo de convergência: mesmas necessidades em lugares diferentes e afastados, capazes de gerar um resultado semelhante. Esta reação manifestou-se, em ambos os casos, na proposta de uma abordagem mais integradora, formulada como "Geossistemas". Este novo paradigma para a Geografia Física não visava apenas aproximar as diferentes esferas do "natural" mas, em o fazendo, facilitar o entrosamento com os fatos "sociais" ou "humanos".

Conforme Monteiro (1996, p.77), “O surgimento dessa proposta de "sistema" era perfeitamente natural porquanto, embora surgida nas ciências naturais a formalização em uma

"Teoria Geral dos Sistemas" por BERTALANFFY (1950) extravasou para a ciência como um todo".

Ainda conforme Monteiro (1996, p.77-78):

Sob este novo paradigma, ressurgia aquela preocupação basal que sempre subsistiu na escola alemã, através da visão do *Landschaft* que evoluiu para o estudo do *Landschaft Okologie* ou *Geookologie*. Algo que, das raízes humboldtianas, chega a ser formalizado por TROLL (1950) e sintetizado por KLINK (1974). Mesmo na escola francesa, com a qual estivemos mais ligados, a noção aglutinante do "*pays*" de "*paysage*" perseguiam a expressão territorial da "região" onde uma solidariedade espacial se traduzia numa certa "personalidade" ou característica marcante dos lugares. A perspectiva "sistêmica" seria uma racionalização científica daquilo que a "paisagem" ou a "região" sugeriam de modo quase que induzido e impreciso.

Em suas formulações Bertrand ressalta a dimensão epistemológica do conceito de paisagem, que, a seu ver, não deve ser analisado a partir de uma ótica separativa e reducionista, mas estudado no âmbito de uma Geografia Física Global e integrada, conforme pode ser constatado na seguinte assertiva:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004, p.141).

Como é possível constatar, a partir dessa primeira definição de paisagem, o fundamento centralizador da proposta é a dinâmica dialética das relações entre os elementos biofísicos e antrópicos. Para esse autor não é somente o natural que compõe a paisagem, mas o todo numa determinada porção de espaço natural/humano, que em sua relação dialética determinam a evolução geral de uma paisagem (BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.101).

Vale destacar que, atualmente, Bertrand tem uma outra percepção de paisagem desde que abordou esse tema pela primeira vez no final da década de 1960 e início da década de 1970. Para ele a paisagem é hoje, uma dimensão cultural, o patrimônio identitário do sujeito e suas representações simbólicas de mundo (BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

Em relação a essa mudança de paradigma bertrandiana, Barbosa e Gonçalves (2014) explicam que nos estudos de Bertrand sobre meio ambiente reconhecendo-o como um sistema complexo demais para ser estudado a partir de um único conceito, o levou a proposição de um sistema tripolar, o GTP (Geossistema-Território-Paisagem), onde a paisagem assume caráter essencialmente cultural e patrimonial.

Assim Bertrand passou de uma abordagem naturalista com enfoque objetivo, em que a interpretação das unidades taxonômicas da paisagem se fundamentava no modelo teórico metodológico, geossistema, para uma abordagem centrada na interpretação da paisagem a partir da abstração sentimental do sujeito. A paisagem para Bertrand passou a ser uma abstração, uma noção, a identidade do sujeito em relação ao seu meio ambiente. O geossistema em sua nova proposição (GTP) é um dos tripés (entradas) para interpretação do meio ambiente, nesse caso a sua dimensão naturalista. A paisagem sob esse enfoque é a dimensão cultural do meio ambiente e existe em relação ao território, segunda dimensão ambiental (BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.104).

Adaptando a definição de paisagem proposta por Pierre Deffontaines (1894-1978), Tricart (1982, p.18) define que “uma paisagem é uma porção perceptível a um observador onde se inscreve uma combinação de fatos visíveis e invisíveis e interações as quais, num dado momento, não percebemos senão o resultado global”. (MARQUES NETO, 2008, p.246).

Conforme Marques Neto (2008, p.246), o autor

Coloca a interação no centro do conceito, dando-lhe status de elemento organizador da funcionalidade da paisagem. Ao mesmo tempo em que a categoria de análise em apreço é regida por uma lógica sistêmica, ela também é uma unidade espacial relativamente homogênea em seus caracteres e processos naturais e antrópicos atuantes, sendo, portanto, passível de ser convertida em documentos cartográficos.

Conforme foi visto em Tricart (1982), a concepção de Deffontaines acerca da paisagem contava com uma abordagem sistêmica claramente explicitada na qual o estudo da paisagem em âmbito global era o ponto de partida para a análise do sistema (MARQUES NETO, 2008, p.246).

Tricart (1982, p.19) expõe que, ao incorporar a abordagem sistêmica, a paisagem adquire uma dimensão lógica e concreta, passando a ser considerada em sua dimensão escalar, o que a torna passível de espacialização. Segundo o próprio autor: “uma paisagem começa, mais ou menos nitidamente em um lugar e termina num outro”, o que implica na definição de uma escala e na possibilidade de conversão da paisagem (ou unidades de paisagem) em documentos cartográficos (MARQUES NETO, 2008, p.246).

Os estudos de Tricart (1920-2003) foram voltados principalmente para a geomorfologia e a ordenação da paisagem, sua obra principal Ecodinâmica, apresenta uma concepção próxima ao de ecossistema, e estabelece a ótica dinâmica como ponto de partida para se entender a organização do espaço, na qual destaca três grupos taxonômicos para a

análise da dinâmica da paisagem: os meios estáveis; meios *intergrades*; meios instáveis (PEREIRA, 2017, p.24).

Conforme Pereira (2017, p.24), “Tricart destaca que a evolução geomorfológica forma as diferenciações das unidades de relevo, que em associação com as intervenções humanas formam as unidades de paisagem territorialmente delimitadas”.

O presente trabalho fundamenta-se, metodologicamente, nos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977), em sua metodologia o autor baseia-se no estudo da dinâmica dos *ecótopos*², a qual denominou de ecodinâmica. A dinâmica do meio ambiente dos ecossistemas é tão importante para a conservação e o desenvolvimento dos recursos ecológicos quanto a dinâmica das próprias *biocenoses*³. Ambos os aspectos da dinâmica dos ecossistemas são estreitamente interrelacionados.

Segundo Tricart (1977, p.32), “O conceito de unidades ecodinâmicas é integrado no conceito de ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente”.

Tricart (1977, p.19) define um sistema como um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses fluxos originam relações de dependência mútua entre os fenômenos. Como consequência, o sistema apresenta propriedades que lhe são inerentes e diferem da soma das propriedades dos seus componentes. Uma delas é ter dinâmica própria, específica do sistema.

Ainda conforme Tricart (1977), a gestão dos recursos ecológicos tem o intuito de avaliar o impacto da inserção da tecnologia humana no ecossistema. Isso significa determinar a taxa aceitável de extração de recursos, sem degradação do ecossistema, ou determinar quais as medidas que devem ser tomadas para permitir uma extração mais elevada sem degradação.

Tricart (1977) realizou uma classificação ecodinâmica dos meios ambientes na qual diferenciou três grandes tipos de meios morfodinâmicos, em função da intensidade dos processos atuais, a saber: meios estáveis, meios *intergrades* e os fortemente instáveis.

Em relação aos meios estáveis, Tricart (1977, p.35) explica que esta noção de estabilidade aplica-se ao modelado, à interface atmosfera-litosfera. O modelado evolui

² Meio ambiente de um ecossistema.

³ Conjunto dos seres vivos de um ecossistema.

lentamente, muitas vezes de maneira insidiosa, dificilmente perceptível. Os processos mecânicos atuam pouco e sempre de modo lento.

O principal aspecto desse tipo de meio é, com a lenta evolução, a constância dessa evolução, resultante da permanência no tempo de combinações de fatores. O sistema morfogenético não comporta paroxismos violentos que se traduzam por manifestações catastróficas (TRICART, 1977).

Os meios estáveis encontram-se em regiões dotadas de uma série de condições: apresenta vegetação em clímax; cobertura vegetal suficientemente fechada para opor um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese; dissecação moderada, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem sapeamentos vigorosos dos rios, e vertentes de lenta evolução; ausência de manifestações vulcânicas, que poderiam desencadear processos mais ou menos catastróficos (TRICART, 1977).

Na obra *Ecodinâmica* Tricart (1977) destaca com veemência a importância da vegetação como fator de proteção do solo contra a atuação morfodinâmica que se traduz geralmente nos processos erosivos e a contribuição da cobertura vegetal no contexto da pedogênese.

Segundo Tricart (1977, p.42):

Para as diversas variedades de meios estáveis, o princípio da conservação deve ser o de manter uma cobertura vegetal densa com efeitos equivalentes àquelas da cobertura vegetal natural. [...] Uma posição extrema que oferece toda garantia, ao menos em aparência, consiste em impedir todo ataque à vegetação natural. *Ipsa facto*, é preciso renunciar a toda exploração de recursos biológicos, o que se torna cada vez menos admissível em face da pressão demográfica rapidamente crescente que afeta o planeta.

Os meios *intergrades*, por sua vez, designam uma transição. Eles asseguram a passagem gradual entre os meios estáveis e os instáveis. Neste sentido, seu principal aspecto é a interferência permanente de morfogênese e pedogênese, exercendo-se de maneira concorrente sobre um mesmo espaço, isto é, a velocidade dos eventos catastróficos não é tão grande que não permita uma formação lenta dos solos (TRICART, 1977; AQUINO; PALETTA; ALMEIDA, 2017). Estes meios são delicados e suscetíveis a fenômenos de amplificação, transformando-se em meios instáveis cuja exploração fica comprometida.

Nos meios fortemente instáveis, a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural, e fator determinante do sistema natural, ao qual outros elementos estão

subordinados. Caracterizam esses ambientes eventos catastróficos de consequências imediatas, como os vulcões e ainda condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas; relevo com vigorosa dissecação; presença de solos rasos; inexistência de cobertura vegetal densa; planícies e fundos de vales sujeitos a inundações; e geodinâmica interna intensa (TRICART, 1977; CREPANI *et al.*, 2001; AQUINO; PALETTA; ALMEIDA, 2017).

De acordo com Tricart (1977, p.57), “Os fenômenos catastróficos [...] destroem os solos preexistentes colocando em evidência materiais virgens de toda pedogênese: conduzem de qualquer modo, a uma retomada nova, brutal e radical. Tais são as corridas de lama e os desmoronamentos”.

Diante do exposto, conclui-se que os estudos empreendidos pela escola alemã influenciaram as demais correntes do pensamento geográfico sobre paisagem, principalmente, na perspectiva da paisagem natural e cultural. A escola russa em seus estudos alicerçou-se sob a orientação naturalista da escola germânica. A exemplo dos estudos de Dokoutchaev a qual baseava-se na relação integrada e na interação dos elementos da paisagem. Essa abordagem que considera as interações dos componentes naturais da paisagem é evidenciada nos trabalhos do geógrafo alemão Passarge.

A abordagem sistêmica incorporada por Troll em 1939 aos estudos da paisagem considerada como um sistema aberto também foi desenvolvida pelos soviéticos, no caso dos estudos de Sochava sobre geossistemas a qual é um modelo teórico de estudo da paisagem.

Embora a escola russa tenha um caráter mais voltado ao aspecto físico (natural) pode-se constatar a importância dada a atuação antrópica sobre a paisagem na abordagem geossistêmica apresentada por Sochava. Esse enfoque a ação humana é observado na escola germânica, a exemplo das obras de Ratzel e Humboldt.

A escola francesa da mesma forma que a germânica também baseou-se no naturalismo e positivismo em seus estudos. O enfoque do viés cultural na abordagem da paisagem foi outro aspecto dos trabalhos da escola alemã que foi incorporado pelos franceses. Já o relacionamento do homem com o seu espaço físico é um exemplo de abordagem de pesquisa em comum entre essas escolas, como foi posto em destaque nos trabalhos de La Blache e Jean Rochefort. Ou seja, é comum a dimensão antropogênica no estudo da paisagem realizada por ambas as escolas.

Da mesma forma que Sochava, o francês Bertrand desenvolve um modelo de estudo da paisagem. Sua proposta consistia em classificar as unidades taxonômicas da paisagem por ordem de grandeza escalar, entretanto, díspar da proposição de Sochava, Bertrand não admite o geossistema distribuído em diferentes níveis de grandeza e insere o caráter antrópico em seu método.

A visão sistêmica no estudo da paisagem é outro traço importante nos estudos dessas escolas. Conforme pode ser encontrado na concepção de paisagem de Tricart. A dialética, por sua vez, identificada em Ratzel também é observada na definição proposta por Bertrand na década de 1970.

O Quadro 1 elenca as principais concepções e definições sobre a categoria paisagem desenvolvidas pelas escolas geográficas abordadas neste trabalho, assim como as correntes filosóficas que embasaram esses estudos.

Quadro 1 – Síntese das concepções e definições sobre paisagem das escolas alemã, russa e francesa

<p>Escola Alemã</p>	<p>Conservou a vegetação como parâmetro de análise da paisagem; fez referência à paisagem demonstrando seu interesse pela fisionomia e aspecto da vegetação, pelo clima, sua influência sobre os seres e o aspecto geral da paisagem. Destacou-se por sua visão holística da paisagem; influências: romantismo, naturalismo e empirismo (HUMBOLDT).</p> <p>A organização das formas vegetais leva às diferenciações fisionômicas da paisagem (GRISEBACH).</p> <p>Utilizou o conceito de paisagem em uma forma antropogênica; influências: racionalismo e positivismo ambiental (RATZEL).</p> <p>Globalidade da paisagem; destaque as relações entre os elementos no estudo da paisagem; fisiologia da paisagem (PASSARGE).</p> <p>Composição da geografia em três perspectivas: a geografia geral, a nomotética (trabalhando a paisagem de forma comparada), e a idiográfica (focaliza no conjunto específico de uma única paisagem) (HETTNER).</p> <p>Lançou o termo <i>naturlandschaft</i> e <i>kulturlandschaft</i>, propondo que a descrição fisionômica associasse elementos tanto da natureza quanto elementos da cultura, que, em sua totalidade corresponderiam à paisagem (SCHLÜTER).</p> <p>Incorporação do conceito de paisagem as abordagens da Ecologia; definiu a paisagem como a entidade visual e espacial total do espaço vivido pelo homem; sua expectativa era de combinar a dimensão espacial, horizontal, da abordagem geográfica, com a dimensão funcional, vertical, da abordagem ecológica (TROLL).</p> <p>A paisagem é conjunto das interações homem e meio. Tal conjunto apresentava-se sob dupla possibilidade de análise: a da forma (configuração) e da funcionalidade (interação de geofatores incluindo a economia e a cultura). Para ele, paisagem é resultado de um processo de articulação entre os elementos constituintes. Assim, ela deveria ser estudada na sua morfologia, estrutura e divisão além da ecologia da paisagem (TROLL).</p>
----------------------------	---

	<p>A partir das abordagens da Ciência Ecológica, o conceito de sistema foi plenamente incorporado aos estudos da paisagem considerada como um sistema aberto.</p>
Escola Russa	<p>O solo é resultado da interação dos elementos da paisagem (DOKOUTCHAEV).</p> <p>Influências: naturalismo e materialismo dialético.</p> <p>A análise da paisagem prendeu-se mais ao sistema físico do que à vegetação, e reuniu os conceitos da <i>landschaft</i> alemã e do CNT. A partir dos anos 30 até os anos 60 do séc. XX, as pesquisas sobre paisagem como sistema físico-químico vinham da URSS.</p> <p>Três linhas fundamentam a paisagem na escola russa: os regionalistas para quem uma <i>landschaft</i> é uma unidade morfológica sempre localizada; os pesquisadores que consideram a <i>landschaft</i> como uma entidade sistêmica totalmente dissociada das noções corológicas; os tipologistas interessados mais pela classificação do que pela corologia.</p> <p>Desenvolveu-se a cartografia das unidades da paisagem.</p> <p>Sochava lança em 1963, o termo e a noção de geossistema. O intuito era encontrar um modelo teórico que possibilitasse, realizar a classificação sistemática das unidades taxonômicas da paisagem.</p> <p>Para Sochava (1963), o geossistema inclui todos os elementos da paisagem como um modelo global, territorial e dinâmico, aplicável a qualquer paisagem concreta.</p>
Escola Francesa	<p>Influenciada por La Blache usou bastante a descrição, para ressaltar os traços singulares da paisagem, com a intenção de delimitar e caracterizar a região geográfica.</p> <p>O caráter excepcionalista-descritivo bloqueou qualquer tentativa de conceituação da paisagem e todo esforço para se chegar até leis gerais.</p> <p>Influências: naturalismo e positivismo geográfico.</p> <p>Torna o homem um ser ativo dentro do processo de formação da paisagem, moldando e transformando-a de acordo com suas necessidades e incorporando a cultura como ferramenta modeladora da paisagem.</p> <p>Na França, o termo paisagem foi substituído por “região” e “gênero de vida”, que são mais ligados à história do que aos elementos naturais.</p> <p>O conceito de gênero de vida pressupunha uma paisagem culturalmente transformada pelo Homem, podendo ser relacionado a uma região com singularidade construída por meio dos aspectos culturais das sociedades que nela habitam.</p> <p>A Geografia Regional Francesa levou em consideração a dimensão antropogênica no estudo da paisagem.</p> <p>A paisagem não se refere à essência, ao que é visto, mas, representa a inserção do homem no mundo, a manifestação de seu ser para com os outros, base de seu ser social (DARDEL, 1990).</p> <p>Claval (1999) afirma que não há compreensão possível das formas de organização do espaço contemporâneo e das tensões que lhes afetam sem levar em consideração os dinamismos culturais. Eles explicam a nova atenção dedicada à preservação das lembranças do passado e a conservação das paisagens.</p> <p>Em 1970, Bertrand propôs um esboço metodológico de estudo global da paisagem em geografia física. Sua proposta consistia em classificar as unidades taxonômicas da paisagem por ordem de grandeza escalar.</p> <p>A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de</p>

	<p>elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004).</p> <p>Para Bertrand a paisagem é hoje, uma dimensão cultural, o patrimônio identitário do sujeito e suas representações simbólicas de mundo.</p> <p>Para Tricart (1982) uma paisagem é uma porção perceptível a um observador onde se inscreve uma combinação de fatos visíveis e invisíveis e interações as quais, num dado momento, não percebemos senão o resultado global.</p>
--	---

Elaboração: Soares, 2020.

Com base no exposto, conclui-se que as escolas geográficas tiveram em seus estudos sobre paisagem influências filosóficas; a abordagem naturalista, denominada de paisagem natural e outra de cunho cultural, a paisagem cultural foram as principais linhas de enfoque por parte dessas escolas; a escola germânica foi uma referência tanto para a escola russa quanto a francesa; a interação do homem com o meio foi ressaltada na abordagem da paisagem alemã e francesa; a visão sistêmica sobre a paisagem é comum nas três correntes de pensamento; os russos se detiveram mais ao sistema físico da paisagem; os franceses inicialmente usaram bastante a descrição e posteriormente incorporaram a cultura como ferramenta modeladora da paisagem; os alemães a princípio destacavam a vegetação como parâmetro de análise da paisagem e posteriormente realizaram um pujante elo entre a paisagem natural e a cultural destacando a importância do homem no estudo da paisagem.

2.1.5 O estudo da Paisagem na Geografia Brasileira

No Brasil do século XXI, o conhecimento sobre paisagem é resultado das relações históricas do Velho e Novo Mundo que compartilham raízes comuns de História, cosmovisão e cultura. As escolas alemã e francesa de Geografia, esta última inspirada, principalmente, nos trabalhos de Tricart e Bertrand, influenciaram diretamente a concepção de paisagem entre os geógrafos brasileiros. “Só mais recentemente, com as técnicas de geoprocessamento, é que a influência anglo-saxônica se faz presente no conceito de paisagem como produto de estudos integrados, e em parte, na metodologia para o Zoneamento Ecológico-Econômico-ZEE”. (MAXIMIANO, 2004, p.88).

Pode-se observar pelo menos três vertentes de estudo sobre paisagem no Brasil. “Uma primeira linha de estudo segue a abordagem mais ecológica. Utiliza modelos geoecológicos e cartográficos para modelar a paisagem. Podem ser destacados os trabalhos de Rodriguez *et al.*

(2013), Rodriguez e Silva (2013) e Cavalcanti (2014)”. (BARBOSA; GONÇALVES, 2014, p.105).

Dentre os geógrafos brasileiros que foram influenciados pela escola francesa em seus estudos de paisagem e pela proposta geoecológica (alemã), pode-se destacar Aziz Nacib Ab’Saber (1924-2012). Ab’Saber (2003), na tentativa de diferenciar as paisagens brasileiras levando em conta o conjunto geoecológico (padrões climáticos, pedológicos, geológicos, geomorfológicos e fitofisiômicos), realizou a classificação fitogeográfica e morfoclimática das paisagens naturais do país com base na sua análise fisionômica, as peculiaridades do arranjo dinâmico natural de cada região do Brasil. Inclusive, o elemento indicador da paisagem para ele era a cobertura vegetal, tal como o é para Bertrand (BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

Vitte (2007, p.75) afirma que no Brasil, a maior contribuição aos estudos sobre as paisagens naturais foi de Ab’Saber, (AB’SABER, 1969) que promoveu uma renovação metodológica e instrumental nas pesquisas geomorfológicas desenvolvidas no país. Recuperando o conceito de fisiologia da paisagem⁴, Ab’Saber compreendeu a paisagem como sendo o resultado de uma relação entre os processos passados e os atuais. Assim, os processos passados foram os responsáveis pela compartimentação regional da superfície, enquanto que os processos atuais respondem pela dinâmica atual das paisagens.

A escola geográfica cearense em parceria com a cubana tem contribuído para a difusão de estudos da Geoecologia das Paisagens. Essas abordagens tem como base os estudos do século XIX propostos por Humboldt, Lamonosov e Dokutchaev, mas também está apoiada na Geografia da Paisagem de Troll, que tem como fundamento teórico a concepção de geossistema de Sochava (BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

O prof. Dr. José Manuel Mateo Rodriguez (1947-2019), foi um geógrafo cubano que contribuiu para os estudos da Geoecologia da Paisagem no Brasil. Ele atuou como professor visitante na Universidade Estadual Paulista/Rio Claro e Universidade Federal do Ceará. Em parceria com os geógrafos brasileiros, dentre eles Edson Vicente da Silva e Agostinho Paula Brito Cavalcanti produziram a obra Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental (2017).

Na obra mencionada Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017, p.17) adotam o conceito de paisagem como formação antroponatural que segundo eles

⁴ Influência alemã, com destaque para os estudos de Passarge.

Consiste num sistema territorial composto por elementos naturais e antropotecnogênicos condicionados socialmente, que modificam ou transformam as propriedades das paisagens naturais originais. Forma-se, ainda, por complexos ou paisagens de nível taxonômico inferior. De tal maneira, considera-se a formação de paisagens naturais, antroponaturais e antrópicas, e que se conhece também como paisagens atuais ou contemporâneas.

A “paisagem” é definida como um conjunto inter-relacionado de formações naturais e antroponaturais, podendo-se considerá-la como (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017, p.18): “um sistema que contém e reproduz recursos; como um meio de vida e da atividade humana; como um laboratório natural e fonte de percepções estéticas”.

Desta forma, a paisagem caracteriza-se pelas seguintes propriedades (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017, p.18):

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.

As propriedades mencionadas determinam que, como objeto de investigação científica, as paisagens são formações complexas caracterizadas pela estrutura e heterogeneidade na composição dos elementos que a integram (seres vivos e não-vivos); pelas múltiplas relações, tanto internas como externas; pela variação dos estados e pela diversidade hierárquica, tipológica e individual (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Em relação a Geoecologia da Paisagem é importante destacar conforme Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017, p.20) que “desde a primeira metade do século XX, Troll (1950) havia proposto a criação da ciência da Geoecologia da Paisagem, centralizada no estudo dos aspectos espaço-funcionais”.

A partir da década de 70, com a consolidação da concepção ambiental, contemplou-se a necessidade de integrar as correntes espacial (geográfica) e funcional (ecológica) ao estudar a paisagem. O surgimento do conceito de geossistema, proposto por Sochava, no final da década de 60, que pressuporia interpretar a paisagem e todo seu instrumento teórico acumulado por mais de 100 anos de estudo, desde uma visão sistêmica, foi um passo importante em incorporar a dimensão espacial com a funcional (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Conforme foi exposto, a vertente de estudos geocológicos da paisagem embasou diversos estudos no Brasil. Dentre os trabalhos desenvolvidos sobre esse enfoque, e que também teve como referência as obras de Rodriguez, Silva e Cavalcante (2004), tem-se o realizado por Bezerra (2011). Este autor entende que a paisagem é a percepção imediata de qualquer indivíduo humano, entendendo que este conceito também contempla o sentido de objeto receptor das ações humanas, e ainda objeto dotado de estrutura e funcionamento (BEZERRA, 2011).

Em relação a Geocologia das Paisagens, Bezerra (2011, p.61) expõe que ela tem como aporte fundamental o alicerce metodológico da análise histórico-natural na busca da distinção espacial, e o conhecimento da gênese da paisagem observada. Outro aporte, está na concepção dialética interna à relação entre as determinantes naturais e a apropriação social das paisagens, neste sentido deve-se observar os apontamentos a seguir:

A concepção dialética sobre a interação entre as condições naturais e a produção social determina os princípios metodológicos da investigação geocológica da paisagem. Por outro lado, a base metodológica fundamental de aquisição do conhecimento da gênese, desenvolvimento e diferenciação espacial e temporal das paisagens é a análise histórico-natural. Na interpretação geocológica tem-se exigido o desenvolvimento conceitual das relações objeto-sujeito, a introdução e aperfeiçoamento do enfoque sistêmico, a utilização de modelos de elaboração dos sistemas geoinformativos [...]. (RODRIGUES; SILVA; CAVALCANTI, 2017, p.40).

Bezerra (2011) evidencia a imprescindibilidade de trabalhar a perspectiva geocológica no universo da transdisciplinaridade, uma vez que a investigação geocológica busca a análise da paisagem, porém, tem também como objetivo o conhecimento mais próximo da totalidade da paisagem.

A segunda vertente de pesquisa sobre paisagem relaciona-se à geografia cultural e tem como referência brasileira Roberto Lobato Corrêa, que desenvolve estudos paisagísticos na esfera da geografia cultural e urbana. A influência maior dessa linha vem de Carl Ortwin Sauer (1889-1975) e Denis Edmund Cosgrove (1948-2008). A paisagem, nesse sentido, representa a expressão material do sentido que a sociedade dá ao meio (LUCHIARI, 2001; BARBOSA; GONÇALVES, 2014).

Ressalta-se que Sauer e Cosgrove são representantes da geografia cultural anglo-saxônica. Corrêa (2014) afirma que esses autores têm uma percepção distinta sobre paisagem, a qual é evidenciada em suas principais obras. Viveram em contextos diferentes, mas em contextos de mudanças, como foram as décadas de 1920 e 1970, marcos dessas mudanças em que viveram. As correntes filosóficas e os cientistas contemporâneos a eles, influenciaram em seus estudos e

entendimento sobre paisagem. Desta forma, na sequência apresenta-se a concepção desses dois autores segundo Corrêa (2014, p.41-42).

Para Sauer a paisagem é o conjunto de formas naturais e culturais associadas em área. Materialidade e extensão são atributos essenciais da paisagem, não se admitindo o uso do termo como metáfora, como paisagem política ou econômica. As formas que constituem a paisagem estão integradas entre si, apresentando funções que criam uma estrutura. A paisagem constitui, assim, em uma unidade orgânica ou quase orgânica. Trata-se de morfologia na qual forma, função e estrutura são elementos centrais (SAUER, 1998-1925).

A paisagem Saueriana, isto é, a paisagem cultural, era o resultado da ação da cultura, o agente modelador da paisagem natural. É nesse sentido que Sauer foi criticado por entender a cultura como entidade abstrata, supraorgânica, sem agentes sociais concretos, sendo gerado um quadro harmonioso: a paisagem cultural.

Diferentemente de Sauer, Cosgrove não considera a paisagem na perspectiva da morfologia. Cosgrove (1979) enfatiza a experiência que se pode ter da paisagem, possibilitando a criação de significados. A paisagem não é apenas morfologia, mas insere-se também no mundo dos significados, estando impregnada de simbolismo.

A paisagem pode ser vista como uma síntese pictórica externa, que representa esteticamente as relações entre vida humana e natureza. Mas esta síntese é sujeita à polivalidade, interpretada de acordo com diferentes olhares. Assim, a paisagem pode ser vista como “paisagem do consumo” ao se considerar a ocupação suburbana do sul da Califórnia. Pode ainda ser interpretada como mapa, teatro, espetáculo e texto, ou ainda como paisagem da classe dominante, paisagem residual, paisagem emergente e paisagem excluída. A paisagem tem assim, um sentido político, sendo um “poderoso meio através do qual sentimentos, ideias e valores são expressos” e simultaneamente modelam esses mesmos sentimentos, essas ideias e esses valores. Por meio da perspectiva dos significados Cosgrove vai além da morfologia da paisagem, enriquecendo o conhecimento sobre a paisagem cultural (CORRÊA, 2014, p.41-42).

A terceira vertente de estudo tem como fundamento teórico-metodológico o sistema GTP de Bertrand, desenvolvida no Brasil por Messias Modesto dos Passos, que tem procurado fazer sua abordagem a partir do estudo do meio ambiente. Segundo Barbosa e Gonçalves (2014, p.107) relatam:

A aplicação desse modelo, à análise ambiental é feita partindo da abordagem naturalista do geossistema, sob o ponto de vista de um geocomplexo antropizado, onde este é analisado a partir de suas estruturas vertical e horizontal, seguido, simultaneamente de uma abordagem socioeconômica, do território, considerado aí como as relações e os meios de organização social do meio ambiente, e finalmente da abordagem sociocultural

do meio ambiente, a paisagem. Nesse caso a paisagem é um componente de interpretação da percepção do sujeito em relação ao meio em que vive. A abordagem se apoia metodologicamente, em depoimentos dos sujeitos da pesquisa e no imageamento fotográfico.

Um trabalho que teve influência da escola francesa, em específico das concepções de Bertrand na perspectiva teórico-metodológica do GTP e que teve a orientação de Passos, foi desenvolvido por Pereira (2017), intitulado: As transformações históricas e a dinâmica atual da paisagem do município de Pedro do Rosário, Baixada Maranhense – MA. Conforme Pereira (2017, p.28):

O GTP é um sistema tripolar e interativo que se configura como três entradas ou três vias metodológica (fonte/recurso/representações) as quais estão baseadas nos critérios de antropização, artificialização e artialização, buscando não esgotar a totalidade dos fenômenos, sendo importante recurso metodológico para o estudo do meio ambiente e se diferencia claramente do ecossistema por incluir em sua abordagem a territorialização e a sua antropização, ou seja, o geossistema é um conceito não somente espacializado, mas também territorializado, isto é, com toda uma carga de história humana.

Desse modo Bertrand (2002) destaca que:

O geossistema representa o espaço-tempo da natureza antropizada. É a "fonte" (*source*) jamais captada, tal qual ela escorre da vertente, mas que pode ser já poluída.

O território, fundado sobre a apropriação e o "limitar/cercar", representa o espaço-tempo das sociedades, aquele da organização política, jurídica, administrativa e aquela da exploração econômica. É o "recurso" (*ressource*) no tempo curto e instável do mercado.

A paisagem representa o espaço-tempo da cultura, da arte, da estética, do simbólico e do místico. Ela é o *ressourcement* de tempo longo, patrimonial e identitário.

O geossistema que é a entrada naturalista de análise do meio ambiente, trata-se de um espaço/tempo antropizado e corresponde à interação dos componentes abióticos (rocha, ar, água), elementos bióticos (animais, vegetais, solos) e componentes antrópicos (os impactos das sociedades sobre a natureza) (PEREIRA, 2017, p.29).

O território é a segunda entrada. Análise do território representa o campo dos componentes sociais e econômicos, associados a processos históricos, é o resultado das relações existentes entre a natureza e a sociedade. Para Bertrand (2009), toda e qualquer atividade humana está centrada na terra, mesmo que indiretamente, naquilo que ela pode oferecer para o desenvolvimento de suas cadeias produtivas. Portanto, o território seria o resultado dos processos econômicos e históricos que determinada sociedade produz, a partir do uso do geossistema (a

fonte), assim transformando-o de acordo com a sua necessidade em recurso (PEREIRA, 2017, p.30).

A paisagem é a entrada sociocultural, afetiva que o indivíduo tem com o território, sendo nesse sentido, uma ligação cultural. É o patrimônio, é a identidade do sujeito com o território, e se configura uma representação simbólica dotada também de arranjos naturais e sociais. A concepção de paisagem do GTP está ligada à identidade e às heranças históricas na qual os indivíduos possuem um laço imaterial fortemente associado às múltiplas temporalidades do vivido, as quais são transmitidas pelo tempo histórico (PEREIRA, 2017, p.30).

Outro geógrafo brasileiro que também aborda a paisagem em seus estudos é Jurandyr Luciano Sanches Ross que se baseou em estudos do russo Grigoriev. No ano de 1985, Ross propõe uma nova classificação do relevo brasileiro, dividida em Unidades de Planaltos, de Planícies e Depressões, formando no total, 28 macro unidades geomorfológicas, consideradas quanto à estrutura e morfoescultura. Outros de seus trabalhos abordaram a vulnerabilidade do relevo. Neste sentido, Maximiano (2004, p.89) ressalta que:

Na construção teórica, Ross baseia-se no conceito de estrato geográfico da terra elaborado por Grigoriev, que seria o conjunto de componentes do ambiente natural - “crosta terrestre e marinha, a hidrosfera, solos, cobertura vegetal, o reino animal e a baixa atmosfera”. Neste ambiente dinâmico, sistêmico, com trocas de energia e matéria, é que se desenvolve o ser humano como ser social. As possibilidades infinitas de combinações e arranjos dos componentes do ambiente natural formam a diversidade de paisagens identificadas como Unidades de Paisagens Naturais.

A abordagem sistêmica e a interação dos elementos naturais identificada no trabalho de Ross são uma característica marcante nos estudos da escola soviética e que acabou por influenciar nos estudos deste autor. Salienta-se que além da influência russa, também observa-se as contribuições oriundas da escola francesa, haja vista que Ross produziu uma metodologia para mensuração da fragilidade ambiental a qual tem como base teórica a Ecodinâmica de Tricart (1977).

Vitte (2007, p.77), por sua vez, assevera que “A geração da paisagem é o resultado imediato da intencionalidade humana na superfície terrestre. Seja ontem ou hoje, por meio dos mais variados meios técnicos e científicos, a sociedade imprime sua marca no espaço que fica registrada na paisagem. Assim, a paisagem é uma representação do espaço”.

O autor supramencionado reflete sobre o conceito de paisagem e remete a discussão sobre o olhar geográfico e sobre a formação das bases constitutivas da cognição, assim como a

construção do/no imaginário coletivo da paisagem enquanto elemento de articulação do processo de pertencimento do ator social à um determinado lugar (VITTE, 2007).

Assim, a paisagem emerge na análise geográfica carregada de simbolismo, sendo responsável pela constituição do imaginário social que atua na condução da ação dos atores sociais, ao mesmo tempo em que mediatiza a representação do território por estes mesmos atores. Neste sentido, a paisagem como categoria social é construída pelo imaginário coletivo, historicamente determinado, que lhe atribui uma determinada função social (VITTE, 2007, p.71).

Por meio do conceito de paisagem, o imaginário social transforma culturalmente a natureza, ao mesmo tempo, que os sistemas técnicos agregam ao território as formas-conteúdo da paisagem constituídas por representações sociais (VITTE, 2007).

O entendimento de paisagem apresentado por Vitte (2007), coaduna-se com a concepção da paisagem sob a perspectiva cultural da escola francesa, principalmente, na abordagem de paisagem feita por Claval (1999).

Milton Santos (1926-2001) trouxe sua contribuição ao estudo da paisagem. Desta forma, a seguir será elencado as principais ideias de Santos (2006) a cerca deste tema. Este autor buscou distinguir a paisagem do espaço, sendo este, seu instrumento de análise. Fundada em uma dialética entre esses dois conceitos, Santos (2006, p. 66-70), descreve a paisagem como:

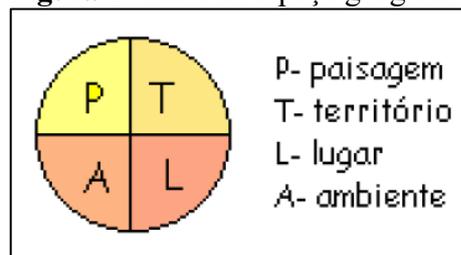
- A paisagem é o conjunto de formas que, num dado momento, exprimem as heranças que representam as sucessivas relações localizadas entre o homem e a natureza;
- A paisagem é apenas a porção da configuração territorial que é possível abarcar com a visão;
- A paisagem se dá como um conjunto de objetos reais-concretos. Nesse sentido, a paisagem é transtemporal, juntando objetos passados e presentes, uma construção transversal;
- Cada paisagem se caracteriza por uma dada distribuição de formas-objetos, providas de um conteúdo técnico específico;
- A paisagem é, pois, um sistema material e, nessa condição, relativamente imutável;
- A paisagem existe, através de suas formas, criadas em momentos históricos diferentes, porém coexistem no momento atual;
- A paisagem é história congelada, mas participa da história viva. São as suas formas que realizam, no espaço, as funções sociais;

- Considerada em si mesma, a paisagem é apenas uma abstração, apesar de sua concretude como coisa material. Sua realidade é histórica e lhe advém de sua associação com o espaço social.

Suertegaray (2001) tem uma perspectiva distinta de abordar a paisagem que segundo ela vem a ser um conceito operacional que pode ser usado no estudo do espaço geográfico. Desta forma, a autora entende que a partir dos conceitos de paisagem, território, lugar e ambiente pode-se realizar uma leitura distinta do espaço geográfico. Ela chama esses conceitos de operacionais. Neste viés, delinea-se, portanto, um caminho metodológico.

A interpretação da autora encontra-se ilustrado na Figura 2. Ela expressa no círculo a ideia de espaço geográfico setorizado em quatro partes. Cada parte representa a visão analítica privilegiada por um ou outro geógrafo.

Figura 2 - Ideia de espaço geográfico



Fonte: Suertegaray, 2001.

Tem-se na Figura 2 a expressão da possibilidade de diferentes leituras. Contudo, o espaço geográfico é dinâmico. Sua dinâmica é representada pelo movimento, o girar do círculo. Este giro expressa a ideia: um todo uno, múltiplo e complexo. Esta representação é elaborada no sentido de expressar a concepção de que: o espaço geográfico pode ser lido através do conceito de paisagem e ou território, e ou lugar, e ou ambiente; sem desconhecer que cada uma dessas dimensões está contida em todas as demais (SUERTEGARAY, 2001, p.8).

Em relação ao conceito de paisagem, Suertegaray (2001, p.4-5) expõe que ele

Nos permite analisar o espaço geográfico sob uma dimensão, qual seja o da conjunção de elementos naturais e tecnificados, socioeconômicos e culturais. Ao optarmos pela análise geográfica a partir do conceito de paisagem, poderemos concebê-la enquanto forma (formação) e funcionalidade (organização). Não necessariamente entendendo forma funcionalidade como uma relação de causa e efeito, mas percebendo-a como um processo de constituição e reconstituição de formas na sua conjugação com a dinâmica social. Neste sentido, a paisagem pode ser analisada como a materialização das condições sociais de existência diacrônica e sincronicamente. Nela poderão persistir elementos naturais, embora já

transfigurados (ou natureza artificializada). O conceito de paisagem privilegia a coexistência de objetos e ações sociais na sua face econômica e cultural manifesta.

Esse entendimento de Suertegaray (2001) em relação a paisagem tem consonância com os estudos da geografia alemã, valorizando tanto o viés cultural quanto o natural na abordagem desta categoria geográfica. Vale destacar que a percepção sobre paisagem da autora coaduna-se com o trabalho desenvolvido por Troll (1950).

Diante do que foi apresentado, pode-se concluir que os geógrafos(as) brasileiros(as), atualmente, baseiam seus estudos a luz da categoria paisagem, pautados tanto nas concepções das escolas já mencionadas neste trabalho, quanto pela corrente filosófica (positivismo, marxismo, fenomenologia, estruturalismo, etc.) que norteia suas análises de um dado objeto de estudo.

A pesquisa está pautada na concepção de paisagem da escola francesa, em específico a definição proposta por Tricart (1982, p.18), pois “uma paisagem é uma porção perceptível a um observador onde se inscreve uma combinação de fatos visíveis e invisíveis e interações as quais, num dado momento, não percebemos senão o resultado global”. (MARQUES NETO, 2008, p.246).

Ao estudar a BHRP sobre a perspectiva da vulnerabilidade ambiental leva-se em consideração na análise, assim como, na metodologia não somente os componentes físicos, como também o componente antrópico, isto é, trata-se de uma abordagem de paisagem integrada. Neste sentido, entende-se que o homem é um ser ativo dentro do processo de formação e transformação da paisagem, porém ele sofre influência e impactos negativos do ambiente quando não há um planejamento do seu uso, ou seja, uma degradação ambiental na bacia também vai resvalar sobre a população local.

Com o intuito de abordar a bacia do rio Preto com base na concepção de paisagem de Tricart considera-se as interações entre os componentes naturais da paisagem e a ação antrópica que intervém sobre a mesma. Neste sentido, a bacia como um todo é o âmbito global da paisagem e os elementos desta paisagem são os solos, uso da terra, vegetação, relevo, etc. desta forma, estudá-la neste viés configura-se como ponto de partida para a análise do sistema.

2.2 Vulnerabilidade ambiental e natural e suas diferentes abordagens

O significado de vulnerabilidade ambiental não é consenso em estudos sobre o tema, diversos autores no contexto de suas formações ou áreas de atuação científica abordam a vulnerabilidade de modo distinto. Neste sentido, várias produções científicas têm sido realizadas sobre a temática da vulnerabilidade, porém identifica-se que alguns trabalhos disponíveis em anais de eventos e artigos científicos com esse enfoque não deixam claro o que vem a ser a vulnerabilidade ambiental. Tal situação acaba por ser um obstáculo para a compreensão integral e inteligível do trabalho produzido. O Quadro 2 a seguir apresenta definições de vulnerabilidade ambiental na ótica de alguns autores.

Quadro 2 - Definições de vulnerabilidade

Autor	Ano	Definição
GOLDSMITH	1983	A fragilidade associada a perturbações provocadas por ações antrópicas é a vulnerabilidade do ambiente.
ANDERSEN e GOSKEN	1989	Consiste em qualquer conjunto de fatores ambientais de mesma natureza que, diante de atividades que estão ocorrendo ou que venham a ocorrer, poderá sofrer adversidades e afetar, de forma total ou parcial, a estabilidade ecológica da região em que ocorre.
WILLIAMS e KAPUTSKA	2000	A vulnerabilidade ambiental pode ser compreendida como o potencial que um sistema possui para modular suas respostas frente a fatores estressores ao longo do tempo e do espaço, a partir das suas características ecossistêmicas.
VILLA e MCLEOD	2002	Relacionaram a vulnerabilidade a processos intrínsecos que ocorrem em um sistema, decorrente do seu grau de conservação (característica biótica do meio) e resiliência ou capacidade de recuperação após um dano, e a processos extrínsecos, relacionados à exposição a pressões ambientais atuais e futuras.
TAGLIANI	2003	Significa a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer, envolvendo critérios de fragilidade estrutural intrínseca do meio físico, sensibilidade e o grau de maturidade dos ecossistemas.
CASTELLANI	2004	Consiste no conjunto de fatores ambientais de mesma natureza que, diante de atividades que ocorrem ou que virão a ocorrer, poderá sofrer transtornos e afetar total ou parcialmente a estabilidade ecológica da região em que ocorre.
COSTA <i>et al.</i> ,	2006	Vulnerabilidade ambiental refere-se à susceptibilidade do ambiente a pressões antrópicas.
FIGUEIRÊDO <i>et al.</i> ,	2007	A vulnerabilidade ou fragilidade ambiental está relacionada com a susceptibilidade de uma área em sofrer danos quando submetida a uma determinada ação.
COSTA <i>et al.</i> ,	2007	A vulnerabilidade ambiental é compreendida como o risco de degradação do ambiente natural. Está relacionada à erosão do solo, à perda de biodiversidade, ao assoreamento, à contaminação dos corpos hídricos, etc. e pode ser agravada por fatores antropogênicos, proporcionando a perda da biodiversidade em terras improdutivas e, conseqüentemente, comprometendo a qualidade e quantidade disponível de recursos hídricos.
SANTOS e CALDEYRO	2007	A ideia da vulnerabilidade ambiental está relacionada com uma condição intrínseca que cada fração do território apresenta em responder às perturbações, que em interação com o tipo e magnitude do evento induzido resulta numa grandeza de efeitos adversos.

FIGUEIRÊDO	2010	A vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como a suscetibilidade do ambiente à degradação, considerando a capacidade de resposta do meio ambiente.
FUSHIMI	2012	Assimila a vulnerabilidade ambiental às práticas sociais que transformam as paisagens e, em interação com os elementos da natureza, podem proporcionar o aparecimento/aceleração da erosão.
MIGUEL <i>et al.</i> ,	2013	Vulnerabilidade ambiental trata da fragilidade do ambiente em função de qualquer tipo de dano, seja causado pela dinâmica ambiental, por meio natural, e/ou ação antrópica.
LOURENÇO <i>et al.</i> ,	2013	Pode ser definida como uma situação em que o meio físico está vulnerável às pressões humanas. Geralmente, estão presentes três fatores: exposição ao risco; incapacidade de reação; e dificuldade de adaptação diante da materialização do risco.
SANTANA	2014	É entendida como a fragilidade de um determinado ambiente às pressões exercidas pelas atividades humanas.
SANTOS	2015	Vulnerabilidade está ligada a susceptibilidade, sensibilidade ou fragilidade de um determinado ambiente.
FUSHIMI	2016	A vulnerabilidade, sob a abordagem ambiental, está atrelada à fragilidade, isto é, à inter-relação dos constituintes da natureza. Todavia, se diferencia pela incorporação da ação da sociedade que altera as paisagens em detrimento dos seus interesses econômicos, sendo estes conduzidos pelo modo de produção capitalista.
AQUINO <i>et al.</i> ,	2017	Grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica; ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência, isto é, a capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica.
DUARTE e CARNEIRO	2017	É a menor ou maior susceptibilidade erosiva de um ambiente provocado pelo impacto das atividades antrópicas.

Org.: Soares, 2019.

Conclui-se com base no Quadro 2 que geralmente nas definições da vulnerabilidade ambiental levam-se em consideração a dimensão da susceptibilidade. Neste sentido, Julião *et al.* (2009) a definem como sendo a incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência. Grigio (2003, p.181), por sua vez, diz que esse termo “refere-se à tendência (ser passível) de receber impressões, modificações ou adquirir qualidades diferentes das que já tinha”.

Além da suscetibilidade, observa-se nas definições o termo risco. Conforme Cutter (1996), esse termo diz respeito a probabilidade de ocorrência de certo perigo. O risco vem a ser uma percepção humana, assim, uma pessoa, ou um grupo podem sentir-se vulneráveis as ocorrências de um evento que possa gerar danos, sejam eles a integridade humana ou de bens materiais. Desta forma, não há risco se não houver a presença humana

(direta ou indiretamente) a um determinado perigo (MEDEIROS; PEREIRA; ALMEIDA, 2012).

Miyazaki (2014) diz que o risco nasce da percepção de um indivíduo em apreender um perigo ou de uma ameaça possível, cujas origens diversas são chamadas de *áleas* (palavra francesa, que no contexto do tema refere-se ao perigo).

Para Veyret (2007), o risco seria compreendido a uma situação de ameaça a existência de algo, ou seja, ao perigo possível de acontecer, quanto a sua percepção, além de indicar uma situação percebida como perigosa, ou cujas implicações podem ser notadas.

O perigo seria uma circunstância que prenuncia um mal para alguém ou alguma coisa, e aquilo que provoca tal circunstância, o risco, ou estado ou situação que inspira cuidado, gravidade. O perigo ou *áleas* são sentidos pelos indivíduos e pode provocar, ao se manifestar, prejuízos às pessoas, aos bens e à organização do território ou espaço, ou ambiente. Estes acontecimentos, ou desastres, podem desencadear uma crise, e a análise dos prejuízos remete ao que se denomina vulnerabilidade (VEYRET, 2007).

[...] de forma simplificada, pode-se considerar o risco vinculado a um acontecimento que pode realizar-se ou não. Contudo, a existência de um risco só se constitui quando há a valorização de algum bem, material ou imaterial, pois não há risco sem a noção de que se pode perder alguma coisa. Portanto, não se pode pensar em risco sem considerar alguém que corre risco, ou seja, a sociedade (CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005, p. 27).

É importante destacar que “o termo perigo, comumente é confundido com o risco, ou seja, como se fossem sinônimos, o que é um equívoco. Perigo seria o evento propriamente dito, aquele que é o causador dos danos ou prejuízos”. (MEDEIROS; PEREIRA; ALMEIDA, 2012, p.477).

A fragilidade também é um dos componentes que fazem parte de algumas definições de vulnerabilidade ambiental. Neste contexto, Gimenes e Augusto Filho (2013), trazem em sua obra algumas definições de fragilidade na ótica de autores como Ratcliffe (1971); Smith e Theberge (1986); Goldsmith (1983).

Ratcliffe (1971) descreve fragilidade como uma medida da sensibilidade intrínseca de um ecossistema às pressões ambientais (especialmente mudanças de gestão), combinada com a exposição à ameaça que poderia perturbar o equilíbrio existente. Smith e Theberge (1986) definem fragilidade como o oposto à estabilidade, sendo estabilidade a velocidade com que um sistema retorna ao equilíbrio após uma perturbação. Os autores ainda destacam que a fragilidade pode ser natural ou

induzida pelo ser humano e que a natural pode ser devida a fatores internos ou externos (GIMENES; AUGUSTO FILHO, 2013, p.6564).

Goldsmith (1983), por sua vez,

Define uma área frágil como uma área com elevada sensibilidade inerente, como uma área alagada, uma duna costeira e regiões montanhosas, que são potencialmente instáveis. É feita ainda a distinção entre fragilidade e vulnerabilidade, assumindo que uma área é inerentemente frágil, mas é vulnerável a uma ameaça externa como mudança no uso do solo, por exemplo (GIMENES; AUGUSTO FILHO, 2013, p.6564).

A partir de revisões bibliográficas sobre o termo fragilidade na literatura científica internacional, Gimenes e Augusto Filho (2013, p.6565) identificaram um consenso que a fragilidade de um ambiente se traduz pela desestabilização de um equilíbrio dinâmico preexistente. As divergências entre as definições se encontram nos fatores que causam este desequilíbrio.

Conforme Gimenes e Augusto Filho (2013, p.6565) “Alguns autores consideram que a fragilidade é devida a fatores internos e externos, enquanto outros consideram que é apenas devido a fatores internos, sendo uma propriedade intrínseca do sistema”.

A fragilidade dos ambientes naturais é maior ou menor em função das intervenções humanas (BARROS; BACANI; BORGES, 2017). Neste viés, Ross (1994, p.63) corrobora afirmando: “Os ambientes naturais mostram-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento que as sociedades humanas passaram a intervir cada vez mais na exploração de recursos naturais”.

Salienta-se que existem estudos sobre fragilidade ambiental, dentre os autores que trabalham nesta perspectiva destaca-se Ross (1994). Ele a define a partir dos conceitos de Unidades Ecodinâmicas, preconizadas por Tricart (1977), sendo exemplificadas a partir de meios morfodinâmicos, como aqueles que sofreram intervenções antrópicas e modificaram intensamente os ambientes naturais e aqueles representados pelas características naturais do ambiente e que os deixam frágeis diante dos processos morfogenéticos.

Ainda em relação à fragilidade ambiental, Tamanini (2008, p.8) argumenta que ela refere-se à suscetibilidade do meio ambiente a qualquer tipo de dano, inclusive à poluição. Daí a definição de ecossistemas ou áreas frágeis como àqueles que, por suas características, são particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência e pouca capacidade de recuperação.

A fragilidade ambiental para Gimenes e Augusto Filho (2013, p.6565) está relacionada a “desestabilização do equilíbrio dinâmico existente no ambiente, e que esta é uma característica intrínseca do meio ambiente”. Já para Padilha (2008, p.34) refere-se a áreas sensíveis a impactos ambientais com baixa capacidade de recuperação.

Miyazaki (2014) também compreende a fragilidade como uma propriedade intrínseca do meio ambiente. A autora entende este conceito como algo que seja passível de quebrar, romper, de partir, de se tornar instável e relacionando-o com os estudos geográfico-geomorfológicos é possível perceber que a fragilidade está diretamente ligada aos ambientes naturais e ao estado em que se encontra a dinâmica dos processos naturais, por isso, apresentam características particulares dos componentes que os compõem (relevo, as rocha, o clima e os solos), e que os classificam como frágeis.

Ainda conforme a autora mencionada, a fragilidade pensada no ambiente natural pode apresentar características que os classificam como frágeis. Nesta perspectiva, um dos componentes naturais que podem contribuir para a identificação do nível de fragilidade é o relevo (MIYAZAKI, 2014, p.84). Desta forma, a fragilidade do ambiente está vinculada a análise das características dos componentes naturais.

Miyazaki (2014) com base em suas pesquisas e entendimento sobre fragilidade e vulnerabilidade conclui que o estudo sobre a fragilidade ambiental é de extrema importância para as pesquisas de vulnerabilidade, pois permite que os componentes naturais sejam caracterizados e analisados em conjunto para averiguar a ocorrência de ambientes com alta, média ou baixa fragilidade. Esta concepção de fragilidade apresentado pela autora perpassa o entendimento de vulnerabilidade natural deste trabalho.

Diante do exposto, a autora esclarece:

Os componentes naturais (sejam eles as morfologias do relevo, a declividade das vertentes, os tipos de solos, os tipos de cursos d'água, a profundidade do lençol ou aquífero freático, as rochas e os minerais), podem apresentar certa fragilidade “natural”, como por exemplo, um relevo que é facilmente esculpido, devido as suas características estruturais e as condições naturais (solo, clima, vegetação). E esse mesmo relevo ao sofrer determinadas intervenções da sociedade ao ser apropriado e ocupado podem acelerar os processos morfodinâmicos e deixar a população ocupantes vulnerável a movimentos de massa, erosões urbanas e alagamentos (MIYAZAKI, 2014, p.105).

Nos trabalhos que abordam a vulnerabilidade ambiental são frequentes os termos: exposição, sensibilidade, capacidade adaptativa ou de resposta do sistema. Nesta perspectiva,

Adger (2006) subdivide a vulnerabilidade ambiental em três componentes: a exposição, a sensibilidade às perturbações ou tensões externas e a capacidade de adaptação.

A exposição configura-se como a natureza e o grau em que um sistema experimenta estresse ambiental e sociopolítico. A sensibilidade caracteriza-se pelo nível em que o sistema está modificado ou afetado pelas perturbações. A capacidade adaptativa representa a capacidade de um sistema de se acomodar a riscos ambientais ou a mudanças políticas e ampliar a gama de variabilidade com que pode lidar (SCHUMANN, 2014, p.15).

Jordão e Moretto (2015) apresentam as concepções de Kasperson *et al.* (2005) e Turner *et al.* (2003), as quais discutem a necessidade de inclusão de componentes vistos como essenciais, a saber: exposição, sensibilidade e resiliência. Esses componentes são imprescindíveis para uma estrutura que seja capaz de orientar processos de tomada de decisão, dentro de uma escala temporal e espacial, preconizando as variações dos atributos ambientais.

A exposição é composta pelas características que definem as ações humanas às quais a vulnerabilidade ambiental responde devido às perturbações e impactos gerados (TURNER *et al.*, 2003).

O grau do dano que ocorre em um sistema submetido a uma determinada exposição é determinado pela sua sensibilidade (KASPERSON *et al.*, 2005), ou seja, pelas condições ambientais do território que podem ser alteradas significativamente pelas forças motrizes (TURNER *et al.*, 2003).

Por fim, a resiliência do sistema é o conjunto de respostas naturais e humanas aos danos, no sentido do restabelecimento do padrão anterior (ou próximo deste) de equilíbrio dinâmico do ambiente (TURNER *et al.*, 2003). Se as perturbações persistirem ao longo do tempo, o tipo e a qualidade da resiliência podem ser alterados, levando o sistema a funcionar em torno de um novo ponto de equilíbrio dinâmico (KASPERSON *et al.*, 2005).

Em estudos com enfoque na vulnerabilidade, é de suma importância que os termos utilizados sejam definidos, pois as definições de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa assumem distintos significados dependendo do objeto de estudo tratado. Para exemplificar esta assertiva pode-se dizer que em estudos de vulnerabilidade a mudanças climáticas e globais, a capacidade adaptativa é compreendida como a existência de ações sociais, econômicas e ambientais que permitem à sociedade melhor se adaptar às possíveis mudanças ambientais. Entretanto, esse mesmo termo também é utilizado para denotar a

resiliência de um ecossistema, ou sua capacidade de manter a estabilidade ecológica frente a pressões externas (MILANEZI; PEREIRA, 2016).

Em relação aos trabalhos sobre vulnerabilidade ambiental existe uma diversidade de fenômenos, dentre eles: a realizada por Tagliani (2003) abordando a técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros; Li *et al.* (2006) associaram vulnerabilidade a aspectos do meio físico e biótico, à exposição a fontes de pressão ambiental e à ocorrência de impactos ambientais (erosão hídrica) em uma área montanhosa; Jordão (2011) a qual analisa a vulnerabilidade ambiental no planejamento espacial de cultivo de cana-de-açúcar em São Paulo; Romero *et al.* (2011) que produziu um mapa de vulnerabilidade ambiental ao óleo num estudo de caso na Bacia de Santos, Brasil, com o intuito de representar as áreas mais vulneráveis aos vazamentos, auxiliando a ação de resposta e a definição de áreas prioritárias de proteção; Veroneze *et al.* (2017), identificando as áreas de vulnerabilidade ambiental na cidade de Ponta Porã – MS, dentre outros.

Jordão (2011, p.48) afirma que geralmente os estudos se concentram na sua relação com as pesquisas de mudanças globais do clima. “Na Alemanha, o *Potsdam Institute for Climate Impact Research* trabalha com uma variedade de projetos que relacionam os impactos climáticos e a vulnerabilidade ambiental [...]”.

Em face ao exposto, percebe-se que os estudos de vulnerabilidade ambiental podem ser realizados em múltiplas escalas, desde uma escala global como, por exemplo, às mudanças ambientais, e em escala local a exemplo de uma cidade, a partir de uma determinada atividade em um dado território que seja responsável por alterações que resultem em impactos negativos na qualidade de um sistema.

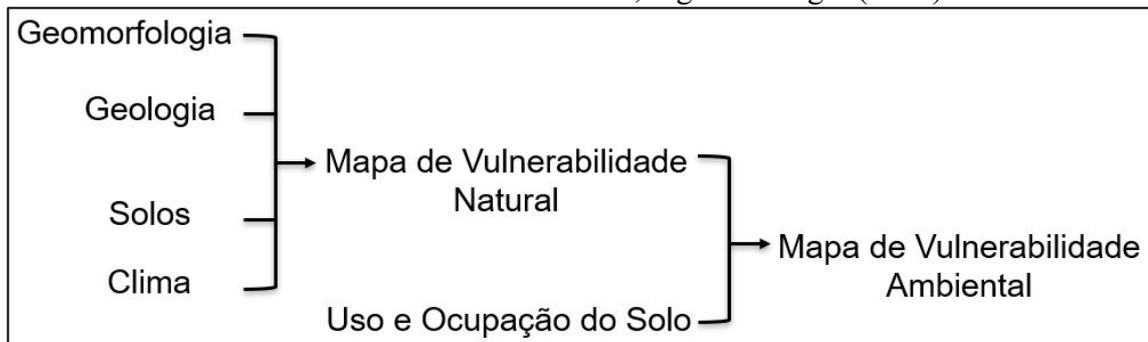
Assim como existem diversos conceitos para a vulnerabilidade ambiental também ocorre à mesma situação no caso da vulnerabilidade natural. Essas conceituações variam conforme a linha de pesquisa do autor e sua formação acadêmica.

Em relação à definição de vulnerabilidade natural no contexto dos aquíferos ela “representa características intrínsecas dos estratos acima da zona saturada, que determinam a suscetibilidade de um aquífero ser afetado por uma carga contaminante aplicada na superfície do terreno”. (FOSTER; HIRATA, 1988).

Grigio (2003) entende que a vulnerabilidade natural abrange os aspectos naturais da paisagem (pedologia, geomorfologia, geologia, vegetação). Já a vulnerabilidade ambiental aborda essas variáveis e inclui a ação antrópica (uso e ocupação do solo), elemento

considerado pelo autor como de grande importância em qualquer tipo de análise ambiental. A Figura 3 ilustra as variáveis que Grigio (2003) utiliza para produção do mapa de vulnerabilidade ambiental e natural.

Figura 3 - Esquema representativo abrangendo as variáveis que compõem o mapa de vulnerabilidade natural e ambiental, segundo Grigio (2003)



Fonte: Fushimi (2012), adaptado parcialmente por Soares (2021).

Essa abordagem apresentada por Grigio (2003) da vulnerabilidade coaduna-se com o entendimento de vulnerabilidade ambiental e natural identificado nas obras de Costa *et al.* (2006); Fushimi (2012); Klais *et al.* (2012); Santos (2014); Santos *et al.* (2014); Duarte e Carneiro (2017); Santos e Soares (2020).

Nos estudos relacionados à vulnerabilidade natural é comum sua associação com a erosão. Com efeito, a erosão é um processo natural de degradação, decomposição, transporte e deposição de materiais de rochas e solos e é a principal forma de degradação dos solos (WINCANDER; MONROE, 2009). Independentemente da atuação antrópica os processos erosivos irão ocorrer e imane a eles o intemperismo físico-químico e biológico.

Entende-se que na natureza ocorre uma predisposição para a degradação dos solos decorrente da atuação erosiva (eólica e pluvial), assim como movimentos de massa e assoreamento de rios, ou seja, processos naturais que o ser humano não determina, porém a atuação antrópica sem o devido planejamento pode intensificar esses fenômenos, por exemplo, o desmatamento de extensas áreas para atividade agrícola, deixando o solo exposto e suscetível à atuação mais intensa dos agentes erosivos ou ainda a remoção da mata ciliar das margens dos rios intensificando o assoreamento. Neste viés, surge a vulnerabilidade ambiental decorrente da intensificação advinda da pressão antrópica (SANTOS; SOARES, 2020).

Conforme Cutter, Boruff e Shirley (2003), a vulnerabilidade natural, é o conjunto de técnicas para adotar medidas que possam diminuir ameaças a partir do planejamento de

métodos, analisando casos como situações suscetíveis a ameaças ambientais e externalidades. A análise da vulnerabilidade natural é detectada a partir de fatores como tipos de solo, cobertura vegetal, erosividade e tipos de relevo que indicam se a área apresenta maior ou menor predisposição à erosão.

Klais *et al.* (2012) entendem que a vulnerabilidade natural está relacionada à predisposição do ambiente frente a fatores naturais como: geomorfologia, geologia, pedologia e a sua estabilidade em relação à morfogênese e à pedogênese, enquanto que a vulnerabilidade ambiental é intensificado pela pressão antrópica.

Santos (2014) assevera que nos estudos envolvendo a vulnerabilidade natural e ambiental, exigem uma análise de forma integrada, tanto dos fatores do meio físico a fim de determinar a vulnerabilidade natural, quanto dos elementos naturais associados ao antropismo para a identificação da vulnerabilidade ambiental.

Scolforo, Carvalho e Oliveira (2008) compreendem que a vulnerabilidade natural é a incapacidade de resistência e/ou recuperação de uma unidade espacial diante de impactos proporcionados por atividades antrópicas e é classificada em:

Biótica: os fatores condicionantes são naturais (integridade da flora e da fauna), desconsiderando a ação antrópica; Abiótica: têm-se fatores condicionantes naturais (disponibilidade natural de água e condições climáticas) e antrópicos (susceptibilidade de solos à contaminação, susceptibilidade de solos à erosão e susceptibilidade de rochas à contaminação de águas subterrâneas).

A vulnerabilidade natural de um ecossistema é analisada de acordo com as características do meio físico, como solo, rocha, relevo, clima e recursos hídricos, além de fatores bióticos (vegetação) e antrópico (uso e cobertura do solo), que tornam os aspectos do relevo mais ou menos instáveis aos processos erosivos (LIMA *et al.*, 2000).

Simões *et al.* (1999, p.5) salientam que “o conhecimento da vulnerabilidade natural é fundamental para prever o comportamento futuro dos sistemas naturais diante do processo de ocupação e adensamento da atividade social”.

Conforme o exposto, entende-se nesse trabalho a vulnerabilidade natural e ambiental em consonância com as concepções apresentadas por Grigio (2003); Klais *et al.* (2012); Santos e Soares (2020). Pois a vulnerabilidade natural abrange somente os aspectos físicos (pedologia, geomorfologia, clima, etc.), enquanto a ambiental envolve essas variáveis e inclui a ação antrópica (uso da terra).

O uso das técnicas e operações de geoprocessamento têm sido utilizadas em vários trabalhos científicos sobre a perspectiva da vulnerabilidade contribuindo decisivamente para sua mensuração e espacialização. Em relação as operações de geoprocessamento Rosa (2011, p.283) explica:

As operações de geoprocessamento podem ser consideradas como operações que integram componentes de edição e princípios de análise espacial. A partir de operações espaciais com uma componente de lógica booleana (união, intersecção, etc.) ou de operações de associação da informação por junção espacial, são produzidos novos temas de informação geográfica ou enriquecidas tabelas já existentes.

Dessa forma, a seguir discorre-se sobre a aplicação do geoprocessamento no estudo da vulnerabilidade, destacando as metodologias, índices, indicadores e os diferentes objetos de estudo abordando essa temática. Nesses trabalhos é comum o uso das operações de geoprocessamento como a integração de diferentes dados e sobreposição (*overlay*), sendo assim, o uso do SIG tem favorecido o alcance dos objetivos desses estudos, haja vista sua capacidade de agregar diferentes dados vetoriais e matriciais.

2.3 Aplicação do geoprocessamento no estudo da vulnerabilidade ambiental e natural

O objetivo desta seção é evidenciar e apresentar as potencialidades do uso do geoprocessamento em métodos que visam a espacialização e mensuração das diferentes intensidades de vulnerabilidade. Neste sentido, elenca-se diversos trabalhos e metodologias sobre a temática em estudo.

Atualmente as facilidades em se ter acesso a tecnologias como SIGs a exemplo do ArcGIS, QGIS, SPRING, ENVI, etc., juntamente com a disponibilização gratuita de dados de sensores remotos, *shapefiles* em sites como os do IBGE, INPE, ANA, MMA, entre outros, traz para o pesquisador uma série de facilidades durante o empreendimento de trabalhos, antes considerado exaustivo, a exemplo da delimitação das bacias, traçado dos rios, curvas de nível através da digitalização. Com o uso destas novas ferramentas ganha-se mais tempo para dedicar se a outras etapas da pesquisa (COELHO, 2007; SOARES, 2018).

Em face ao exposto é importante que alguns conceitos relacionados a essas tecnologias sejam apresentados, dentre os quais: Geotecnologias, Geoprocessamento, SIG, Sensoriamento Remoto. Nesta direção, a seguir são elencados tais conceitos e a aplicação dessas tecnologias na questão ambiental, em específico nas bacias hidrográficas, tendo como

referência os trabalhos produzidos por Carvalho, Pina e Santos (2000); Câmara, Davis e Monteiro (2001); Rocha (2003); Coelho (2007); Pinheiro *et al.* (2009); Ferreira (2011) e ROSA (2011).

Uma contribuição no sentido de definir e distinguir o que se entende por SIG e Geoprocessamento foi empreendida por Carvalho; Pina; Santos (2000, p.14), as mesmas relatam que:

Geoprocessamento é um termo amplo, que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais. Dentre essas tecnologias, se destacam: o sensoriamento remoto, a digitalização de dados, a automação de tarefas cartográficas, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global e os Sistemas de Informações Geográficas - SIG. Ou seja, o SIG é umas das técnicas de geoprocessamento, a mais ampla delas, uma vez que pode englobar todas as demais, mas nem todo o geoprocessamento é um SIG.

Ainda de acordo com Carvalho, Pina e Santos (2000, p.14):

Os Sistemas de Informações Geográficas são sistemas computacionais, usados para o entendimento dos fatos e fenômenos que ocorrem no espaço geográfico. A sua capacidade de reunir uma grande quantidade de dados convencionais de expressão espacial, estruturando-os e integrando-os adequadamente, torna-os ferramentas essenciais para a manipulação das informações geográficas.

Em relação ao Geoprocessamento e o SIG, Câmara, Davis e Monteiro (2001, p.1) elucidam:

É um conjunto de tecnologias que utiliza técnicas matemáticas e computacionais voltadas a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. As atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de Sistemas de Informação Geográfica que possibilita a realização de análises complexas, com a integração de dados de fontes diversas e com a criação de bancos de dados georreferenciados.

O Geoprocessamento apresenta um amplo leque de ferramentas possibilitando a integração de diversas informações obtendo enquanto resultado dados confiáveis, tornando sua utilização bastante ampla e que vem influenciando de maneira crescente diversas áreas como a Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Planejamento Urbano e Regional entre outros (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Rocha (2003, p.1) ressalta uma contribuição fundamental do SIG no que diz respeito ao gerenciamento de recursos naturais. Em suas palavras o “SIG é, provavelmente, dentre as ferramentas de suporte à decisão, aquela que mais se adéqua ao enfoque sistêmico

de gerenciamento de recursos naturais, dada as suas características de integração e manipulação de grandes quantidades de dados espaciais e alfanuméricos”.

Rocha (2003) em sua obra afirma a importância do SIG na análise e planejamento da bacia hidrográfica reforçando o papel dessa importante ferramenta no estudo e abordagem desse fenômeno natural. Segundo ele a integração de informações de uma bacia hidrográfica, que reúne normalmente diversos municípios e forma uma grande comunidade de usuários e beneficiários destas informações, é um caso típico onde o SIG pode e deve ser inserido como ferramenta de suporte à análise e ao planejamento.

Ainda no sentido de apresentar as vantagens do uso do SIG no contexto das bacias hidrográficas e sua interação com as mais variadas áreas do conhecimento, Coelho (2007, p. 2444) explana:

SIG constitui-se em uma importante ferramenta para dar suporte às análises e estudos ambientais, bem como à gestão e tomadas de decisão sobre os recursos hídricos, podendo gerar um sem-número de classificações, cruzamentos de dados, sendo também uma ponte que possibilita o diálogo entre diversas áreas do saber.

Um fato importante no SIG relaciona-se a sua capacidade de integração de variados tipos de dados o que, por conseguinte ressalta sua interdisciplinaridade e multiplicidade de usos o que é fundamental no estudo da bacia tendo em vista que a natureza constitui-se de uma variedade de objetos artificiais e naturais que se inter-relacionam (SOARES, 2018).

Pinheiro *et al.* (2009) relatam que esta tecnologia permite integrar informações de dados cartográficos, cadastrais de diferentes naturezas, variáveis ambientais, entre outras, em um banco de dados unificado, o que reflete a multiplicidade de usos e a interdisciplinaridade permitida.

Segundo Ferreira (2011, p.2), “O uso do geoprocessamento é crescente para estudos ambientais isto se deve à capacidade de considerar de forma integrada diferentes variáveis no espaço e suas alterações temporais em uma base de dados georreferenciada”.

Rosa (2011), por sua vez, tem uma concepção distinta de Carvalho, Pina e Santos (2000) no tocante a conceituação de Geoprocessamento. Enquanto essas autoras englobam o SIG, Sensoriamento Remoto, GPS, digitalização de dados, etc. na definição de Geoprocessamento, como já mencionado, Rosa (2011, p.277) entende que essas tecnologias fazem parte do escopo das Geotecnologias. Conforme o autor:

Geotecnologias - conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica. São compostas por soluções de hardware, software e peopleware que juntas constituem-se em poderosos instrumentos como suporte a tomada de decisão. Dentre as geotecnologias podemos destacar: a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global, o sistema de informação geográfica, e os aplicativos gráficos disponíveis na WEB (Google Maps, o Google Earth, o Microsoft Virtual Earth, Google Street View, etc.).

Rosa (2011, p.277) salienta que Geoprocessamento é usado quase que exclusivamente no Brasil e afirma que o termo é utilizado como sinônimo de Geomática. Entendendo que esta última é uma “Ciência que se utiliza de técnicas matemáticas e computacionais para a análise de informações geográficas, ou seja, informações temáticas “amarradas” à superfície terrestre, através de um sistema de coordenadas”.

O SIG, segundo Rosa (2011, p.277), refere-se ao Conjunto de ferramentas computacionais, composta por equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise, a modelagem, a simulação e a disponibilização de informações georreferenciadas, que possibilitam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas, referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão, relativas ao espaço geográfico.

A definição de Sensoriamento Remoto (SR) também se faz necessário haja vista que seus produtos e técnicas são utilizados neste trabalho para produção de mapas temáticos e observação da paisagem. Desta forma, o SR é a área do conhecimento que visa a aquisição de informação de um alvo/fenômeno na superfície terrestre, realizada por meio de sistemas sensores acoplados a plataformas orbitais, aéreas e de campo (FLORENZANO, 2002; MOREIRA, 2003; ROSA, 2007; NOVO, 2008).

Os produtos do SR, a exemplo de imagens orbitais, de radar e drone, MDE do qual deriva-se outros dados entre os quais o relevo sombreado, declividade, forma de terreno, curva vertical e horizontal, etc., servem de aplicação em diversos estudos científicos realizados tanto por universidades quanto órgãos estatais e federais como é o caso do IBGE, INPE, IMESC, ANA, SEMA, que por sua vez, subsidia o planejamento e gestão de cidades, bairros, zonas rurais, bacias hidrográficas, dentre outros.

O uso de dados de sensores remotos é recorrente no Zoneamento Ecológico - Econômico Estaduais. A adoção das imagens de satélite como “âncora” para o ZEE traz consigo a possibilidade de se utilizar todo o potencial disponível no SR e no SIG, além de

desenvolver uma metodologia perfeitamente aplicável a novos produtos orbitais que estarão disponíveis no futuro (CREPANI *et al.*, 2001).

As técnicas desenvolvidas por essa ciência são largamente empregadas nas mais diversas aplicações entre elas: mapeamento geológico (ROSSETTI, 2015), mapeamento do uso e da cobertura da terra (INPE, 2013), ambientes costeiros, monitoramento de desmatamentos e queimadas (INPE, 2020), vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012), dentre outras aplicações. Atualmente, as técnicas de SR continuam sendo utilizadas nas mais diversas áreas do conhecimento, assim como nas universidades, em variados cursos, contribuindo, dessa forma, para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Nas últimas décadas vários métodos, índices e indicadores vêm sendo construídos e utilizados com intuito de mensurar e espacializar os graus de vulnerabilidade ambiental e natural de um determinado objeto de estudo, geralmente esses métodos empregam técnicas de geoprocessamento para alcançar tais fins.

Entre os métodos que utilizam técnicas de geoprocessamento no estudo da vulnerabilidade natural tem-se o elaborado por Crepani *et al.* (1996; 2001) que desenvolveram um método a partir dos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977).

O método elaborado por Crepani *et al.* (1996; 2001) foi proposto para gerar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo. Ele teve por objetivo subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal, ou seja, foi designado para ser utilizado em áreas com grandes dimensões.

Antes de continuar com a apresentação de outros métodos e enfoques de estudo de vulnerabilidade é importante destacar que um indicador é uma ferramenta que possibilita adquirir informações sobre uma dada realidade, também pode ser compreendido como um dado isolado ou uma união de informações. Já o índice denota o estado de um sistema ou fenômeno ou ainda o “valor agregado final de todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem”. (SICHE *et al.*, 2007, p.139).

Siche *et al.* (2007, p.140) entendem o termo índice e indicador da seguinte forma:

O índice refere-se a um valor numérico que representa a correta interpretação da realidade de um sistema simples ou complexo (natural, econômico ou social), utilizando, em seu cálculo, bases científicas e métodos adequados. O índice pode servir como um instrumento de tomada de decisão e previsão, e é considerado um nível superior da junção de um jogo de indicadores ou variáveis. O termo indicador é um parâmetro selecionado e considerado isoladamente ou em combinação com outros para refletir sobre as condições do sistema em análise.

Nesse contexto, um indicador da vulnerabilidade ambiental é o *Environmental Vulnerability Index* (EVI) que foi desenvolvido pela *South Pacific Applied Geosciences Commission* (SOPAC). O EVI começou a ser formulado em 1998 com o objetivo de expressar as características da vulnerabilidade dos sistemas naturais (em nível regional, estadual, província ou ilha) (JORDÃO, 2011).

Conforme Jordão (2011, p.49), o EVI é formado por

Indicadores que foram selecionados para caracterizar as questões de risco, resiliência e vulnerabilidade do complexo sistema natural dos países. Os dados são classificados numa escala que varia de 1 a 7, sendo que o EVI = 1 indica baixa vulnerabilidade e alta resiliência e o EVI = 7 indica vulnerabilidade extrema.

Outro método utilizado nos estudos de vulnerabilidade ambiental diz respeito ao *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por Saaty (1977), consiste na criação de uma hierarquia de decisão, composta por níveis ou classes de importância que permitem uma visão global das relações inerentes ao processo. Para estabelecer a importância relativa de cada fator da hierarquia são elaboradas matrizes de comparação para cada nível, onde os resultados das matrizes são ponderados entre si (SILVA; NUNES, 2009).

O modelo AHP de Saaty (1980) é um processo de escolha baseada na lógica de comparação par a par onde diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são organizados hierarquicamente e comparados entre si, e um valor de importância relativa (peso) é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida que expressa a intensidade com que um fator predomina sobre outro em relação à tomada de decisão (SILVA; NUNES, 2009).

Como exposto, existem diversos métodos e índices na perspectiva da vulnerabilidade ambiental. Além dos métodos mencionados na abordagem da vulnerabilidade ambiental, destaca-se também o método *Vulneragri* desenvolvido pelos pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, que se baseia na susceptibilidade de um sistema ambiental à degradação ambiental (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010).

Outro enfoque de estudo que também recorre ao uso do geoprocessamento refere-se à vulnerabilidade natural. Nesta perspectiva, existem vários trabalhos científicos produzidos como, por exemplo, teses, monografias, artigos, dissertações, trabalhos completos publicados em anais de eventos. Estes trabalhos, geralmente, tratam da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos e a vulnerabilidade natural à perda de solo.

Dentre as pesquisas sobre o prisma da vulnerabilidade natural a perda de solo têm-se as realizadas por Mello e Valladares (2009) - Mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos no Pólo da Transamazônica no Estado do Pará; Rodrigues e Souza (2011) - Utilização de geotecnologias para determinação da vulnerabilidade à perda de solo em áreas quilombolas: Caso de Jamary dos Pretos, Maranhão; Rovani e Viera (2016) - Vulnerabilidade natural do solo de Silveira Martins-RS; Duarte e Carneiro (2017) - Análise de vulnerabilidade erosiva no município de Paragominas – PA; Santos *et al.* (2018) - Vulnerabilidade natural à perda de solos na Flona Bom Futuro e seu entorno próximo/Estado de Rondônia, etc.

Atinente aos trabalhos sobre a perspectiva da vulnerabilidade natural a contaminação de aquíferos, menciona-se como exemplos: Barreto (2006) - Contaminação da água subterrânea por pesticidas e nitrato no Município de Tianguá, Ceará; Cunha (2009) - Determinação da vulnerabilidade intrínseca à poluição e transporte de contaminação: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos subterrâneos na área do porto do Pecém, CE; Barbosa *et al.* (2011) - Avaliação do perigo de contaminação do sistema aquífero Guarani em sua área de afloramento do Estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas; Francisco (2018) - Contribuição metodológica à estimativa da vulnerabilidade natural e perigo de contaminação de aquíferos livres granulares, etc.

Todos os trabalhos, supramencionados, referentes à vulnerabilidade natural a perda de solo tem por base o método proposto por Crepani *et al.* (1996; 2001). Já no tocante aos métodos para a contaminação de aquíferos, destacam-se o método “GOD” (G – *groundwater hydraulic confinement*; O – *overlying strata*; D – *depth to groundwater table*) e o DRASTIC.

Os componentes da vulnerabilidade de um aquífero não são diretamente mensuráveis, mas, sim, determinados por meio de combinações de outros fatores. Neste sentido, o método “GOD” (FOSTER; HIRATA, 1988), se baseia em três fatores, que são: 1) Tipo de ocorrência de água subterrânea ou condição do aquífero (G); 2) Características dos estratos acima da zona saturada, em termos de grau de consolidação e tipo litológico (O); 3) A profundidade do nível da água (D).

Em se tratando do DRASTIC, Foster *et al.* (2003) explana que os fatores e pesos atribuídos na avaliação do índice de vulnerabilidade à contaminação nesse método são: D = Profundidade à água subterrânea (x5); R = Taxa de recarga natural (x4); A = Características do meio aquífero (x3); S = Características do solo (x2); T = Aspecto topográfico (x1); I = Impacto (efeito) da zona não saturada (vadoza) (x5); C = Condutividade hidráulica (x3).

Conforme Cunha *et al.* (2014, p.3769), “A metodologia DRASTIC (ALLER *et al.*, 1987) foi desenvolvida pela *National Ground Water Association* e é empregada pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (USEPA), constituindo-se num modelo qualitativo para avaliar a potencial poluição das águas subterrâneas”.

Existem diversos métodos além do GOD e o DRASTIC para a avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos, dentre eles: o EPIK (DOERFLIGER; ZWAHLEN, 1997) e o COP (VÍAS *et al.*, 2006), que visam avaliar a vulnerabilidade de aquíferos cársticos; o EKv (AUGE, 2004), criado especialmente para analisar a suscetibilidade à contaminação de aquíferos livres granulares e o método GALDIT, exclusivo para aquíferos costeiros (LOBO FERREIRA; CHACHADI, 2001), etc. (FRANCISCO, 2018).

Os métodos de vulnerabilidade natural, supracitados, são conhecidos como paramétricos ou paramétrico-indexadores. Eles utilizam parâmetros indicativos da vulnerabilidade natural, atribuindo-lhes pesos numéricos e integrando-os para gerar o índice de vulnerabilidade. Nestes métodos, cada parâmetro apresenta um intervalo relativo à sua propriedade, subdivididos em intervalos discretos e hierarquizados com valores específicos, que refletem o seu nível de suscetibilidade à contaminação (FRANCISCO, 2018).

Para contribuir no alcance do objetivo principal proposto para este trabalho, utilizou-se o método AHP (SAATY, 1977) associado com a proposta metodológica de Crepani *et al.* (1996; 2001). Na próxima seção discorre-se sobre o AHP.

A partir do exposto nesta seção é notável o quanto a utilização do Geoprocessamento, em específico o uso do SIG, tem uma contribuição salutar nos estudos ambientais, em especial na análise da vulnerabilidade. As potencialidades desta ferramenta para empreender estudos em bacias hidrográficas são variadas proporcionando eficiência na abordagem de áreas abrangentes.

2.4 Método AHP – Processo Analítico Hierárquico

A ideia principal da teoria da análise hierárquica do matemático Thomas Lorie Saaty (1926-2017) é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. A utilidade do método realiza-se no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas (SILVA, 2007).

Essa teoria foi desenvolvida por Saaty na década de 70, e definida por ele como reflexo do que parece ser um método natural de funcionamento da mente humana. Uma vez que, ao defrontar-se com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, ela os agrega em grupos, segundo propriedades comuns. Essa decomposição do problema em grupos, ou níveis, foi definida por ele como hierarquia, isto é, um sistema de níveis estratificados, cada um consistindo em tantos elementos, ou fatores (SAATY, 1991 *apud* SILVA; NUNES, 2009).

O *Decision Support Systems Glossary* (DSS, 2006 *apud* SILVA, 2007, p.37) define AHP como “uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina um *ranking* total das alternativas”.

Com base na obra de Saaty (1991), Silva (2007, p.37-38) explica que:

A determinação das prioridades dos fatores mais baixos com relação ao objetivo reduz-se a uma sequência de comparação por pares, com relações de *feedback*, ou não, entre os níveis. Essa foi a forma racional encontrada para lidar com os julgamentos. Através dessas comparações por pares, as prioridades calculadas pelo AHP capturam medidas subjetivas e objetivas e demonstram a intensidade de domínio de um critério sobre o outro ou de uma alternativa sobre a outra.

O AHP baseia-se no pensamento metodológico newtoniano e cartesiano, que busca tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores, que podem ainda ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo, claros e dimensionáveis e estabelecendo relações para depois sintetizar (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009).

Conforme Saaty (1994), a vantagem do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações aos pares são baseados em experiência, intuição e ainda em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão (SILVA, 2007).

Dessa forma, a utilização do AHP inclui e mede todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis, para aproximar-se de um modelo realista (SILVA, 2007).

2.4.1 A Hierarquia

O método AHP envolve a identificação de um problema de decisão e, em seguida, decompõe este em uma hierarquia de “subproblemas” menores e mais simples, onde cada um pode ser então analisado de forma individual, sem perder o foco do problema de decisão (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012). Ou seja, ao lidar com um problema complexo, é mais fácil dividi-lo em outros menores, porque, quando solucionados individualmente e depois somados, estes representam a decisão do problema inicial buscada (SILVA, 2007).

[...] hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total. Essa abstração pode tomar várias formas interrelacionadas, todas descendentes de um objetivo geral, abrindo-se em subobjetivos, desmembrando-se nas forças influentes e até nas pessoas que influenciam essas forças. (SAATY 1991 *apud* SILVA, 2007, p.40).

No método AHP, um problema é estruturado como hierarquia e, depois, sofre um processo de priorização. Saaty (1991 *apud* SILVA, 2007, p.40) explica que priorização envolve explicitar julgamentos de questões de dominância de um elemento sobre outro quando comparados a uma prioridade.

Para elaborar a forma de uma hierarquia, Saaty (1994 *apud* SILVA, 2007, p.40-41) fornece as seguintes sugestões:

(1) identificar o problema geral. Qual a questão principal?; (2) identificar os subobjetivos do objetivo geral. Caso relevante, identificar o horizonte de tempo que afetam a decisão; (3) identificar os critérios que devem ser satisfeitos para satisfazer os subobjetivos do objetivo geral; (4) identificar os subcritérios abaixo de cada critério. Vale ressaltar que critérios e subcritérios podem ser especificados em termos de faixas de valores de parâmetros ou em termos de intensidades como alta, média, baixa; (5) identificar os atores envolvidos; (6) identificar os objetivos dos atores; (7) identificar as políticas dos atores; (8) identificar opções e resultados; (9) para decisões sim-não, tomar o resultado mais preferível e comparar os benefícios e custos de tomar decisão com os de não se tomar a decisão; (10) realizar uma análise de custo-benefício usando valores marginais. Como lidamos com hierarquia de dominância, deve-se perguntar qual alternativa gera o melhor benefício, que alternativa é mais custosa e, para riscos, qual alternativa é mais arriscada.

Uma hierarquia bem construída será um bom modelo da realidade, podendo trazer vantagens. Primeiramente, a representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos. A hierarquia também permite a obtenção de uma visão geral de um sistema, desde os atores de níveis mais baixos até seus propósitos nos níveis mais altos. Finalmente, os modelos

hierárquicos são estáveis e flexíveis: estáveis porque pequenas modificações têm efeitos pequenos; já flexíveis porque adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho (SILVA, 2007).

2.4.2 O Processo de Hierarquização do AHP

Conforme foi exposto, o método do AHP constitui-se de decomposição por hierarquias e síntese pela identificação de relações através de escolha consciente (SILVA, 2007).

Grandzol (2005 *apud* SILVA, 2007) relata que, por meio de comparações paritárias em cada nível da hierarquia baseadas na escala de prioridades do AHP, os participantes desenvolvem pesos relativos, chamados de prioridades, para distinguir a importância dos critérios.

Para se fazer uso adequado da escala de prioridades é fundamental compreender o que se entende por julgamentos no método criado por Saaty. Desta forma, SAATY (1994 *apud* SILVA, 2007, p.42) elucida:

Um julgamento ou comparação é a representação numérica de uma relação entre dois elementos que possuem o mesmo pai. O grupo de todos esses julgamentos pode ser representado numa matriz quadrada, na qual os elementos são comparados com eles mesmos. Cada julgamento representa a dominância de um elemento da coluna à esquerda sobre um elemento na linha do topo.

A escala proposta por Saaty (1991), conforme a Tabela 1, vai de 1 a 9, com 1 representando a indiferença de importância de um critério em relação ao outro, e 9 expressando a extrema importância de um critério sobre outro. Ademais, desprezando “as comparações entre os próprios critérios, que representam 1 na escala, apenas metade das comparações precisa ser feita, porque a outra metade constitui-se das comparações recíprocas na matriz de comparações, que são os valores recíprocos já comparados”. (SILVA, 2007, p.43).

Tabela 1 - Escala de valores AHP para comparação pareada

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada - Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema - A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Saaty, 1991.

Segundo Júnior e Rodrigues (2012, p.9), os pesos são atribuídos aos critérios, de acordo com sua importância relativa. As alternativas são avaliadas com base nesta importância relativa, por meio de comparações paritárias, usando a escala de Saaty de números absolutos onde se atribui valores numéricos tanto quantitativos como qualitativos aos julgamentos.

O julgamento retrata as respostas de duas questões: qual dos dois elementos é mais importante em relação a um critério de nível superior, e com que intensidade, utilizando a escala de 1-9. Neste contexto, Silva (2007) chama atenção para o fato de que o elemento mais significativo da comparação é permanentemente utilizado como um valor inteiro da escala, e o menos relevante, como o inverso dessa unidade. Em suas palavras:

Se o elemento linha é menos importante do que o elemento-coluna da matriz, entramos com o valor recíproco na posição correspondente da matriz. Devido à relação de reciprocidade e à necessidade de consistência entre duas atividades ou critérios, os recíprocos dos valores acima de zero são inseridos na matriz criada quando uma comparação entre duas atividades já foi realizada. O processo é robusto, porque diferenças sutis em uma hierarquia na prática não se tornam decisivas (SILVA, 2007, p.43-44).

O AHP converte os julgamentos em valores numéricos que podem ser processados e comparados sobre toda a extensão do problema. Um peso numérico, ou prioridade, é derivado para cada elemento da hierarquia, permitindo que elementos distintos e frequentemente incomensuráveis sejam comparados entre si (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012).

As comparações entre os atributos e as alternativas são registradas em matrizes na forma de frações entre 1/9 e 9. Cada matriz é avaliada pelo seu autovalor para verificar a

coerência dos julgamentos. Este procedimento gera uma "razão de coerência" que será igual a 1 se todos os julgamentos forem coerentes entre si (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012, p.9-10).

A seguir apresenta-se (Fórmula 1) um exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP.

Fórmula 1 - Matriz Recíproca

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

Fonte: Silva, 2007.

Percebe-se que a diagonal da matriz é toda unitária, afinal cada elemento comparado a ele próprio é igual à unidade (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012). Para preencher os outros elementos da matriz fora da diagonal, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a Tabela 1. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos dos da parte superior direita da mesma (SILVA, 2007, p.44).

Chan (2004, p.440-441 *apud* SILVA, 2007, p.45) resume os passos recomendados para aplicação do AHP:

(1) Definir o problema e o que se procura saber. Expor as suposições refletidas na definição do problema, identificar partes envolvidas, checar como estas definem o problema e suas formas de participação no AHP.

(2) Decompor o problema desestruturado em hierarquias sistemáticas, do topo (objetivo geral) para o último nível (fatores mais específicos, usualmente as alternativas). Caminhando do topo para a extremidade, a estrutura do AHP contém objetivos, critérios (parâmetros de avaliação) e classificação de alternativas (medição da adequação da solução para o critério). Cada nó é dividido em níveis apropriados de detalhes. Quanto mais critérios, menos importante cada critério individual se torna, e a compensação é feita pela atribuição de pesos para cada critério. É importante certificar-se de que os níveis estejam consistentes internamente e completos, e que as relações entre os níveis estejam claras.

(3) Construir uma matriz de comparação paritária entre os elementos do nível inferior e os do nível imediatamente acima. Em hierarquias simples, cada elemento de nível inferior afeta todos os elementos do nível superior. Em outras hierarquias, elementos de nível inferior afetam somente alguns elementos do nível superior, requerendo a construção de matrizes únicas.

(4) Fazer os julgamentos para completar as matrizes. Para isso, são necessários $n(n - 1) / 2$ julgamentos para uma matriz $n \times n$, sendo n o número de linhas e colunas. O analista julga se A domina o elemento B. Se afirmativo, inserir o número na célula da linha de A com a coluna de B. A posição coluna A com linha B terá o valor recíproco. Assim prossegue-se o preenchimento da matriz. Os valores inseridos são aqueles da escala de comparação, mostrados na Tabela 1.

(5) Calcular o índice de consistência (IC). A consistência da matriz de ponderação é analisada a partir do índice de consistência (Fórmula 2). O autovalor máximo deve ser o mais próximo de n , que é a ordem da matriz e é dado pela soma dos produtos do total da matriz de ponderação pelos pesos de cada fator avaliado (EFFGEN; MARCHIORO, 2017).

Fórmula 2 - Cálculo do Índice de Consistência

$$I.C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Onde: λ_{\max} = autovalor máximo; n = ordem da matriz (ou número de fatores).

Conforme Saaty (1991), para obter-se a consistência de uma matriz positiva recíproca (matriz criada no Passo 4), seu autovalor máximo deveria ser igual a n (dimensão da matriz). No caso de uma matriz consistente, precisa-se de $n - 1$ comparações paritárias já que, a partir dessas, as outras podem ser deduzidas logicamente (SILVA, 2007, p.45-46).

O autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. O método AHP busca o autovalor máximo, λ_{\max} , que pode ser calculado pela multiplicação da matriz de julgamentos A (Passo 4) pelo vetor coluna de prioridades computado w , seguido da divisão desse novo vetor encontrado, Aw , pelo primeiro vetor w , chegando-se ao valor de λ_{\max} . (SILVA, 2007, p.46).

Vale lembrar que $Aw = \lambda w$ e, que no método da análise hierárquica, $Aw = \lambda_{\max} w$. Para o cálculo de λ_{\max} , utiliza-se a fórmula abaixo (SILVA, 2007, p.46):

Fórmula 3 - Cálculo do λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \text{média do vetor} = \frac{Aw}{w}$$

Onde: Aw é a matriz resultante do produto de comparação pareada pela matriz dos pesos a serem processados (w).

Se o índice de consistência for menor do que 0,1, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Se for maior do que 0,1 recomenda-se que julgamentos sejam refeitos até que a consistência aumente (SILVA, 2007).

Após o cálculo dos pesos de cada fator é necessária a avaliação de sua aceitabilidade ou Razão de Consistência (RC), que varia com o tamanho n da amostra. De acordo com Saaty (1980) deve apresentar valor menor que 0,10, (<10%) (SILVA, 2007; JÚNIOR; RODRIGUES, 2012). O cálculo da RC é obtido por (Fórmula 4):

Fórmula 4 - Cálculo da Razão de Consistência

$$\text{Razão de Consistência} = \text{IC} / \text{IR}$$

Conforme Júnior e Rodrigues (2012), o Índice Randômico (IR) deriva-se de uma amostra de 500 matrizes recíprocas geradas de forma randômica. O IR utiliza uma escala de 9 pontos e é extraído da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem n estabelecida pelo *Oak Ridge National Laboratory*, EUA, conforme orientado por Saaty (1980) (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Fonte: Adaptado de Saaty, 1980.

(6) Analisar as matrizes para estabelecer as prioridades locais e globais, comparar as alternativas e selecionar a melhor opção (SILVA, 2007, p.47).

É importante esclarecer e também distinguir sobre o que vem a ser o modo distributivo e o modo ideal no método AHP. Desta forma,

Saaty (1994) mostra que há dois meios de sintetizar as prioridades locais das alternativas, usando prioridades globais dos critérios pai: o modo distributivo e o modo ideal. No distributivo, os pesos das alternativas somam 1. É adotado quando há dependência entre as alternativas e uma prioridade unitária é distribuída entre elas, ou seja, quando o objetivo é escolher uma alternativa que é melhor em relação a outras (SILVA, 2007, p.47).

Conforme Grandzol (2005), o modo distributivo é conveniente para alocação proporcional de um benefício. “Traduzindo numericamente o exemplo do autor, três alternativas com relação de dependência A, B e C teriam prioridades como $A=0.2$, $B=0.5$ e $C=0.3$, que totalizam 1.0”. (SILVA, 2007, p.47).

O modo ideal, por sua vez, é usado para adquirir a melhor alternativa entre alternativas diferentes e sem relação de dependência. Nesse modo, as prioridades locais das alternativas são divididas pelo maior valor entre elas. Isso é feito para cada critério, e a alternativa torna-se ideal de valor 1. “Se as alternativas são suficientemente distintas, sem dependência nas definições, o modo ideal seria o meio de síntese. No exemplo citado de A, B e C, B seria a alternativa ideal com prioridade 1.0 (= 0.5/0.5), C teria prioridade 0.6 (= 0.3/0.5) e A teria 0.4 (= 0.2/0.5)”. (SILVA, 2007, p.47).

Com a teoria elucidada nesta seção, nota-se que o AHP atende a esses critérios de processo de tomada de decisão. O AHP fragmenta um problema em subproblemas e em seguida agrega as soluções dos subproblemas em uma solução geral. Facilita a tomada de decisão ao organizar percepções, sentimentos, julgamentos e memórias em uma estrutura que exhibe as forças influentes na decisão e que gera um resultado numérico e conclusivo (SILVA, 2007).

Entende-se que para cada componente (solo, relevo, geologia, uso e cobertura) que compõe e influencia a dinâmica da paisagem da bacia do rio Preto há uma importância relativa para o processo de vulnerabilidade ambiental a erosão linear, e com a aplicação do método AHP obtém-se o peso de cada elemento com o intuito de corroborar para alcançar o objetivo principal.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção descreve-se os vários métodos utilizados que subsidiaram o alcance dos objetivos desta pesquisa. Dentre eles, o método de interpretação estruturalista; as pesquisas bibliográficas; as diversas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para produção de mapas temáticos, a saber: pedologia, geologia, declividade, hipsometria, geomorfologia, uso e cobertura da terra, precipitação acumulada anual; cálculo de parâmetros morfométricos; aplicação do método AHP consubstanciado ao método de Crepani *et al.* (2001) para produção do mapa de vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo; identificação das unidades de planejamento e gestão da bacia recorrendo-se ao método de Otto Pfafstetter e por fim a realização do trabalho de campo.

3.1 Método de Interpretação

A escolha do método surge como primeiro pressuposto na construção de um trabalho científico, pois fornece uma série de balizamentos iniciais. É com base nesta assertiva que se destaca, conforme Moraes e Costa (1984), a diferença entre método de interpretação e método de pesquisa, cuja não distinção é uma fonte de equívocos.

O método de interpretação diz respeito à concepção de mundo do pesquisador, sua visão da realidade, da ciência, do movimento etc. É a sistematização das formas de ver o real, a representação lógica e racional do entendimento que se tem do mundo e da vida. O método de interpretação refere-se, assim, a posturas filosóficas, ao posicionamento quanto as questões da lógica, da ideologia e da posição política do cientista. Esse método é uma concepção de mundo normatizada e orientada para a condução da pesquisa científica; é a aplicação de um sistema filosófico ao trabalho científico (MORAES; COSTA, 1984).

O método de pesquisa refere-se ao conjunto de técnicas utilizadas em determinado estudo. Relaciona-se, assim, mais aos problemas operacionais da pesquisa que a seus fundamentos filosóficos. Pode-se dizer que a utilização de um método de pesquisa não implica diretamente posicionamentos políticos ou concepções existenciais do pesquisador, resultando muito mais das demandas do objeto tratado e dos recursos técnicos de que dispõe (MORAES; COSTA, 1984).

Com base no exposto, a seguir é apresentado alguns aspectos do método de interpretação do tipo estruturalista e sua forma de abordagem, a qual o presente trabalho se baseia para interpretar a realidade da área de estudo, já em relação ao método de pesquisa que põe em destaque o conjunto de técnicas utilizadas, ele se encontra descrito nas seções 3.2 a 3.9.

O método estruturalista relaciona-se a noção de estrutura, entendida como conjunto de elementos que mantêm relações entre si, estando envolvida pela concepção de totalidade, sendo que a mudança na ordem de um elemento ou na relação que possui dentro de um sistema implica na modificação da estrutura como um todo. Cumpre explicar que estas mesmas relações (sociais) constituem a matéria prima empregada para a construção dos modelos que permitem a própria estrutura manifestar-se (LIMA; SOUZA-HIGA, 2011).

Lepargneur (1972, p.122 *apud* LIMA; SOUZA-HIGA, 2011, p.7) em uma análise acurada, apresenta a lógica e o funcionamento do método estruturalista:

O estruturalismo é uma elaboração racional que possibilita a dedução a partir da construção de um modelo. As deduções são susceptíveis de confrontação com o real que lhes pode oferecer seja uma ratificação (nunca definitiva e absoluta), seja uma anulação que tendência a irrelevância do modelo. Trata-se, nesta última hipótese, de modificar o modelo para ajustá-lo melhor aos dados da experiência ou da observação. A noção de estrutura torna-se operativa e eficaz. A descrição estrutural opõe-se a descrição fenomenal, como a essência à aparência. Além disso, sendo uma teoria explicativa, permite justificar fatos aparentemente inexplicáveis e demonstrar sua coerência. Permite ainda, sendo um sistema hipotético-dedutivo verificável, deduzir o conjunto dos elementos que definem a descrição fenomenal do objeto.

O estruturalismo anuncia a existência de leis e modelos que regem a sociedade, cuja tendência é o equilíbrio e o progresso. Rejeita as ideias de movimento e de dialética, o que de fato importaria não era a causa ou essência das coisas, mas as suas relações. Essa escola evidencia a razão e vê a evolução sem defender rigorosamente um ápice, mas o caminho a ser percorrido através do conhecimento acerca das funções das estruturas (LIMA; SOUZA-HIGA, 2011).

O método estruturalista, prima por contemplar a relação entre processos universais e particulares pautada pela objetividade, privilegiando elementos que constituem a essência irreduzível capaz de ser encontrada em todas as partes componentes de um todo social, entendido como um sistema integrado. Cada parte deste sistema é compreendida por suas relações com outras partes e, tais relações compõem o que se denomina estrutura (BATISTA, 2015, p.66).

O método de análise consiste em construir modelos explicativos da realidade, ou seja, a estrutura. Por estrutura entende-se um sistema abstrato em que seus elementos são independentes, que permite observando os fatos descrever suas diferenças para ordená-los. No estruturalismo não existe fato isolado, mas partes que formam um todo social. Nessa direção, os fatos podem ser explicados por conta da existência de uma estrutura que é subjacente, pois possuem uma relação interna de tal forma que não podem ser entendidos isoladamente, mas apenas em relação aos seus pares antagônicos (BATISTA, 2015, p.66).

O método estruturalista influenciou e sofreu influência do estudo de vários intelectuais e pode ser utilizado nas mais diversas áreas do saber, como a linguística a exemplo do trabalho desenvolvido por Ferdinand de Saussure⁵ (1857-1913); na etnologia e antropologia de Claude Lévi-Strauss (1908-2009); na psicanálise de Jacques Lacan (1901-1981), etc. Na Geografia, um exemplo do uso do método estruturalista foi realizado no trabalho de Lima e Souza-Higa (2011), que tem por título: A Geografia Regional sob o enfoque do Método Estruturalista: Analisando a Região do Pantanal Mato-Grossense, Brasil.

⁵ É considerado o precursor do uso do método estruturalista.

Lima e Souza-Higa (2011) concluem em seu trabalho que a concepção estruturalista, apresenta-se útil e adequada para elaboração de trabalhos científicos, quando se preocupa em entender o objeto a partir de uma visão de totalidade, dentro de um sistema em funcionamento pelas estruturas sociais, que *a priori* tendem a coesão e a coerência. Em suma, o método estruturalista permite uma análise que considera a dinâmica social, os seus múltiplos sistemas e as diversas relações estabelecidas (econômicas, políticas, culturais, ambientais, etc.).

Uma estrutura é um sistema relacional ou um conjunto de sistemas relacionais, tais como as relações de parentesco, os códigos de etiqueta, etc. Uma estrutura é um todo formado de fenômenos solidários. Cada um dos seus elementos depende dos outros e é determinado por sua relação com eles. A alteração, acréscimo ou supressão de um elemento implica acomodação e reajuste na posição dos demais (THIRY-CHERQUES, 2006).

O estruturalismo trata os objetos enquanto posições em sistemas estruturados. Sistema, estrutura e modelo são termos que se confundem. Nesta direção, um sistema é um conjunto de entidades mutuamente interrelacionadas e interdependentes, operando juntas em um nível determinado de organização. Aplica-se o termo sistema para designar o conjunto concreto de elementos harmonicamente funcionais. Já uma estrutura é um conjunto de relações. Não tem o atributo da funcionalidade. Um sistema funciona. Uma estrutura é. As relações estruturais podem ser abstratas, se e quando puramente lógicas, ou podem ser relações concretas, se e quando incorporadas a um sistema (THIRY-CHERQUES, 2006).

O que sustentam os estruturalistas é que a abordagem metodológica que aplicam é adequada a determinados objetos, ao desvelamento de estruturas não aparentes, ocultas sob o que é manifesto e intencional. Não interessa, por exemplo, ao estruturalismo estruturas organizacionais expressas nos organogramas, mas o que subjaz, como inerente à razão humana, sob estas estruturas (THIRY-CHERQUES, 2006).

Segundo Thiry-Cherques (2006, p.143), “O estruturalismo aceita que existam causas, relações causais e mudanças, até mesmo de caráter histórico (relações diacrônicas), mas não crê que tais relações sejam determinantes na compreensão do mundo que nos cerca”.

O estruturalismo substitui a ênfase atomista dos fenômenos como entidades unívocas e mutuamente independentes pela elaboração de modelos de ordem geral que enfatizam as relações entre os fenômenos. Com isto tira o foco da investigação de qualquer elemento particular. Até mesmo tira o foco do sujeito e das questões a ele relacionadas, como a

subjetividade, a liberdade individual, para enfatizar a condição humana, seus limites e restrições inconscientes e os padrões que a conformam (THIRY-CHERQUES, 2006, p.143).

O estruturalismo examina a estrutura em um momento determinado. Distingue a sincronia – o estado do campo de estudo como sistema de elementos – da diacronia – a sucessão dos estados sincrônicos. A análise sincrônica é a análise de um estado. A análise diacrônica é a análise no tempo de elementos concretos (não história); de estruturas que se sucedem. O estruturalismo se atém às estruturas sincrônicas, aos modelos de vida social que se explicam como invariantes no tempo e no espaço (THIRY-CHERQUES, 2006).

As estruturas são não-causais. Não revelam a origem dos elementos nem o modo como operam, mas as condições, as formas de relações, que se definem por sua sintaxe, isto é, pelas leis de concordância, de subordinação e de ordem a que estão sujeitos os elementos. A prova do modelo é a sua eficácia explicativa (THIRY-CHERQUES, 2006).

As estruturas são modelos de explicação (formas ontológicas). A propriedade que caracteriza uma estrutura não é inferida da abstração a partir dos objetos, mas da abstração reflexiva, como a do pensamento lógico-matemático. É próprio da abstração reflexiva ser tirada não dos objetos, mas das ações que se podem fazer sobre eles, tais como reunir, ordenar, corresponder. São operações de composição, de caráter dedutivo (construção apriorística) e não de indução (análise regressiva). Há estrutura quando os elementos estão reunidos em uma totalidade, apresentando algumas propriedades como totalidade e quando as propriedades dos elementos dependem, total ou parcialmente, dessas características de totalidade (THIRY-CHERQUES, 2006, p.144).

Para Lévi-Strauss (1958, p.28 *apud* THIRY-CHERQUES, 2006, p.144) “O estruturalismo considera a existência de estruturas superficiais (as que detectamos diretamente por observação) e estruturas profundas (as estruturas lógicas, que subjazem sob o aparente e o imediato). As últimas se reportam às primeiras”.

O objeto do estruturalismo é o conjunto das relações interdependentes de fenômenos determinados. O referente da estrutura é o observado, o real concreto. O que não significa que a estrutura seja uma representação (uma figuração) da realidade. Significa, ao contrário, que uma estrutura bem construída representa logicamente as relações possíveis entre os elementos de um domínio psicossocial particular (THIRY-CHERQUES, 2006, p.145).

O estudo das estruturas consiste em descrever um sistema relacional que possa ser identificado a partir de um ponto nodal que declare o significado do que subsiste para além do

diretamente manifesto e o torne inteligível. Isto é feito mediante observação, decomposição em tipos de elementos, conceitualização dos elementos e relações, elaboração de um modelo genérico explicativo e de uma interpretação, que oferece a descrição da estrutura e das perspectivas explicativas e antecipatórias que encerra (THIRY-CHERQUES, 2006, p.147).

Ao proceder à observação deve-se ter consciência que a origem da estrutura não é o real, mas o espírito humano. A intenção última não é descrever o observado, mas a de encontrar o sentido próprio que está por trás das metáforas de elaboração (THIRY-CHERQUES, 2006).

Conforme Thiry-Cherques (2006, p.148), “Ao cabo do processo observacional, tem-se conjuntos de elementos factuais que se relacionam para produzir um determinado efeito ou situação. Estes elementos formam estruturas aparentes, das quais vamos buscar o fundamento, a estrutura subjacente”.

Para isto, é necessário descodificar os seus elementos constituintes. Inicialmente os elementos devem ser definidos independentemente da sua articulação na estrutura. Deve-se pensar o elemento de forma isolada, como conceito, o que não quer dizer que o elemento deva, necessariamente, existir isoladamente (THIRY-CHERQUES, 2006).

Elencados os elementos, conclui-se o passo de decomposição pela crítica dos resultados obtidos. Os elementos devem satisfazer as condições de serem: i) distintos, isto é, separáveis uns dos outros; ii) enumeráveis; iii) definíveis e, iv) claramente constantes ou claramente variáveis (THIRY-CHERQUES, 2006, p.148).

Para que os elementos unidos por relações possam ser considerados estruturas, devem ser formalmente passíveis de substituição por signos, de modo que possa-se aplicar-lhes raciocínios lógico-matemáticos. Os signos (termos, símbolos, representações) são conceitos científica e rigorosamente determinados (THIRY-CHERQUES, 2006, p.148).

Uma estrutura é sempre a teoria de um sistema de aparências. Estuda a relação entre termos em seu caráter expositivo e diferencial. Por este motivo, a estrutura não pode ser apreendida diretamente na realidade concreta. É necessário estabelecer modelos teóricos que dêem conta dela (THIRY-CHERQUES, 2006, p.149).

Modelo é uma teoria específica sobre o comportamento de elementos de uma determinada classe. Por exemplo, enuncia a maneira em que os componentes de uma estrutura concreta se mantêm unidos. Os modelos no estruturalismo, são construídos a partir de elementos observacionais, numéricos ou não. Servem para construir uma teoria das relações entre esses elementos: a estrutura (THIRY-CHERQUES, 2006).

A interpretação estrutural parte dos modelos descritivos. Tais modelos podem ser mecânicos (relações simples) ou estatísticos. A análise estrutural consiste em: i) proceder a experimentações com os modelos, isto é, em realizar procedimentos que permitam saber como um modelo dado reage a modificações e, ii) a efetuar comparações entre modelos de mesmo tipo e de tipos diferentes. Com isto o modelo inconsciente, a estrutura, é construído racionalmente a partir da observação empírica. O caminho dessa construção consistindo em observar, extrair os elementos e as relações isoláveis e modelizar, isto é, em expor a estrutura sob a configuração de um esquema formal (simbólico) (VIET, 1973, p.90 *apud* THIRY-CHERQUES, 2006, p.150).

A estrutura tanto se fundamenta nas relações sociais como as revela. Ela é um instrumento de explicação. Como tal, não considera a gênese das relações sociais e as vivências (a continuidade entre o vivido e o real da fenomenologia), mas o que ocorre efetivamente (o real) passível de descrição lógico-matemática (THIRY-CHERQUES, 2006).

Ter sentido quer dizer ter um significado lógico determinado. O que torna a estrutura significativa é a forma como os seus elementos se relacionam, como a interdependência se manifesta. O sentido da estrutura é obtido atribuindo-se uma interpretação específica ao conjunto de elementos (referindo-os a algo) e à ordenação (enunciando a forma em que as relações constantes se dão). A estrutura é válida quando satisfaz a condição de explicar não só o observado, mas o observável. As estruturas identificadas e descritas devem ser capazes de autorizar o lançamento de novas hipóteses e de previsões (THIRY-CHERQUES, 2006, p.152).

Com base no que foi discorrido, entende-se, na perspectiva estruturalista, que a bacia do rio Preto pode ser abordada enquanto uma estrutura (sistema relacional) onde os elementos formados pelos solos, estrutura geológica, relevo, chuva e o uso e cobertura da terra se inter-relacionam e sofrem influências mútuas. Assim, é construído o modelo levando em consideração os elementos mencionados com foco na explicação da realidade, ou seja, a estrutura.

Salienta-se que é considerado na aplicação desse método a dinâmica social e as relações (ambiental, econômica, cultural, etc.) que ela estabelece na bacia do rio Preto. Deste modo, o elemento que representa o social diz respeito ao uso da terra. Nesta direção, o intuito compreende analisar a estrutura profunda que subjaz o aparente e o imediato, visando buscar o fundamento, a essência da estrutura.

3.2 Método de pesquisa

Para que os objetivos propostos para esse estudo fossem alcançados, iniciou-se o desenvolvimento do trabalho com a pesquisa bibliográfica e eletrônica sobre a temática da vulnerabilidade, paisagem, geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade,

realizando-se para esse fim, pesquisas em artigos científicos, trabalhos completos publicados em anais de eventos, livros, manuais técnicos, apostilas, teses, dissertações e monografias.

Além da pesquisa bibliográfica e eletrônica também procedeu-se a pesquisa documental. Nessa perspectiva, obteve-se as informações junto a legislação extraída de diário oficial e de órgãos federais e estaduais como o IBGE, INPE, SEMA-MA, ZEE-MA, MMA, dentre outros.

3.3 Mapeamento dos aspectos fisiográficos

a) Unidades Geológicas

Para a produção do mapa geológico recorreu-se a uma das bases de dados vetoriais da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), disponíveis no sitio GeoSGB (<http://geosgb.cprm.gov.br/>) (CPRM, 2012). Após a obtenção do vetor, possuindo o Datum SIRGAS 2000, código *European Petroleum Survey Group* (EPSG) 4674, escala de 1:750.000 por meio de *download*, o mesmo foi importado para o Quantum GIS 2.18.28 para efetuar as seguintes operações: reprojeção para SIRGAS 2000 zona 23S, projeção Universal Transversa de Mercator e corte tendo como camada mascara o limite da bacia.

b) Classes de Solos

Na elaboração do mapa pedológico utilizou-se a base de dados vetoriais em escala de 1:1.000.000 do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC, 2013). Esse vetor (WGS 84, EPSG: 4326) passou pelas mesmas operações que foram feitas para o mapa geológico. As informações relativas aos solos do Maranhão contidas no dado do IMESC (2013) são apresentadas até o 2º nível categórico (subordens), em consequência a legenda do mapa de solos foi adaptada acrescentando-se a nomenclatura das classes do 3º nível categórico (grandes grupos), segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

c) Unidades Geomorfológicas

O mapa de unidades geomorfológicas foi produzido a partir dos dados vetoriais do IBGE (2019), disponíveis no sitio do Banco de Dados de Informações Ambientais - BDIA

(<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>), compatíveis com a escala 1:250.000. Este dado (SIRGAS 2000, EPSG 4674), foi reprojetoado e cortado para o limite da bacia. A legenda do mapa foi modificada após o processamento, denominando a unidade “Tabuleiros Sub-Litorâneos” como “Tabuleiros de Chapadinha” e “Tabuleiros de Barreirinhas” como “Lençóis Maranhenses”, ambas em consonância com a CPRM (2012) e o IMESC (2013).

d) Hipsometria

Em relação às cotas de elevação do relevo da BHRP utilizou-se dados de altimetria do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2011), disponíveis no site: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Estes dados são do tipo Modelo Digital de Elevação (MDE⁶) e correspondem às folhas: 03S45_ZN e 03S435_ZN. Realizou-se o *download* das cenas e em seguida a importação desses dados para o QGIS.

No SIG realizaram-se os processamentos de mosaicagem dos dados e reprojeção. Já para a espacialização das cotas altimétricas utilizou-se o algoritmo *r.recode*⁷ do GRASS GIS 7 (Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos). Este algoritmo permite a conversão da representação *raster* contínua do MDE para representação discreta (ou categórica), isto é, reclassificar os dados para agrupar os intervalos de altitude. Para as cotas de elevação, estabeleceu-se intervalos iguais de agrupamento em 15 metros para a sua representação.

Para a realização da reclassificação foi produzido um documento do tipo texto (extensão .txt) contendo os valores dos intervalos das cotas de altitude e as regras para a reclassificação, para este fim, recorreu-se ao bloco de notas do Windows 10. A Tabela 3 mostra os intervalos e as regras ao qual o algoritmo *r.recode* realiza a leitura para o processamento de recodificação.

Na Tabela 3 os valores numéricos do MDE compreendidos entre 15-30 são agrupados e transformados no valor 1, no intervalo numérico de 30-45 são classificados como

⁶ É uma representação digital de uma seção da superfície, dada por uma matriz de *pixels* com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do *pixel*, correspondente à elevação (LUIZ; SANTOS; BRENNER, 2007, p.582).

⁷ *r.recode* cria um mapa raster de saída, recodificando o mapa rasterizado de entrada com base nas regras de recode. Disponível em: <https://grass.osgeo.org/grass76/manuals/r.recode.html>. Acesso em: 5 fev. 2019.

2, no intervalo de 45-60 segue a mesma lógica das anteriores e assim, sucessivamente, até o intervalo que compreende a cota máxima da elevação.

Tabela 3 – Regras para reclassificação das altitudes

Regras de recodificação
15:30:1
30.000001:45:2
45.000001:60:3
60.000001:75:4
75.000001:90:5
90.000001:105:6
105.000001:120:7
120.000001:*:8

Org.: Soares, 2019.

Depois da criação do documento de texto contendo as regras, executou-se o processamento do *r.recode*. Nesta fase inseriu-se na cama de entrada do algoritmo o MDE, e em seguida a inserção do arquivo contendo as regras de recodificação, e por fim a execução do processo obtendo após esta etapa o *raster* com as altitudes reclassificadas. Seguidamente procedeu-se o corte do *raster* reclassificado tendo como camada máscara o limite da bacia.

Além da produção do mapa hipsométrico da bacia também realizou-se o cálculo de alguns parâmetros morfométricos relacionados a altitude, dentre eles: altitude média, amplitude altimétrica, área relativa, altitude média ponderada. Essa abordagem morfométrica é importante, pois tem-se como resultados, informações que são essenciais na caracterização e análise da dinâmica do relevo da bacia.

A altitude média (Hm) é a média aritmética entre os valores de maior altitude (AM) observada na cabeceira e a menor altitude (Am) na foz da bacia do rio Preto em (m), conforme a expressão (PADILHA; SOUZA, 2017): $Hm = (AM + Am) / 2$.

Onde: Hm = altitude média; AM = maior altitude; Am = menor altitude.

A amplitude altimétrica (H) é a diferença entre a maior e a menor altitude da área da bacia e expressa em metros, conforme a expressão (PADILHA; SOUZA, 2017): $H = AM - Am$, onde: H = amplitude altimétrica; AM = maior altitude; Am = menor altitude.

Em se tratando da altitude média ponderada da BHRP realizou-se as operações matemáticas que serão descritas a seguir:

Primeiramente, identificou-se a altitude média de todos os intervalos hipsométricos da bacia. Conforme o exemplo: no intervalo de 15-30 m a altitude média é

obtida com a expressão $(AM + Am) / 2$. Esta operação foi realizada até o último intervalo de altitude (120-135 m).

A segunda etapa diz respeito a identificação da área relativa para obtê-la foi necessário ter a área de cada intervalo de altitude. Para o cômputo da área (km²) das classes hipsométricas recorreu-se ao algoritmo *r.report*⁸ do GRASS GIS 7. Após a obtenção das áreas de todos os intervalos de elevação aplicou-se, para encontrar a área relativa (km²) de cada intervalo, a seguinte operação:

$Ar = Ac/5.235,63$, onde: Ar = área relativa; Ac = área da classe (km²); 5.235,63 = área total da bacia (km²).

A terceira e última etapa consiste em obter a média ponderada de cada intervalo de classe. Ela foi obtida conforme a expressão: $Mp = Ar * Hm$, onde: Mp = média ponderada; Ar = área relativa; Hm = altitude média.

Após encontrar a média ponderada de cada intervalo de elevação realizou-se a somatória de todas as médias ponderadas, obtendo enquanto resultado a altitude média ponderada da bacia.

Outro recurso utilizado para obter informações sobre o relevo diz respeito a produção do perfil altimétrico. Para confeccionar o perfil utilizou-se o ArcGIS versão 10.5. Neste SIG realizou-se a importação do MDE e em seguida usou-se a ferramenta interpolar linhas que pertence ao conjunto de ferramentas analíticas do *3D Analyst* (Analista 3D). Produziu-se o transecto do perfil de elevação tendo como ponto inicial a foz do rio, percorrendo toda sua trajetória e culminando em sua nascente.

e) Declividade

Para elaboração do mapa de declividade utilizou-se o algoritmo *slope* (declividade) pertencente ao GDAL (Biblioteca de Abstração de dados Geoespaciais). Na execução do algoritmo procedeu-se a inserção do mosaico MDE na camada de entrada e marcação do indicador de declividade expressa em porcentagem. Após a realização desta etapa, procedeu-se a reclassificação da declividade, seguindo a orientação de classificação da EMBRAPA (1979). Conforme a proposta a declividade é dividida em seis classes, que possuem entre si distintos intervalos (Tabela 4).

⁸ Gera relatórios de estatísticas de área para *rasters*.

Tabela 4 - Classes de declividade

Formas de Relevo	Declividade (%)
Plano	0-3
Suave-Ondulado	3-8
Ondulado	8-20
Forte-Ondulado	20-45
Montanhoso	45-75
Forte-Montanhoso	>75

Fonte: EMBRAPA, 1979.

Para a reclassificação empregou-se o algoritmo *r.reclass*⁹ do GRASS GIS 7, nesta fase inseriu-se na camada de entrada do algoritmo a declividade obtida na fase anterior e em seguida anexou-se um arquivo do tipo texto (extensão .txt) contendo as regras de reclassificação (Tabela 5). As regras apresentadas na tabela estão formatadas de modo específico para a leitura pelo *r.reclass*. Lê-se da seguinte forma: os valores de 0-3 são classificados como 1, no intervalo de 3-8 são classificados como 2 e assim sucessivamente. Neste procedimento realiza-se o agrupamento dos *pixels* com os intervalos de declividade mostrados na tabela. É importante destacar que as duas colunas restantes na tabela são apenas informativas, ou seja, não aparece essas informações no *raster* reclassificado.

Tabela 5 – Regras para reclassificação dos intervalos de declividade

Regras de Reclassificação	Formas de Relevo	Declividade (%)
0.0000 thru 3.0000 = 1	Plano	0-3
3.0001 thru 8.0000 = 2	Suave-Ondulado	3-8
8.0001 thru 20.0000 = 3	Ondulado	8-20
20.0001 thru 45.0000 = 4	Forte-Ondulado	20-45
45.0001 thru 75.0000 = 5	Montanhoso	45-75
75.0001 thru 2000.0000 = 6	Forte-Montanhoso	>75

Org.: Soares, 2019.

Logo após os procedimentos realizados com os recursos do *r.reclass*, procedeu-se a operação de corte da declividade tendo como camada máscara o limite da área de pesquisa. Da mesma forma que realizou-se o cômputo das áreas dos intervalos altimétricos através do *r.report* também aplicou-se o uso dele para a mensuração das áreas (km²) dos intervalos de declividade e também sucedeu-se o cálculo dos parâmetros morfométricos: declividade média, área relativa e média ponderada.

⁹ Reclassifica o mapa de *raster* com base nos valores da categoria. Cria um novo mapa de varredura cujos valores de categoria são baseados em uma reclassificação das categorias em um mapa de varredura existente. Disponível em: <https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/r.reclass.html>. Acesso em: 11 fev. 2019.

f) Clima

Em relação ao clima foi obtida a Normal Climatológica (1981-2010), de Precipitação Acumulada Mensal e Anual, para as estações localizadas no entorno da bacia, a saber: São Luís, Chapadinha, Caxias, Teresina, Esperantina, Piripiri e Parnaíba. Os dados em formato de planilha do Microsoft Excel (.xlsx), com os totais de precipitação foram adquiridos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), assim como o arquivo com as coordenadas das estações.

O arquivo contendo as coordenadas das estações foi salvo no formato CSV (separado por vírgulas) e em seguida importado para o QGIS por intermédio da ferramenta adicionar uma camada de texto delimitado, gerando uma camada de pontos. Os dados de precipitação acumulada anual foram também importados para o SIG na forma de planilha (CSV separado por vírgulas) e inseridos na tabela de atributos, da camada de pontos, por meio da operação de união. Com o intuito de espacializar a precipitação acumulada anual empregou-se o método de interpolação peso pelo inverso da distância (IDW), gerando uma grade regular de valores de precipitação.

O que vem a ser uma interpolação e a função de um interpolador é apresentado a seguir, conforme Rosa (2011, p.284):

O processo matemático pelo que se estima o valor de uma característica em locais onde essa característica não foi medida chama-se interpolação. Há vários algoritmos matemáticos para realizar cálculos de interpolação. Basicamente, o que um interpolador faz é estimar um valor de uma variável em qualquer ponto da superfície. Um interpolador procura preencher o espaço com valores de uma determinada variável, com base em pontos de amostragem. Quanto mais pontos de amostragem houver, mais precisa será a estimativa calculada pelo interpolador.

Vargas *et al.* (2018, p.40) esclarece que o método IDW

Prediz um valor para algum local não medido utilizando-se os valores amostrados à sua volta, que terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta. Desta forma, a influência de cada ponto é proporcional ao inverso da distância do nó da malha.

3.4 Identificação do uso e cobertura da terra

Quanto ao mapeamento do uso e cobertura da terra, realizou-se, primeiramente, a aquisição de imagens orbitais (EPSG: 32723, WGS 84 / UTM zona 23S) do satélite Landsat-8, sensor *Operational Land Imager* (OLI) de órbitas/ponto: 220/62 e 220/63, datadas de 04/05/2019. Essas imagens foram adquiridas através de *download* junto ao Serviço de Levantamento Geológico Americano (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2019). A Tabela 6 apresenta as características gerais das imagens do satélite utilizado.

Tabela 6 - Características espectrais da imagem Landsat-8

Bandas	Faixa Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Radiométrica (Bits)
Banda 1 – Costeira/ Aerossol	0,43 – 0,45	30	
Banda 2 – Azul	0,45 – 0,51	30	
Banda 3 – Verde	0,53 – 0,59	30	
Banda 4 – Vermelho	0,64 – 0,67	30	
Banda 5 – Infravermelho Próximo	0,85 – 0,88	30	
Banda 6 – Infravermelho Médio	1,57 – 1,65	30	16
Banda 7 – Infravermelho Médio	2,11 – 2,29	30	
Banda 8 – Pancromática	0,50 – 0,68	15	
Banda 9 – Cirrus	1,36 – 1,38	30	
Banda 10 – Infravermelho Termal (TIRS1) 1	10,60 – 11,19	100	
Banda 11 – Infravermelho Termal (TIRS2) 2	11,50 – 12,51	100	

Fonte: Soares, 2018.

Com a aquisição das imagens, efetuou-se, no QGIS, a reprojeção para SIRGAS 2000 / UTM zona 23S. No SIG, as imagens passaram pelo processo de empilhamento das bandas (*Layer Stack*) 6(R), 5(G) e 4(B) através de mosaico, posteriormente, recorreu-se a técnica de fusão de imagem, *Pan Sharpening*, utilizando-se a banda 8, pancromática, com as bandas 6, 5 e 4 que foram empilhadas, preservando-se o conteúdo, cor da imagem composta, utilizando-se para esse processamento o provedor *Orfeo Monteverdi* do QGIS.

Para a fusão de imagem com o *Orfeo Monteverdi* realizou-se as seguintes etapas:

1 - Utilização do algoritmo *Superimpose sensor*, que dimensiona a imagem colorida (composta pelas bandas 6, 5, 4) para a extensão e resolução da banda pancromática;

2 - Utilização do algoritmo de fusão *Pansharpening* (rcs) para mesclar as cenas Pancromática e Multiespectral (imagem que foi processada na etapa anterior).

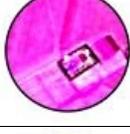
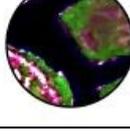
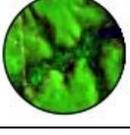
O procedimento, mencionado no parágrafo anterior, tem o intuito de facilitar a interpretação visual da imagem produzida, pois as bandas espectrais 6, 5 e 4 ficaram com uma resolução espacial de 15 m após a técnica de fusão da imagem com a banda pancromática.

A imagem fusionada foi importada para o SPRING 4.3.3 onde efetuou-se o mapeamento do uso e cobertura da terra numa escala de 1:250.000, utilizando-se das técnicas de análise visual de imagens de satélite com base nos elementos de fotointerpretação. De acordo com Florenzano (2002, p.42), [...] “independentemente da resolução e escala, as imagens apresentam os elementos básicos de análise e interpretação, a partir dos quais se extraem informações de objetos, áreas ou fenômenos. Esses elementos são: tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização”.

Além da técnica de interpretação dos elementos da imagem, utilizou-se como parâmetro para o mapeamento, os dados vetoriais de uso e cobertura da terra do ZEE-MA (2013) e Projeto TerraClass Cerrado (2013). Outra base de referência nesta etapa da pesquisa foram os trabalhos que tinham enquanto resultados, mapas de uso e cobertura da terra de municípios que banham a bacia do rio Preto, dentre eles: Silva *et al.* (2009) que realizaram o mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal no município de Brejo; Silva (2016) abordou o uso do solo e cobertura vegetal do município de Anapurus; Marinho *et al.* (2014) a qual estudaram a expansão agrícola e mudança da cobertura vegetal de Mata Roma; e o Atlas mais IDH do IMESC (2016) a qual identificou-se o mapa de uso e cobertura de Belágua e Milagres do Maranhão.

Em ambiente SIG, procedeu-se o uso de técnicas de processamento digital, a saber: realce de imagens por meio de aplicação de contraste lineares no canal RGB das imagens e, por conseguinte a vetorização das classes (Quadro 3) com o uso das ferramentas da edição topológica do SPRING e por conseguinte inserção das classes de uso e cobertura da terra.

Quadro 3 - Classes de uso e cobertura da terra vetorizadas com o uso do SPRING

Classes / Padrão na composição colorida 6(R), 5(G), 4(B)			
Área urbana		Restinga	
Silvicultura		Savana arborizada	
Agricultura		Pastagem	
Corpo de água		Zona ripária	
Floresta estacional semidecidual submontana		Vegetação secundária	

Fonte: USGS, 2019. Elaboração: Soares, 2020.

No final foi gerado o mapa contendo dez classes temáticas, sendo elas: Corpo d'água, Área urbana, Silvicultura, Agricultura, Pastagem, Savana arborizada, Vegetação secundária, Floresta estacional semidecidual submontana, Vegetação ripária e Áreas de formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga), as quais foram classificadas de acordo com o manual técnico de vegetação do IBGE (2012), com a mensuração dos seus respectivos quantitativos de áreas.

3.5 Identificação dos parâmetros morfométricos da bacia

A caracterização morfométrica é um dos mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas e ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas no entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO *et al.*, 2007), pois os aspectos físicos e bióticos da bacia desempenham importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando dentre outros, a evapotranspiração, a infiltração e quantidade de água produzida como deflúvio e os escoamentos superficial/subsuperficial.

Tendo em vista compreender a dinâmica da bacia do rio Preto com o objetivo de fornecer subsídios para o estudo da vulnerabilidade ambiental, realizou-se o cálculo dos parâmetros morfométricos (Coeficiente de Compacidade; Fator de Forma; Densidade de Drenagem; Índice de Circularidade; Índice de Rugosidade; Coeficiente de Manutenção; Tempo de Concentração) da bacia com o uso da calculadora de campo do QGIS.

a) Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade (K_c) é um índice que relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia com uma circunferência de área igual ao da bacia hidrográfica. O K_c foi determinado pela seguinte equação (RIBEIRO; PEREIRA, 2013): $K_c = 0,28 \times P/\sqrt{A}$.

Sendo: K_c = coeficiente de compacidade; P = perímetro (km); A = área de drenagem (km²).

b) Fator de Forma

O fator de forma (K_f) relaciona a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais distante do divisor de água) (TRAJANO *et al.*, 2012). Para determinar o fator de forma foi utilizada a equação: $K_f = A/C^2$.

Onde: K_f = fator de forma; A = área de drenagem (km²); C = comprimento do eixo da bacia (km).

c) Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem (D_d) é o resultado da divisão entre o comprimento total dos cursos d'água pela área da bacia. O fator D_d indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica (TRAJANO *et al.*, 2012). A densidade de drenagem é calculada pela seguinte equação: $D_d = L_t/A$, em que: L_t = comprimento total dos canais (km); A = área da bacia (km²).

Neste sentido, adotou-se a classificação da densidade de drenagem de acordo com Beltrame (1994) (Tabela 7).

Tabela 7 - Classificação da densidade de drenagem (D_d) de uma bacia

D_d (km/km²)	Denominação
<0,5	Baixa
0,50-2	Madiana
2,01-3,5	Alta
>3,5	Muito Alta

Fonte: Beltrame, 1994.

d) Índice de Circularidade

O índice de circularidade (I_c) relaciona a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia. Este valor tende para unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui conforme a mesma se torna mais alongada (SANTOS *et al.*, 2012). Esse índice pode ser calculado da seguinte forma: $I_c = 12,57 \times A/P^2$.

Onde: A = área (km^2); P = perímetro (km).

e) Índice de Rugosidade

O índice de rugosidade (IR) relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com seu potencial erosivo, expresso pela declividade média. Trata-se de um índice adimensional que corresponde à diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia, o que indica o desnível médio da bacia (TRAJANO *et al.*, 2012). Pode ser calculada pela seguinte equação: $IR = Dd \times H$.

Onde: Dd = densidade de drenagem (km/km^2); H = amplitude altimétrica (km).

f) Coeficiente de Manutenção

O coeficiente de manutenção (C_m) representa uma medida de textura do solo, utilizando-se do índice Dd, e serve basicamente para determinar a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente (TRAJANO *et al.*, 2012).

O C_m é calculado pela equação: $C_m = 1/Dd \times 1.000$.

Onde: C_m = coeficiente de manutenção (km^2/km); Dd = densidade de drenagem (km/km^2).

g) Tempo de Concentração

O tempo de concentração (T_c) é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na secção de saída. Segundo Chow, Maidment e Mays (1988), o tempo de concentração corresponde ao tempo gasto para a gota de chuva se deslocar do ponto mais afastado da bacia até sua foz. O T_c pode ser calculado pela equação: $T_c = 4x\sqrt{A} + 1,5xL/0,8\sqrt{H}$.

Onde: A = área da bacia (km^2); L = Comprimento da bacia (km); H = Amplitude altimétrica (m).

3.6 Aplicação do método AHP para obtenção dos pesos das temáticas: Uso e Cobertura da Terra, Geomorfologia, Declividade, Pedologia e Geologia

O mapeamento da vulnerabilidade ambiental exige a execução de alguns produtos intermediários que auxiliam na análise do produto final. Para isso, foi necessário o cruzamento de cinco critérios de análises considerados decisivos para a determinação desta vulnerabilidade: geomorfologia, declividade, uso e cobertura da terra, pedologia e geologia.

O processo de decisão utilizando AHP desenvolve-se ao longo de seis etapas, agrupadas em três estágios, listados a seguir e explicados em detalhe na sequência (SILVA; NUNES, 2009):

- **Estágio 01** - Estruturação da Hierarquia de Decisão

- Estruturação da hierarquia;

- **Estágio 02** - Construção da Matriz de Comparação Pareada

- Construção da matriz;

- Verificações de consistência;

- Definir o valor da importância relativa (peso) de cada fator;

- **Estágio 03** - Priorização das Alternativas e Definição das Classes de

Vulnerabilidade

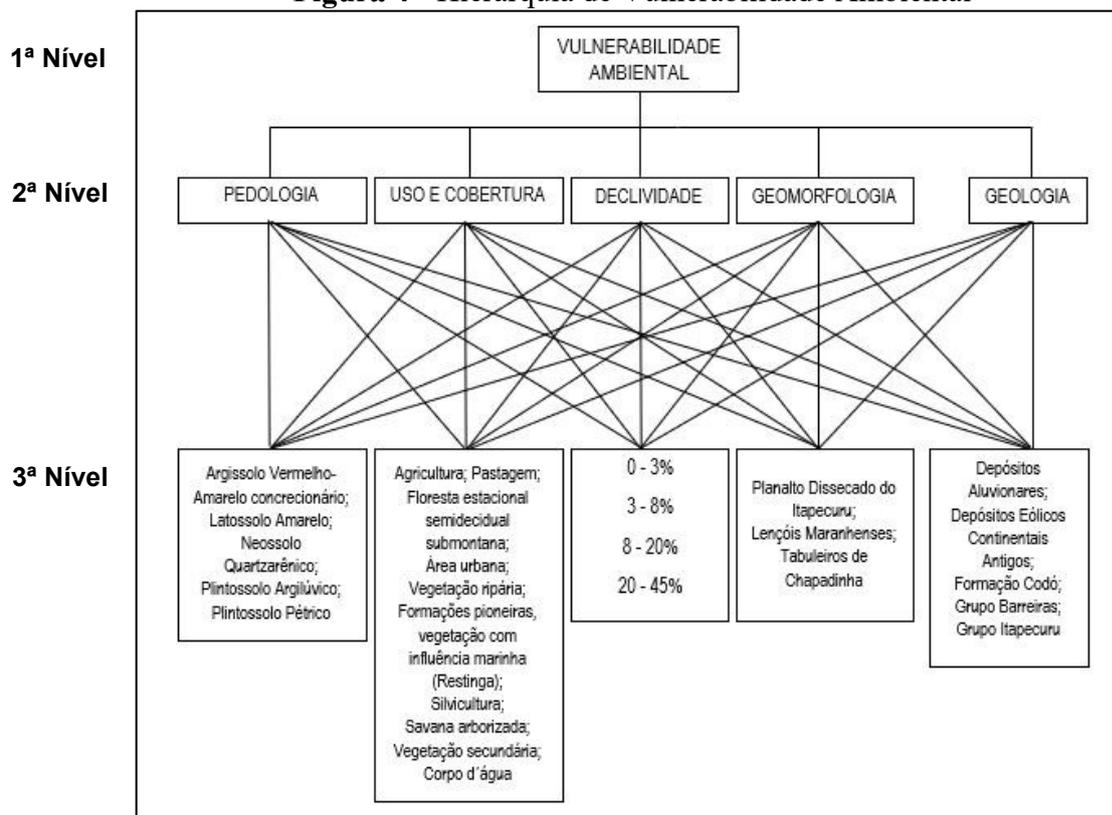
- Priorização das alternativas;

- Classificação final.

Estágio 1 - Estruturação da Hierarquia de Decisão

Segundo Silva e Nunes (2009, p.5438) “Esta etapa consiste na estruturação de uma hierarquia possibilitando definir a influência mútua entre os mesmos, onde as entidades de um grupo influenciam as de outro e são influenciadas pelas entidades de apenas outro”.

No topo da hierarquia está o propósito geral do problema, no caso definir a vulnerabilidade ambiental. No segundo nível estão os critérios que irão determinar as classes de vulnerabilidade, compostos pelos Planos de Informação - PI (Uso e Cobertura da Terra, Geomorfologia, Declividade, Pedologia e Geologia). No último nível estão as alternativas, que consiste nos atributos de cada PI (Figura 4).

Figura 4 - Hierarquia de Vulnerabilidade Ambiental

Org.: Soares, 2021.

Para determinar a importância relativa entre os elementos que compõem os níveis desta hierarquia, define-se a relação de importância entre as evidências, sendo esta relação utilizada como *input* de uma matriz de comparação pareada, que define os pesos relativos dos elementos de decisão (SILVA; NUNES, 2009).

Estágio 02 - Construção da Matriz de Comparação Pareada

A técnica AHP baseia-se numa matriz quadrada de $n \times n$, de comparação entre os n critérios, onde as linhas e as colunas correspondem aos critérios, sendo o resultado igual à importância relativa do critério da linha face ao critério da coluna (SILVA; NUNES, 2009). Como foi proposto para este estudo de vulnerabilidade ambiental cinco critérios, isso implica em uma matriz quadrada de 5ª ordem.

Neste contexto os valores de entrada nas matrizes foram obtidos com base na comparação pareada dos fatores que influenciam na vulnerabilidade ambiental da bacia. A partir desta comparação foi definido o critério de importância relativa entre os fatores, conforme o uso da escala de valores AHP para comparação pareada. Salienta-se que não foi

construída a matriz, ela foi obtida por meio de *download* no site: <https://www.pyzdekinstiute.com/blog/six-sigma/ahp-spreadsheet.html>. Esta matriz foi produzida por Pyzdek (2019) onde nela estão inseridas todas as fórmulas necessárias para aplicação da técnica AHP. Desta forma, foram inseridas na matriz apenas a descrição dos PIs e o peso da comparação paritária (Tabela 8), conforme a escala de prioridades do AHP.

Tabela 8 - Matriz de comparação pareada

Item Number	1	2	3	4	5
Item Description	Geologia	Solos	Geomorfologia	Uso e Cobertura	Declividade
Geologia	1,00	1/4	1/3	1/4	1/4
Solos	4,00	1,00	3,00	1/3	3,00
Geomorfologia	3,00	1/3	1,00	1/4	1/3
Uso e Cobertura	4,00	3,00	4,00	1,00	3,00
Declividade	4,00	1/3	3,00	1/3	1,00
Sum	16,00	4,92	11,33	2,17	7,58

Fonte: Pyzdek, 2019, adaptado parcialmente por Soares e Santos, 2021.

Na comparação entre os critérios a geologia foi a que obteve menor peso, pois entende-se que para o objetivo geral, vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo, sua importância é menor se comparado aos demais temas. O uso e cobertura da terra, por outro lado, obteve o maior peso na comparação devido a atuação antrópica sobre a bacia potencializar a vulnerabilidade e o fato da cobertura vegetal ser fundamental na proteção do solo. Pelo fato da morfogênese está associada a perda de solo este critério teve a segunda maior importância na matriz, seguida de declividade e geomorfologia, respectivamente.

Da matriz de comparação pareada foram extraídos seus autovetores, que correspondem ao grau de importância relativa para cada fator considerado. Os autovetores resultantes da matriz de comparação dos atributos do segundo nível da hierarquia, no caso os PIs, são denominados pesos (SILVA; NUNES, 2009).

Neste contexto, segue a Tabela 9 abaixo, pesos obtidos, representando o grau de influência exercido por cada fator para determinação da vulnerabilidade ambiental.

Tabela 9 - Matriz padronizada

	Geologia	Solos	Geomorfologia	Uso e Cobertura	Declividade	Peso
Geologia	0,06	0,05	0,03	0,12	0,03	5,8%
Solos	0,25	0,20	0,26	0,15	0,40	25,4%
Geomorfologia	0,19	0,07	0,09	0,12	0,04	10,1%
Uso e Cobertura	0,25	0,61	0,35	0,46	0,40	41,4%
Declividade	0,25	0,07	0,26	0,15	0,13	17,4%

Fonte: Pyzdek, 2019, adaptado parcialmente por Soares e Santos, 2021.

O autovalor máximo corresponde a 5,41, aplicando a fórmula do índice de consistência tem-se: $I.C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5,41 - 5}{5 - 1} = 0,10$. Este resultado mostra que a matriz de comparação é consistente.

Por ser uma matriz de 5ª ordem o índice randômico é 1,12 conforme Saaty (1980). Desta forma, a razão de consistência é $= IC / IR = 0,10/1,12 = 0,09$ com este resultado comprova-se a aceitabilidade e consistência da matriz.

O objetivo da aplicação da AHP nesse trabalho refere-se à obtenção do peso (Tabela 9) dos critérios, por tanto, o estágio três não se faz necessário executar. Logo, para identificação dos pesos das alternativas que compõem o terceiro nível da hierarquia (Figura 4) foi aplicado a metodologia proposta por Crepani *et al.* (1996; 2001) a qual é descrita na próxima seção.

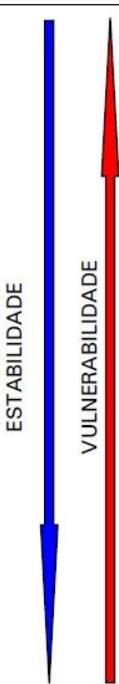
3.7 Processo de mapeamento da vulnerabilidade ambiental da bacia

No intuito de espacializar e mensurar os diferentes graus de vulnerabilidade ambiental da BHRP produziu-se, primeiramente, mapas de vulnerabilidade natural para os temas geologia, pedologia, geomorfologia e declividade utilizando-se o ArcGIS. Para esse fim, recorreu-se a metodologia proposta por Crepani *et al.* (1996; 2001). Ressalta-se que para este trabalho não foi considerado a variável clima, pois não há uma significativa variação pluviométrica na área.

Conforme os processos morfodinâmicos são atribuídos valores que variam de 1,0 a 3,0, (no total, as áreas estudadas podem ser enquadradas em 21 valores de vulnerabilidade). As situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese se atribuem valores próximos de 1,0; nas situações intermediárias se atribuem valores ao redor de 2,0 e situações de predomínio dos processos de morfogênese se atribuem valores próximos de 3,0 (Figura 5).

Para atribuir valor de vulnerabilidade a cada unidade territorial básica foi adotada uma equação empírica proposta por Crepani *et al.* (2001). Equação (1): $V = (G + P + Geo + D + Uct) / 5$. Onde: V: vulnerabilidade; G: vulnerabilidade para o tema geologia; P: vulnerabilidade para o tema pedologia; Geo: vulnerabilidade para o tema geomorfologia; D: vulnerabilidade para o tema declividade; Uct: vulnerabilidade para o tema uso e cobertura da terra.

Figura 5 – Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas

	Vulnerabilidade		Representação cartográfica			
	Valores	Classes	vermelho	verde	azul	cores
	3,0	Vulnerável	255	0	0	[vermelho]
	2,9		255	51	0	
	2,8		255	102	0	
	2,7		255	153	0	
	2,6	Moderadamente vulnerável	255	204	0	[laranja]
	2,5		255	255	0	
	2,4		204	255	0	
	2,3	Medianamente estável/vulnerável	153	255	0	[verde-claro]
	2,2		102	255	0	
	2,1		51	255	0	
	2,0		0	255	0	
	1,9	Moderadamente estável	0	255	51	[verde]
	1,8		0	255	102	
	1,7		0	255	153	
	1,6	Estável	0	255	204	[verde-claro]
	1,5		0	255	255	
	1,4		0	204	255	
1,3	Estável	0	153	255	[azul-claro]	
1,2		0	102	255		
1,1		0	51	255		
1,0		0	0	255		

Fonte: Crepani *et al.*, 2001.

Quanto à execução do mapeamento da vulnerabilidade ambiental da bacia, algumas etapas fundamentais foram realizadas tendo como referência a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001). Na sequência, serão descritas as etapas que foram necessárias para produção do mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Preto.

Primeiramente, procedeu-se a análise individual de cada uma das informações contidas nos mapas temáticos de geologia, pedologia, geomorfologia e declividade no que tange aos elementos físicos da paisagem para avaliação da estabilidade ou vulnerabilidade. Considerou-se a relação entre os processos de morfogênese e pedogênese por meio da análise integrada dos litotipos, solos, formas de relevo, gradiente de declividade e do uso e cobertura da terra.

Em relação às temáticas mencionadas, o Quadro 4 apresenta os critérios dos PIs que são levados em consideração para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem. Em outras palavras, os critérios que são levados em consideração para definir, por exemplo, se um determinado solo está mais vulnerável ou não a um determinado processo erosivo.

Quadro 4 - Planos de informação - variáveis e critérios

Geologia	Declividade
A contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. Em rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese).	A declividade guarda relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética e, portanto, com a velocidade das massas de água em movimento responsáveis pelo “ <i>runoff</i> ”. Quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais transforma-se em energia cinética e maior é, também, a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsáveis pela erosão que esculpe as formas de relevo e, portanto, prevalece a morfogênese.
Pedologia	Cobertura Vegetal/Uso da Terra
Considera-se o desenvolvimento do perfil do solo. Nos solos rasos prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos pouco desenvolvidos, já as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese gerando solos profundos, lixiviados e bem desenvolvidos. A maior ou menor vulnerabilidade de um solo a sofrer os processos erosivos da morfogênese depende de diversos fatores dentre eles: estrutura do solo, tipo e quantidade das argilas, permeabilidade e profundidade do solo e a presença de camadas impermeáveis.	A densidade de cobertura vegetal é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão, por isso quanto mais intensa a cobertura vegetal maior a estabilidade encontrada na unidade de paisagem. Já as áreas de soja, eucalipto, área urbana e pastagem compõe as classes que são qualificadas como de alta vulnerabilidade devido à retirada da cobertura vegetal e modificação da paisagem natural, permitindo que o solo fique exposto aos intempéries e prejuízos provocados por tais usos da terra.

Fonte: Crepani *et al.* (2001), Tagliani (2003), Dias (2012). Org.: Soares (2020).

A partir da determinação dos critérios para a definição da estabilidade, equilíbrio ou vulnerabilidade das unidades de paisagens, procedeu-se à etapa de atribuição dos pesos. Nesse sentido, as informações contidas em cada tema receberam uma nota conforme a vulnerabilidade de cada elemento presente na área-objeto a processos de perda de solos ou atuação antrópica que favorecem a ocorrência de erosões.

Crepani *et al.* (2001) estabeleceu cinco classes conforme a escala de vulnerabilidade (Figura 5), a saber: Estável; Moderadamente estável; Medianamente estável/vulnerável; Moderadamente vulnerável; Vulnerável. Com base nesta classificação realizou-se uma adaptação apenas dos pesos para o presente estudo, conforme é descrito a seguir.

Para a classe Estável o peso estabelecido corresponde a 1,0 e compreende os valores de 1,0 a 1,3; Moderadamente estável o peso é 2,0 (compreende o intervalo de 1,4 a 1,7); Medianamente estável/vulnerável o peso 3,0 (intervalo de 1,8 a 2,2); Moderadamente vulnerável o peso 4,0 (intervalo de 2,3 a 2,6); Vulnerável o peso 5,0 (valores entre 2,7 a 3,0).

Em relação ao tema geologia atribuiu-se valores para determinar a vulnerabilidade natural com base na classificação utilizada por Crepani *et al.* (1996; 2001), de acordo com a

Tabela 10, também recorreu-se a referências bibliográficas referentes as características das unidades geológicas presentes na bacia do rio Preto, e ainda os critérios do Quadro 4.

Tabela 10 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns

Litologia	Valores de vulnerabilidade	Litologia	Valores de vulnerabilidade
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Filito, Metassiltito	2,1
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Ardósia, Metargilito	2,2
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Mármore	2,3
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Grauvacas, Arcózios	2,6
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Siltitos, Argilitos	2,7
Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Folhelhos	2,8
Piroxenito, Anfibolito, Kimberlito, Dunito	1,8	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0
Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	---	---

Fonte: Crepani *et al.*, 2001.

Os Depósitos Eólicos Continentais Antigos e Depósitos Aluvionares presentes na bacia, por serem formações geológicas quaternárias, isto é, recentes e serem formados por sedimentos inconsolidados receberam o peso 5,0. Já para as demais unidades realizou-se uma média aritmética dos valores de vulnerabilidade das rochas que foram encontradas nas classes geológicas em estudo. Por exemplo, o Grupo Itapecuru é composto por arenitos quartzosos ou ortoquartzitos que tem peso de 2,4; os siltitos e argilitos com peso de 2,7; folhelhos = 2,8. Estes pesos estão de acordo com a Tabela 10. O resultado da média corresponde a 2,6, conforme a adaptação dos pesos fica 4,0 (Moderadamente vulnerável).

A Formação Codó, identificada na bacia, formada por arenito com peso 2,4; folhelho com peso igual 2,8; silito = 2,7; evaporito = 2,9, após o cálculo ficou com o valor 2,7, ou seja, vulnerável (peso 5,0). Já o Grupo Barreiras (sedimentos argilosos, arenosos e conglomeráticos), arenito com peso de 2,4; conglomerado com peso de 2,5, ficou com valor igual a 2,5 (valor 4,0 - Moderadamente vulnerável).

Em relação à temática pedologia foram consubstanciados os critérios mencionados (Quadro 4), revisão de literatura e os valores de vulnerabilidade/estabilidade de

acordo com Crepani *et al.* (2001) (Tabela 11). Desta forma, foram atribuídos os pesos para o tema em questão.

Tabela 11 - Valores de vulnerabilidade dos solos

Solos	Valores de vulnerabilidade	Solos	Valores de vulnerabilidade
Latossolo Amarelo	1,0	Cambissolos	2,5
Latossolo Vermelho-Amarelo	1,0	Solos Litólicos	3,0
Latossolo Vermelho-Escuro	1,0	Solos Aluviais	3,0
Latossolo Roxo	1,0	Regossolo	3,0
Latossolo Bruno	1,0	Areia Quartzosa	3,0
Latossolo Húmico	1,0	Vertissolo	3,0
Latossolo Bruno-Húmico	1,0	Solos Orgânicos	3,0
Podzólico Amarelo	2,0	Solos Hidromórficos	3,0
Podzólico Vermelho-Amarelo	2,0	Glei Húmico	3,0
Podzólico Vermelho-Escuro	2,0	Glei Pouco Húmico	3,0
Terra Roxa Estruturada	2,0	Plintossolo	3,0
Bruno Não-Cálcico	2,0	Laterita Hidromórfica	3,0
Brunizém	2,0	Solos Concrecionários	3,0
Brunizém Avermelhado	2,0	Lateríticos	3,0
Planossolo	2,0	Rendzinas	3,0
		Afloramento Rochoso	3,0

Fonte: Crepani *et al.*, 2001.

Para a classe Latossolo Amarelo foi estabelecido o valor 1,0 (estável) por ser um solo profundo, bem desenvolvido. Já os Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários ficaram com valor 3,0 (Medianamente estável/vulnerável) por serem solos que apresentam profundidade menor se comparado aos Latossolos Amarelos e são solos menos estáveis e menos intemperizados.

Os Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos Argilúvicos e Pétricos ficaram com peso 5,0 (vulnerável), o primeiro solo devido a presença de areia e dos baixos teores de matéria orgânica, além da pequena evolução dos perfis de solo; os Plintossolos, por sua vez, são pouco profundos o que favorece a sua instabilidade.

No que diz respeito ao tema geomorfologia, atribuiu-se o peso 1,0 para a unidade geomorfológica Tabuleiros de Chapadinha, pois ela é formada por um relevo tabular e plano (0-3%) a suave-ondulado (3-8%) o que favorece a estabilidade da mesma. Já a unidade Lençóis Maranhenses recebeu peso 5,0 devido a presença de sedimentos eólicos inconsolidados e ocorrência de solos essencialmente quartzosos, com pequena adesão e coesão entre suas partículas. Por fim, o Planalto Dissecado do Itapecuru recebeu peso 3,0,

embora caracterize-se por um relevo dissecado e com maiores declividades (20-45%) tem a presença da vegetação servindo de fator de proteção contra a erosão pluviométrica.

Para a declividade atribuiu-se valores para determinar a vulnerabilidade natural com base em Crepani *et al.* (1996; 2001), de acordo com a Tabela 12. Seguiu-se os mesmos procedimentos que foram executados para as temáticas anteriores.

Tabela 12 - Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade

Classes Morfométricas	Declividade (%)	Valores de Vulnerabilidade
Muito Baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 – 20	2,0
Alta	20 – 50	2,5
Muito alta	> 50	3,0

Fonte: Crepani *et al.*, 2001.

Com base na Tabela 12 realizou-se adaptações para atribuição dos pesos de vulnerabilidade para o intervalo de declividade adotado (EMBRAPA, 1979). Desta forma, para as formas de relevo plano (0-3%) atribuiu-se valor 1,0; suave-ondulado (3-8%) valor igual a 2,0 (Moderadamente estável), logo para estas baixas inclinações prevalecem os processos formadores de solo da pedogênese.

Para as formas de relevo ondulado (8-20%) estabeleceu-se peso 3,0 (Medianamente estável/vulnerável), pois favorece o equilíbrio dinâmico na bacia, enquanto o tipo forte-ondulado tem peso 4,0, ou seja, moderadamente vulnerável devido a alta declividade, o que favorece os processos de morfogênese.

Diante do exposto, a Tabela 13 apresenta os valores utilizados para estabelecer a vulnerabilidade, bem como os critérios estabelecidos no Quadro 4, com ressalva para algumas adaptações necessárias para a bacia, no que diz respeito à metodologia utilizada.

Tabela 13 - Pesos de vulnerabilidade para as informações dos temas de geologia, pedologia, declividade

Solos	Peso	Geologia	Peso	Declividade	Peso
Neossolos Quartzarênicos	5,0	Depósitos Eólicos Continentais Antigos	5,0	0-3%	1,0
Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários	3,0	Grupo Itapecuru	4,0	3-8%	2,0
Latossolos Amarelos	1,0	Grupo Barreiras	4,0	8-20%	3,0
Plintossolos Argilúvicos	5,0	Depósitos Aluvionares	5,0	20-45%	4,0
Plintossolos Pétricos	5,0	Formação Codó	5,0		

Org.: Soares, 2020.

A Tabela 14 apresenta os pesos para o tema uso e cobertura da terra da bacia conforme orientações da metodologia. Deste modo, para a classe agricultura o peso estabelecido foi 5,0 (vulnerável), pois nestas áreas o solo fica exposto durante a colheita que ocorre no segundo semestre do ano deixando o solo mais vulnerável a atuação da erosão.

Em relação a pastagem seu peso corresponde a 5,0. Neste trabalho o uso deste valor da escala de vulnerabilidade associa-se, principalmente, a baixa densidade da biomassa e a intensa dinâmica de preparação do solo, em específico uso da queima da vegetação nativa, realizada para o plantio do pasto. Já para a área urbana estabeleceu-se o peso 5,0 estando associado a impermeabilização do solo, o que favorece o escoamento superficial, decorrente do asfaltamento e calçamento das ruas.

Tabela 14 - Pesos de vulnerabilidade para as informações do tema uso e cobertura da terra

Classes	Peso
Agricultura	5,0
Pastagem	5,0
Floresta estacional semidecidual submontana	2,0
Área urbana	5,0
Vegetação ripária	1,0
Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga)	5,0
Silvicultura	5,0
Savana arborizada	3,0
Vegetação secundária	5,0
Corpo d'água	1,0

Elaboração: Soares, 2020.

A floresta estacional semidecidual submontana com peso 2,0 é de acordo com a metodologia classificada como moderadamente estável, ou seja, a cobertura vegetal serve de proteção do solo quando exposto a atuação da chuva. Neste sentido, Crepani *et al.* (2001, p.88) afirma:

A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem natural (cobertura do terreno) é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão, por isso para as altas densidades de cobertura os valores atribuídos na escala de vulnerabilidade se aproximam da estabilidade (1,0), para as densidades intermediárias atribuem-se valores intermediários (ao redor de 2,0), e para baixas densidades de cobertura vegetal valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

A classe corpo d'água recebeu peso 1,0 devido a própria dinâmica natural do ambiente onde a drenagem se encontra a qual não favorece uma situação de vulnerabilidade. Para a vegetação ripária estabeleceu-se o mesmo peso, entretanto, no caso desta classe essa

estabilidade associa-se a proteção dos canais de drenagem contra a ação do assoreamento e erosão das margens dos rios.

A silvicultura na escala de vulnerabilidade ficou com peso igual a 5,0, ou seja, vulnerável, tal condição está associada neste trabalho ao fato de ocorrer nas áreas de plantio desse monocultivo desmatamento e queimadas. Na mesma situação de instabilidade também se encontra a vegetação secundária com peso 5,0 devido a menor biomassa se comparado a vegetação nativa. De acordo com a metodologia adotada “o valor de vulnerabilidade atribuído à vegetação secundária depende do tipo de floresta, do porte e do grau de cobertura do terreno”. (CREPANI *et al.*, 2001, p.113).

Em relação as formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) seu peso corresponde a 5,0, embora seja uma formação natural, ela é do ponto de vista da abordagem morfodinâmica naturalmente vulnerável, principalmente, devido sua baixa biomassa e associação com solo arenoso (Neossolo Quartzarênico) na bacia. Já a classe savana arborizada ficou com peso 2,0 (equilíbrio morfodinâmico) devido ao seu fator de proteção do solo, porém sua densidade é mais baixa se comparada a floresta estacional semidecidual submontana.

Para atribuir os pesos estipuladas para as classes das temáticas foi necessário a realização de duas etapas no ArcGIS: a primeira consistiu em converter todos os *shapefiles* em arquivo *raster*; após essa conversão, procedeu-se à última etapa, que teve por objetivo reclassificar os valores/informações para a inserção das notas. Utilizou-se, para esse fim, a ferramenta de reclassificação (*Reclassify*) do SIG.

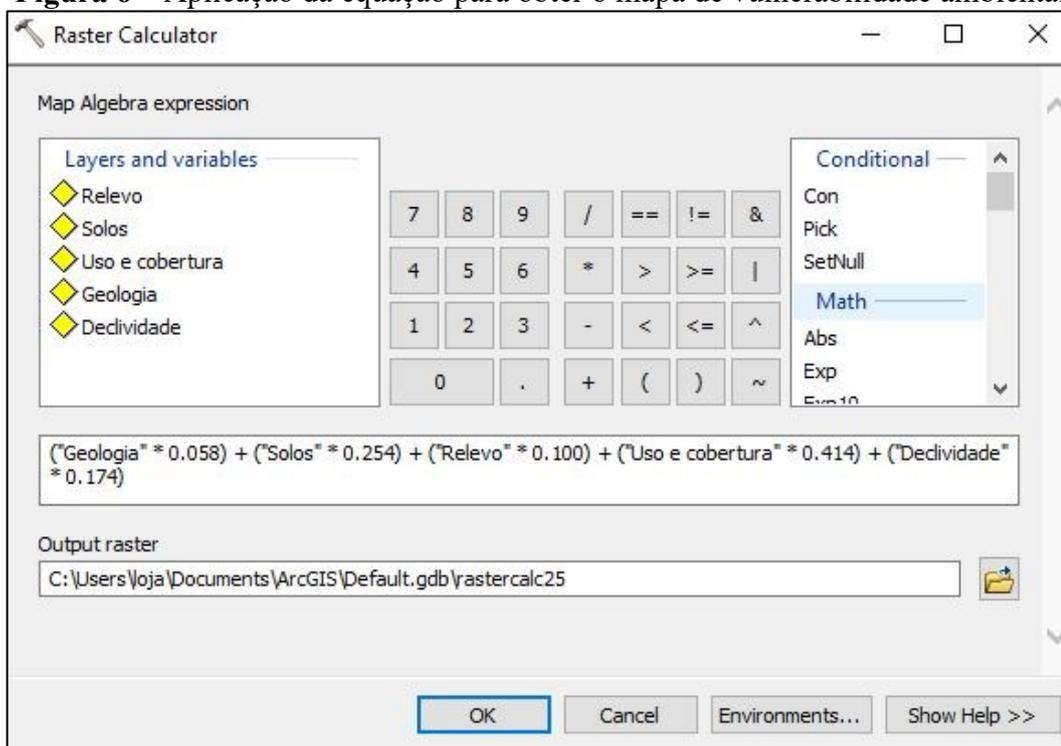
No processo de conversão do *shapefile* em *raster* utilizando-se a ferramenta *Conversion tools* do *ArcToolbox*, atribuiu-se 30 m para o tamanho da célula (*pixel*) do dado de saída de todos os PIs que foram convertidos em dado matricial. Este valor é igual a resolução espacial do *raster* de declividade.

Após a atribuição das notas, para os valores/informações dos temas, realizada na etapa anterior, apresentaram-se como resultado mapas de vulnerabilidade para os temas: geologia, pedologia, geomorfologia, declividade e uso e cobertura da terra. Procedeu-se, então à etapa de inserção dos pesos dos temas, de modo a diferenciar o grau de importância e correlação com o fenômeno em questão (vulnerabilidade a erosão). Para o tema declividade, conforme a aplicação da técnica AHP, foi estabelecido o peso 17,4%, para geologia 5,8% e

para pedologia, geomorfologia e uso e cobertura da terra 25,4%, 10,1%, 41,4%, respectivamente.

Depois da organização de todos os mapas de vulnerabilidade separadamente, foi feita a integração dos mesmos através da operação de álgebra de mapas. Nessa etapa, utilizou-se a calculadora *raster* para inserir a equação de soma, que relaciona os mapas de vulnerabilidade e os pesos dos temas estabelecidos anteriormente (Figura 6). Esse procedimento permitiu a integração dos dados que foram obtidos em cada mapa de vulnerabilidade separadamente, resultando, finalmente, no mapa síntese de vulnerabilidade ambiental.

Figura 6 – Aplicação da equação para obter o mapa de vulnerabilidade ambiental



Elaboração: Soares, 2021.

Na legenda do mapa síntese de vulnerabilidade ambiental utilizou-se a seguinte nomenclatura: Estável (valor 1,17 - 1,93), Moderadamente estável (valor 1,94 - 2,46), Medianamente estável/vulnerável (valor 2,47 - 2,96), Moderadamente vulnerável (valor 2,97 - 3,69) e Vulnerável (valor 3,7 - 4,83). Utilizou-se a apresentação das informações no intervalo de 5 classes e o método de classificação de dados foi do tipo Quebras Naturais (*jenks*).

3.8 Identificação das unidades de planejamento e gestão da bacia

Nesta etapa do trabalho, utilizou-se as bacias hidrográficas ottocodificadas¹⁰ (BHO) produzidas com o método de Otto Pfafstetter a qual foi estabelecido para codificação oficial de bacias hidrográficas no Brasil. Ela baseia-se na Resolução nº 30/2002 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

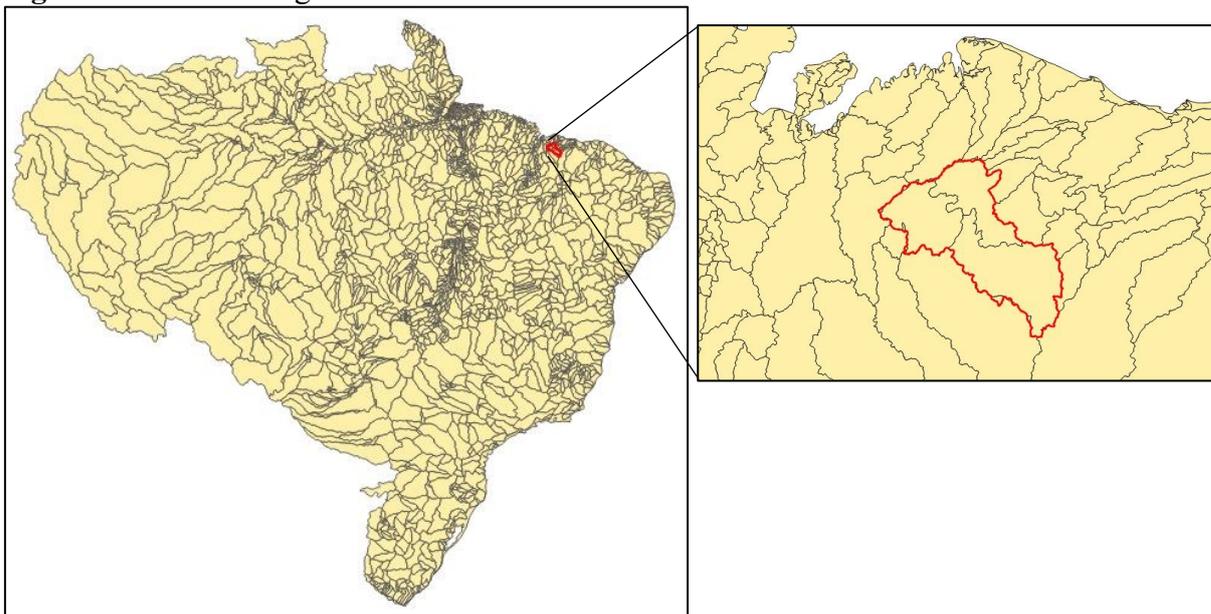
Com o objetivo de produzir o mapa de unidade de planejamento de recursos hídricos da BHRP, recorreu-se ao *shapefile* das bacias hidrográficas ottocodificadas (níveis otto 1-6) que pertence a base de dados vetoriais da ANA (2012), disponíveis no site: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f>.

Após o *download* da BHO realizou-se sua importação para o QGIS, onde foi sobreposto o limite da BHRP, posteriormente observou-se cada nível (1-6), sendo que quanto maior o nível das ottobacias, mais subdividida se torna a bacia hidrográfica. Desta forma, estabeleceu-se o nível 4 para a área em estudo. O nível 3 não foi utilizado pelo fato de apresentar no recorte em estudo a delimitação da bacia do rio Munim, já o nível 5 subdivide a bacia em mais de 20 unidades (área de contribuição) o que não favorece seu planejamento e gestão.

A Figura 7 ilustra a bacia hidrográfica ottocodificada de 4ª nível, ela foi reprojeta e cortada para o limite da bacia e posteriormente foi importada para o SPRING onde efetuou-se ajuste das linhas internas com o uso das ferramentas da edição topológica do SIG, pois algumas estavam sobrepondo afluentes do rio Preto, essa situação está associada a escala de 1.000.000 de mapeamento realizada pela ANA (2012).

¹⁰ A BHO representa a rede hidrográfica em trechos entre os pontos de confluência dos cursos d'água de forma unifilar. Cada trecho é associado a uma superfície de drenagem denominada ottobacia, à qual é atribuída a codificação de bacias de Otto Pfafstetter.

Figura 7 - Bacia hidrográfica ottocodificada no 4^a nível



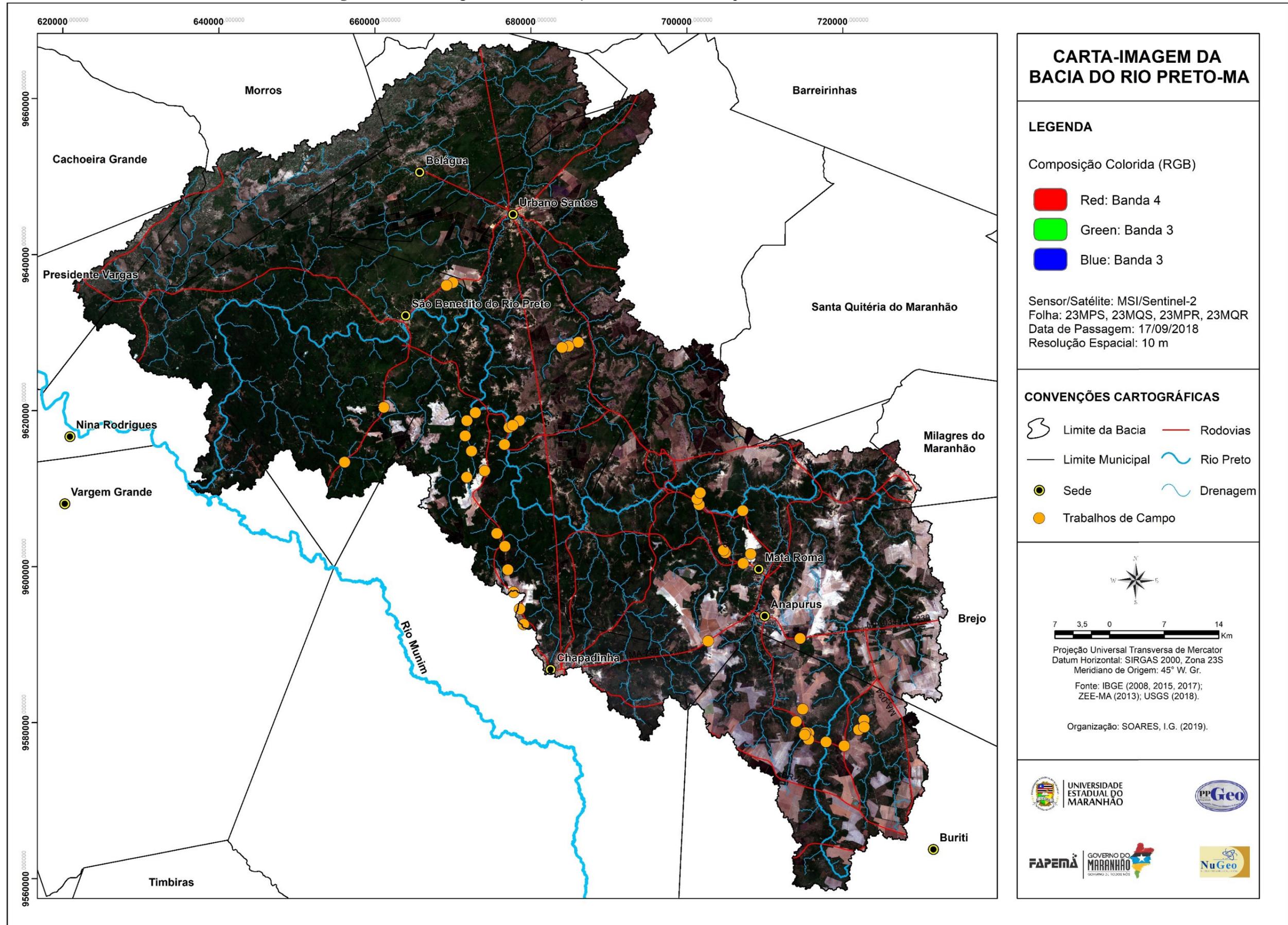
Fonte: ANA, 2012, adaptado parcialmente por Soares, 2021.

O nível 4 utilizado para a BHRP subdivide a mesma em 3 unidades, cada uma delas foi nomeada com o principal afluente da área de contribuição, a saber: Unidade de Planejamento de Recursos Hídricos (UPRH) do riacho do Gavião, UPRH do rio Mocambo, UPRH do rio Riachão. Estas unidades, posteriormente, foram utilizadas como camada máscara para o recorte do *raster* de vulnerabilidade ambiental com o objetivo de se analisar a vulnerabilidade de cada UPHR.

3.9 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado na totalidade da área de estudo (Figura 8) tendo como objetivos principais o reconhecimento da área-objeto e averiguar com maior critério a produção cartográfica e validar os produtos cartográficos, para tanto, foram realizados nos dias 29, 30 de junho e 01 de julho de 2018, assim como entre os dias 18 a 21 de abril de 2019 trabalhos de campo na área de pesquisa considerando o seguinte roteiro de atividades: observação dos elementos direto do espaço geográfico, coleta de pontos por meio de sistema de navegação por satélite obtida por aparelho GPSMAP Garmin 64, seguida de registros fotográficos, verificação dos tipos de uso da terra e as condições ambientais da bacia.

Figura 8 – Carta-imagem com a localização dos trabalhos de campo realizados na bacia do rio Preto-MA



Fonte: Soares, 2021.

4 ANÁLISE INTEGRADA DA FISIOGRAFIA DA BACIA DO RIO PRETO

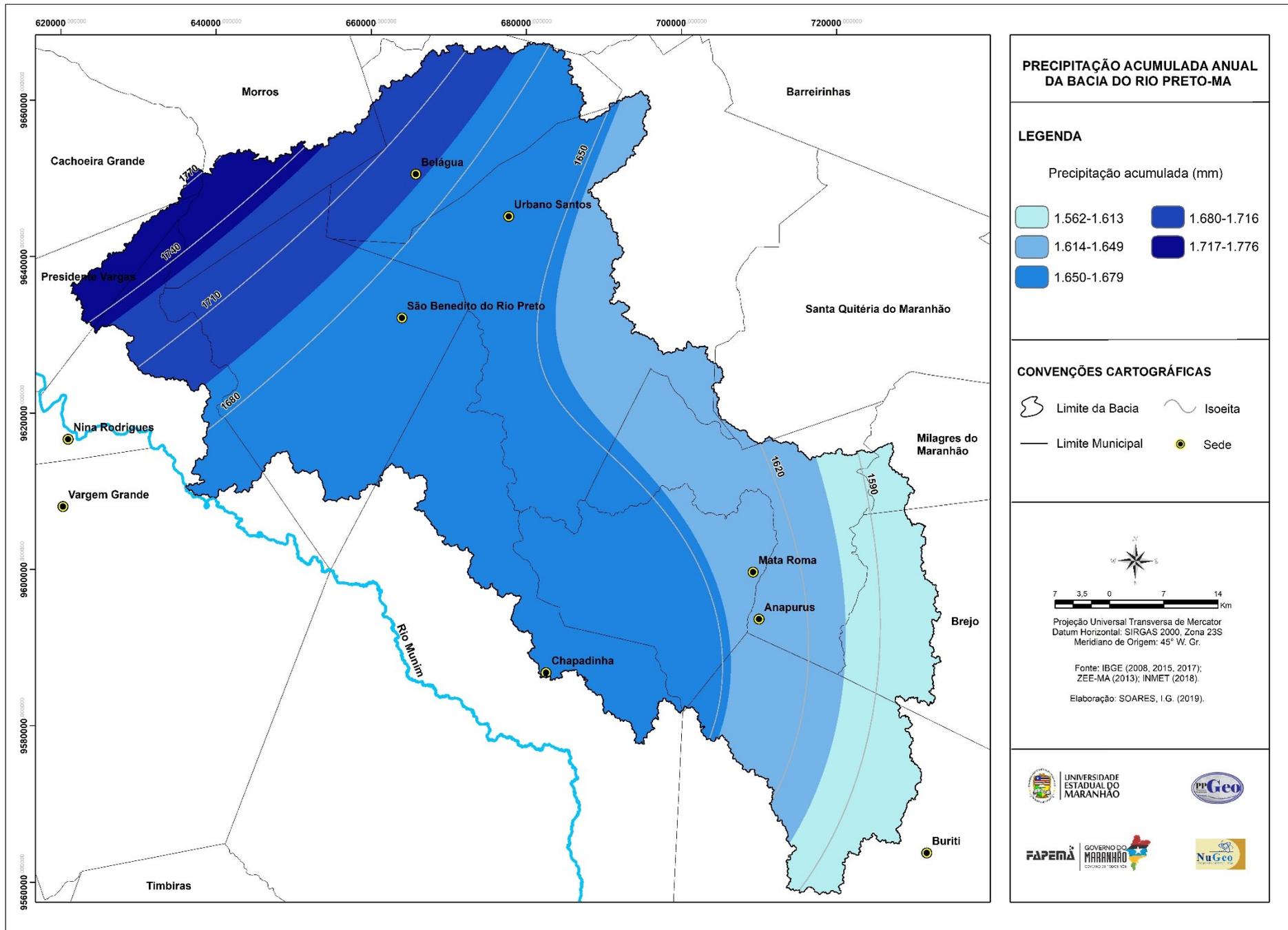
As bacias hidrográficas são caracterizadas pelos seus atributos fisiográficos, geologia, geomorfologia, clima, tipo de solo, tipologias de uso e ocupação, cobertura vegetal, regime fluviométrico e pluviométrico, fatores que contribuem para a disponibilidade hídrica numa bacia, que é o principal aspecto de uma bacia hidrográfica (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2017).

Diante do exposto no parágrafo supramencionado, visa-se nesta seção caracterizar a BHRP no que diz respeito aos aspectos climáticos, meteorológicos, hidrografia, declividade, hipsometria, vegetação, unidades geológicas, geomorfológicas, classes de solos, uso e cobertura da terra, dentre outras informações consideradas pertinentes para a caracterização da bacia em estudo.

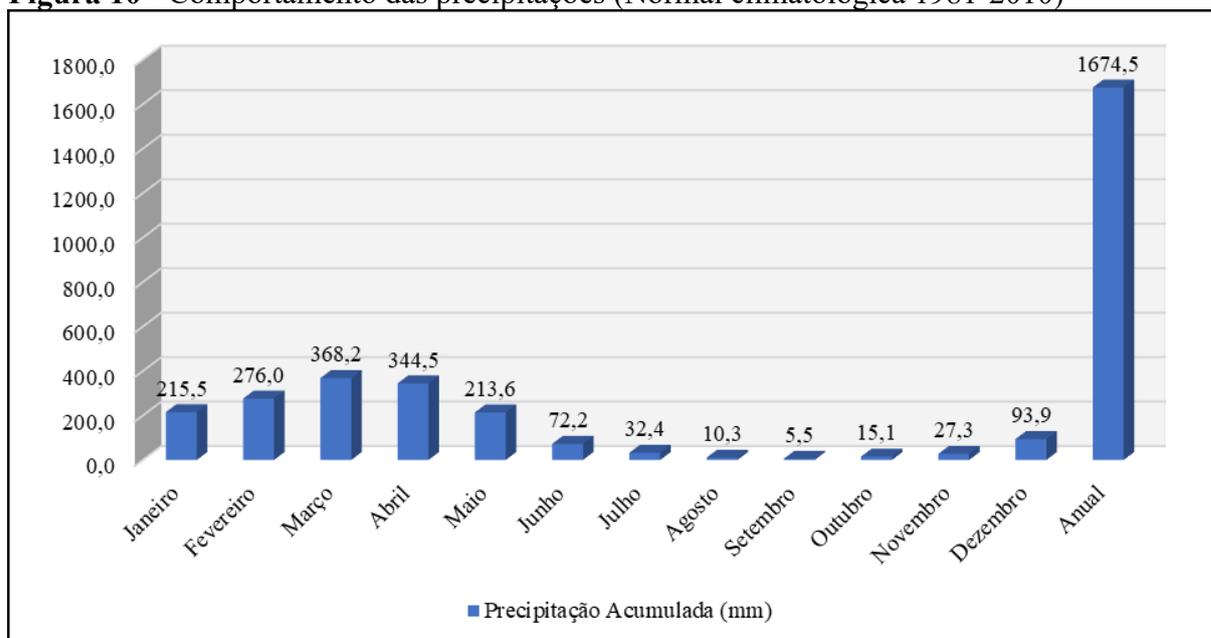
O clima da região de acordo com a classificação de Thornthwaite (1948) caracteriza-se como subúmido, com totais pluviométricos anuais que variam de 1.600 a 2.000 mm (PRESOTI, 2008). A distribuição das chuvas não é homogênea, observando-se duas estações bem distintas: uma chuvosa, no primeiro semestre, e outra seca, no segundo semestre do ano. Na Figura 9 mostra-se a distribuição das chuvas na BHRP, observa-se que a concentração pluviométrica situa-se a noroeste com totais da ordem 1.776 mm enquanto no alto curso tem-se os menores totais de precipitação, entre 1.562 a 1.613 mm.

Considerando-se os dados da normal climatológica (1981-2010) do INMET, da estação automática (82382) de Chapadinha, verifica-se na Figura 10 que a estação chuvosa ocorre nos meses de janeiro a junho, com maior frequência em março. Nos meses de agosto a outubro praticamente não chove, ou seja, ocorre uma estiagem.

Figura 9 – Mapa de precipitação acumulada anual da bacia do rio Preto-MA (Normal Climatológica de 1981-2010)

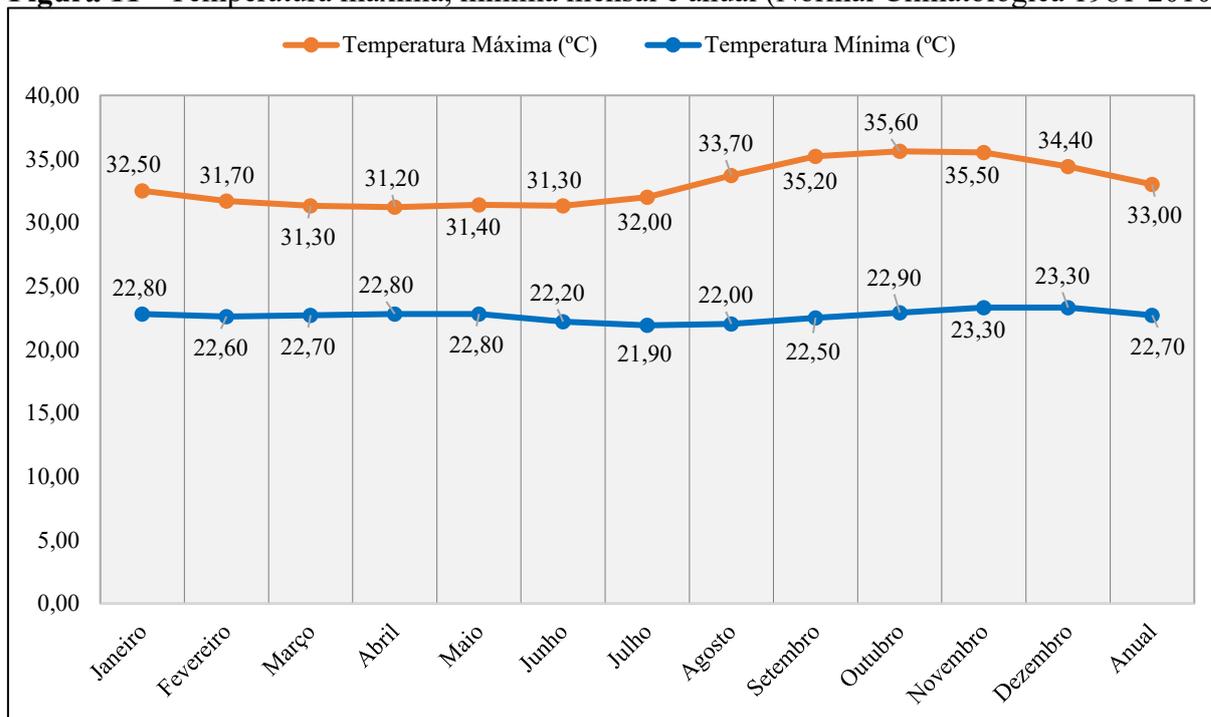


Fonte: Soares, 2021.

Figura 10 - Comportamento das precipitações (Normal climatológica 1981-2010)

Fonte: INMET, 2020, adaptado parcialmente por Soares, 2020.

Considerando-se os dados da normal climatológica (1981-2010) do INMET (2019), da estação automática de Chapadinha, a temperatura máxima média anual da bacia é de 33°C e temperatura mínima média anual de 22,70°C. A Figura 11 apresenta a variação da temperatura máxima, mínima mensal e anual. A umidade relativa do ar máxima absoluta anual condiz a 98,3%, enquanto a mínima absoluta corresponde a 39,8%.

Figura 11 - Temperatura máxima, mínima mensal e anual (Normal Climatológica 1981-2010)

Fonte: INMET, 2020.

A bacia apresenta um padrão de drenagem dendrítico e ordenação dos canais de 8ª ordem de natureza endorréica. O curso inferior do rio Preto destaca a presença das Lagoas da Lúcia (0,77 km²) e dos Picos (1,04 km²). Na bacia ocorrem rios efêmeros e perenes. As Áreas de Preservação Permanente (APP) correspondem a 585,72 km² (SOARES, 2018). Sendo que a área de estudo tem um perímetro de 785,97 km e comprimento total dos cursos d'água de 8.446,61 km. A Figura 12 expõe a lâmina d'água do rio Preto na divisa dos municípios de Chapadinha e Urbano Santos.

Figura 12 – Rio Preto, coordenadas: 3° 27' 22.10" S e 43° 24' 17.09" W.



Fonte: Soares, 2018.

Conforme Stipp, Campos e Caviglione (2010, p.114), “O padrão de drenagem da bacia, ou seja, o caráter e extensão de seus canais vão exercer influência sobre a disponibilidade de sedimentos e a taxa de formação do deflúvio. A estrutura geológica também exerce influência e controle sobre as características físicas da bacia”.

A hierarquização da bacia está de acordo com a classificação adotada por Horton (1945), modificada por Strahler (1964). A ordem dos cursos de água reflete o grau de ramificação dentro de uma bacia. A ordem do rio principal mostra a extensão de ramificação da bacia. Conforme o Método de Strahler, os canais primários são designados de 1ª ordem. A

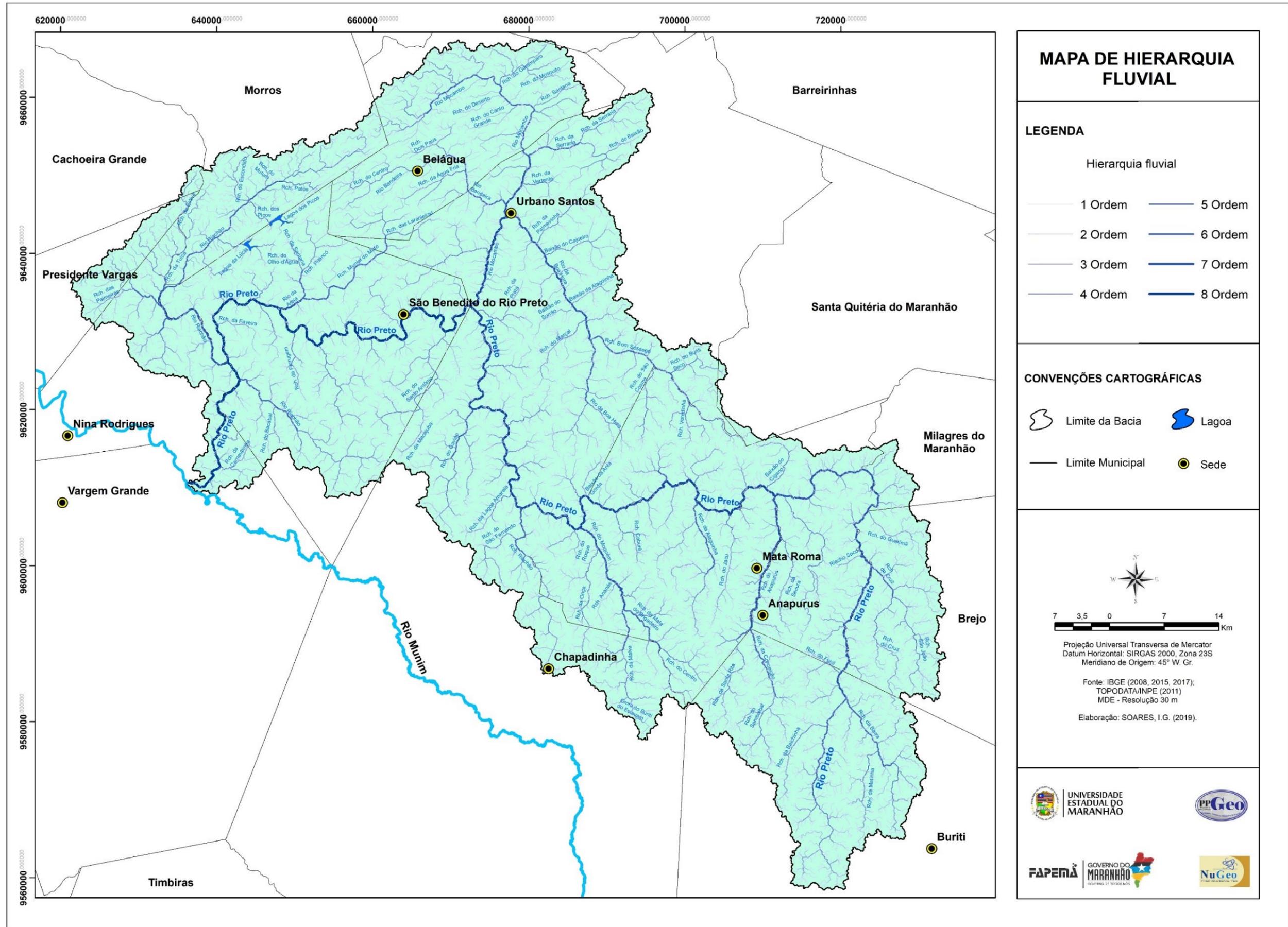
junção de dois canais primários forma um de 2ª ordem, e assim sucessivamente. A junção de um canal de uma dada ordem a um canal de ordem superior não altera a ordem deste. A ordem do canal à saída da bacia é também a ordem da bacia (FREIRE, 2005). A Figura 13 ilustra a hierarquia fluvial e a localização dos principais afluentes da BHRP (Quadro 5).

Quadro 5 – Tributários da bacia hidrográfica do rio Preto-MA

Nº	Riachos		Rios	Baixões	Grotas	Lagoas	
1	Rch. das Palmeiras	33	Rch. dos Picos	Rio Preto	Baixão do Cigano	Grota do Buriti do Estevam	Lagoa da Lúcia
2	Rch. da Carnaubinha	34	Rch. do Olho-d'Água	Rio da Boa Hora	Baixão da Alagoinha	---	Lagoa dos Picos
3	Rch. do Funil	35	Rch. da Tuíca	Rio Mocambo	Baixão do Cajueiro	---	---
4	Rch. Caburé	36	Rch. do Deserto	Rio Riachão	Baixão da Anta Gorda	---	---
5	Rch. da Barra	37	Rch. do Buriti Seco	Rio Bandeira	Baixão do Surrão	---	---
6	Rch. da Cruz	38	Rch. da Faveira	Rio da Areia	---	---	---
7	Rch. São João	39	Rch. da Ferrugem	---	---	---	---
8	Rch. do Gavião	40	Rch. do Bacabal	---	---	---	---
9	Rch. do Mosquito	41	Rch. da Baixinha	---	---	---	---
10	Rch. do Garamparo	42	Rch. da Macajuba	---	---	---	---
11	Rch. do Santo Antônio	43	Rch. da Prata	---	---	---	---
12	Rch. da Serraria	44	Rch. Veredinha	---	---	---	---
13	Rch. do Jacu	45	Rch. da Vertente	---	---	---	---
14	Rch. da Mata do Brigadeiro	46	Rch. Bom Sossego	---	---	---	---
15	Rch. da Secura	47	Rch. do Canto Grande	---	---	---	---
16	Rch. do Moquém	48	Rch. do Marçal	---	---	---	---
17	Rch. da Conceição	49	Rch. do São Cosme	---	---	---	---
18	Rch. da Alagoinha	50	Rch. Seco	---	---	---	---
19	Rch. Riachão	51	Rch. do Mata-Moleque	---	---	---	---
20	Rch. Santana	52	Rch. da Carnaubinha	---	---	---	---
21	Rch. da Palmeirinha	53	Rch. da Lagoa Amarela	---	---	---	---
22	Rch. Munim do Mato	54	Rch. da Malva	---	---	---	---
23	Rch. das Laranjeiras	55	Rch. do Roque	---	---	---	---
24	Rch. da Água Fria	56	Rch. da Matinha	---	---	---	---
25	Rch. do Centro	57	Rch. da Onça	---	---	---	---
26	Rch. Dois Paus	58	Rch. da Santa Rita	---	---	---	---
27	Rch. do Escondido	59	Rch. do Anapurus	---	---	---	---
28	Rch. do Mutum	60	Rch. do São Fernando	---	---	---	---
29	Rch. Patos	61	Rch. Ananás	---	---	---	---
30	Rch. Piancó	62	Rch. do Sambaibal	---	---	---	---
31	Rch. da Estiva	63	Rch. do Guarimã	---	---	---	---
32	Rch. do Baixão	64	Rch. da Santana	---	---	---	---
Total			64	6	5	1	2

Fonte: MMA, 2019. Org.: Soares, 2019.

Figura 13 – Mapa de hierarquia fluvial da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

O levantamento do sistema de drenagem da bacia em estudo demonstrou-se relevante ao planejamento do uso e cobertura da terra. “Através do método de Strahler (1952) pode-se relacionar que quanto menos ramificada for a rede de drenagem menor será a eficiência na integração entre os diversos componentes e processos que ocorrem no interior da bacia hidrográfica”. (SILVA *et al.*, 2018, p.253).

O índice de densidade de drenagem encontrado foi de 1,61 km/km², indicando que essa região apresenta média capacidade de drenagem. Valores baixos e médios de drenagem, geralmente estão relacionados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração de precipitação (SILVA *et al.*, 2018), no entanto, pode-se identificar a oeste da bacia uma região de relevo dissecado (Planalto Dissecado do Itapecuru) a qual sofre influência da densidade de drenagem.

A densidade de drenagem da bacia é influenciada tanto pelos tipos de solos, predominando Latossolos Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionário, ambos resistentes a erosão, quanto pela topografia, pois caracteriza em sua parte alta como uma cabeceira de nascente, em processo intenso de dissecação, atenuado pelo tipo de solo, bem drenado com uma capacidade de infiltração.

A densidade de drenagem se constitui como um importante índice, pois representa o grau de dissecação do relevo e funciona como índice demonstrativo do trabalho fluvial de erosão da superfície. Dessa forma, adquire importância como instrumento de análise da paisagem, sobretudo para a identificação de possíveis focos de susceptibilidade geomorfológica (SILVA *et al.*, 2018). Também expressa a quantidade disponível de canais para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas (SANTOS *et al.*, 2012).

O coeficiente de manutenção da bacia é alto (621 m²/m), também demonstrado pelo índice de densidade de drenagem (1,61 km/km²), sendo que pode-se atribuir a estes resultados o fato de baixas declividades (0-3% e 3-8%) e boa capacidade de recarga hídrica (STIPP; CAMPOS; CAVIGLIONE, 2010).

O coeficiente de compacidade (3,04) indica que em condições normais de precipitação a bacia do rio Preto é pouco suscetível a enchentes ou inundações. Desta forma, prevalece o escoamento por ser mais alongada. Já o fator de forma apresentou o valor 0,07, sendo assim, pode-se classificá-la como uma bacia alongada. [...] “em bacias de forma alongada, devido ao menor fator de forma, a precipitação atinge toda a área simultaneamente, evitando concentrações de escoamento superficial”. (SILVA *et al.*, 2018, p.253).

Numa bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a extensão da bacia e também, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo (FERREIRA *et al.*, 2010). Isto significa dizer que, a bacia do rio Preto tem um número significativo de tributários atingindo o rio principal, tornando-a susceptível ao escoamento e comprovando a análise feita para o coeficiente de compacidade.

O resultado do coeficiente de compacidade e fator de forma é reforçado pelo índice de circularidade encontrado, (IC= 0,11) indicando que a bacia é alongada, contribuindo para o processo de escoamento. Portanto, possui menor concentração de deflúvio. Através destes valores, infere-se que a BHRP tem pequeno risco de inundações e cheias instantâneas e com topografia favorável ao escoamento superficial.

Em relação ao índice de rugosidade quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas. Neste sentido, o IR de 193.20 m da BHRP é considerado alto. A rugosidade apresentada sugere acentuado escoamento superficial e as ocorrências erosivas para estes compartimentos, implicando em práticas conservacionistas do solo (SILVA *et al.*, 2018), principalmente, na região norte da bacia onde ocorre os Neossolos Quartzarênicos que têm baixa capacidade de agregação entre as partículas. Além disso, são solos rasos e pouco desenvolvidos.

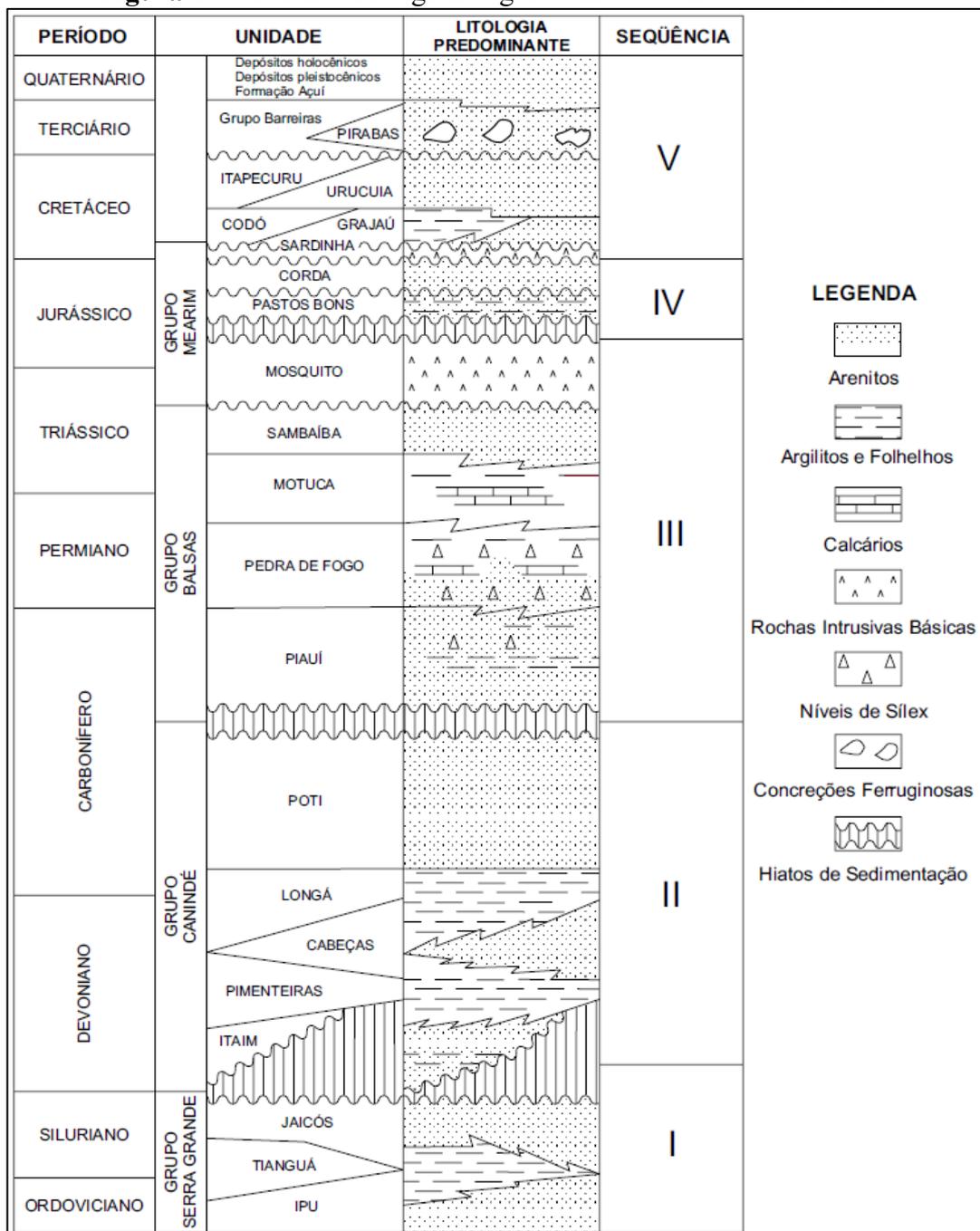
A bacia tem um tempo de concentração de 79:40 h, sendo este o tempo necessário para a gota de chuva se deslocar do ponto mais afastado dela até sua foz. Tal resultado evidencia, novamente, a forma alongada da bacia associado a densa ramificação dos seus canais de drenagem (8ª ordem).

A área de pesquisa está inserida na Província Estrutural do Parnaíba esta, conforme expõe a CPRM (2000), tem seu arcabouço influenciado por feições estruturais do embasamento cristalino. Limita-se a leste, nordeste e sudoeste com rochas de idade pré-cambriana; ao norte é separada das bacias marginais de São Luís e Barreirinhas pelos arcos Ferrer-Rosário-Bacaba e Urbano Santos; a oeste separa-se do Cráton Amazônico pela Faixa Tocantins-Araguaia; e, ao sul separa-se da Bacia do São Francisco pelo arco homônimo.

A coluna sedimentar da bacia apresenta uma espessura da ordem de 3.400 m e pode ser dividida em cinco sequências deposicionais, denominadas de sequências siluro-ordoviciano (I), devoniana (II), carbonífero-triássica (III), jurássica (IV) e cretácica (V)

(Figura 14), separadas por discordâncias regionais e correlacionáveis a eventos tectônicos de natureza global (CPRM, 2000).

Figura 14 – Coluna estratigráfica generalizada da Bacia do Parnaíba



Fonte: CPRM (2000), modificada de Góes *et al.* (1990).

A Bacia do Parnaíba é classificada como intracratônica, com cerca de pouco mais do que 2.500 m de sedimentos e 500 m de rochas básicas, na forma de soleiras e derrames. Localiza-se na região nordeste ocidental brasileira e em partes de áreas vizinhas das regiões nordeste oriental e norte do Brasil, abrange uma área de 600.000 km² (PESSOA; BORGHI,

2005; CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005; ARAÚJO, 2017). Ocupa grandes áreas dos estados do Maranhão e Piauí, e pequenas faixas do leste do Pará, oeste do Ceará, e norte de Tocantins e Goiás (PESSOA; BORGHI, 2005; GASTÃO, 2010; ARAÚJO, 2017). Apresenta forma elíptica, com eixo de maior alongação orientado para NE–SW com um comprimento de aproximadamente 1.000 km (PESSOA; BORGHI, 2005; ARAÚJO, 2017).

A Província Estrutural do Parnaíba tem uma configuração que remonta o Pré-Cambriano e está associado a lineamentos estruturais e faixas de dobramentos que se formaram ou foram reativados durante o Ciclo Brasileiro. Todas as direções dos estratos estão subordinados as principais linhas de fraturamentos NE-SW, NW-SE e N-S (ALMEIDA *et al.*, 1977; LIMA; LEITE, 1978 *apud* PEREIRA; QUERNER, 2000).

Em relação ao processo de formação da Bacia do Parnaíba, Gastão (2010, p.7-8) assevera que:

A bacia teria sido formada por processos de *underplating* (fenômeno de assimilação de porções do manto pela crosta) e estruturas grabeniformes posteriores, seguidos de uma subsidência termal (abatimento litosférico gerado por processos de perda de calor e contração, que ocorre na restauração da estrutura térmica original de regiões previamente aquecidas), que se estendeu do Neoproterozóico até o Mesozóico, quando a abertura do Atlântico teria interrompido o processo.

São definidas duas feições tectônicas de primeira ordem na bacia: um alto tectônico de direção NE-SW que se estende desde o Alto Urbano Santos e o Gráben de Itapecuru-Mirim (CPRM, 2000). A Bacia, além de ser constituída de sedimentos do Paleozoico, é composta também por coberturas mesozoicas e cenozoicas (PESSOA; BORGHI, 2005; GASTÃO, 2010).

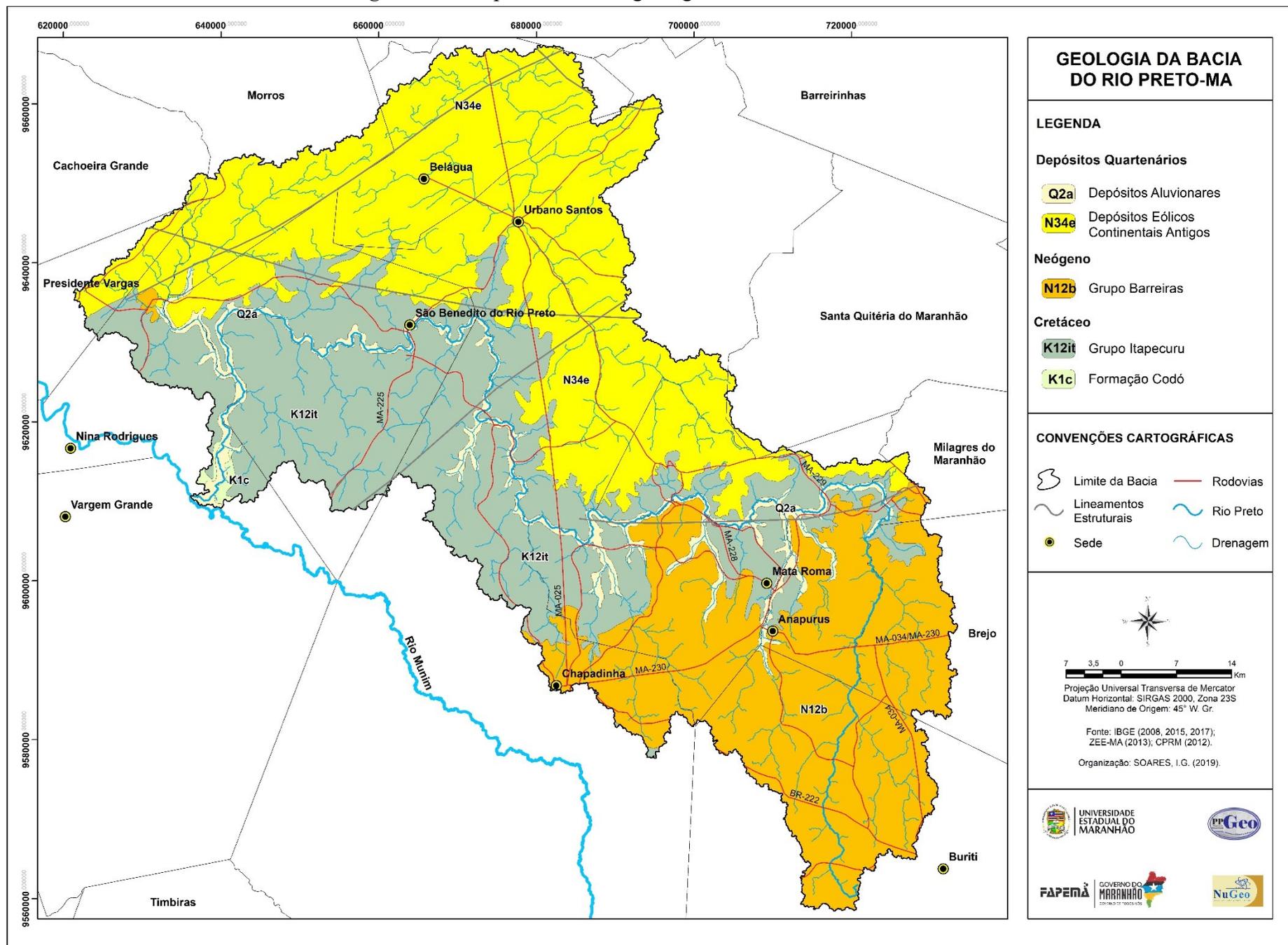
Conforme o exposto, a área-objeto tem suas estruturas geológicas oriundas das deposições sedimentares da bacia sedimentar do Parnaíba. Neste contexto, em relação aos litotipos identificados na BHRP, destacam-se os decorrentes das unidades geológicas: Depósitos Eólicos Continentais Antigos, Depósitos Aluvionares, Grupo Barreiras, Grupo Itapecuru e Formação Codó, em conformidade com a Figura 15 e Tabela 15.

Tabela 15 - Unidades geológicas da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

Unidades litoestratigráficas	Sigla	Área (km ²)	%
Depósitos Aluvionares	Q2a	252,27	4,82
Depósitos Eólicos Continentais Antigos	N34e	1.944,86	37,15
Formação Codó	K1c	12,05	0,23
Grupo Barreiras	N12b	1.381,93	26,39
Grupo Itapecuru	K12it	1.644,53	31,41
Total		5.235,63	100

Fonte: CPRM, 2012; Elaboração: Soares, 2019.

Figura 15 – Mapa de unidades geológicas da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

Os Depósitos Aluvionares são constituídos por areias e argilas que estão sendo transportadas e depositadas pelos rios e igarapés desde os últimos 10 mil anos (LOPES; TEIXEIRA, 2013). Esses depósitos são constituídos por areias médias, mal selecionadas, quartzosas, submaturas a maduras, apresentando intercalações de pelitos, formando os depósitos de canal, de barras de canal e da planície de inundação dos cursos médios dos rios. Originam-se por processos de tração subáqua; compreendendo fácies de canal e barras de canal fluvial (CPRM, 2000). Essa unidade geológica encontra-se as margens do rio Preto e em alguns afluentes de 3ª a 7ª ordem, abrangendo os municípios de Nina Rodrigues, Morros, São Benedito do Rio Preto, Urbano Santos, Chapadinha, Mata Roma, Anapurus, Buriti, Milagres do Maranhão e Brejo.

Conforme Correia Filho *et al.* (2011), os Depósitos Aluvionares ocupam uma área, ao longo das planícies de inundações do rio Preto e dos riachos Caburé, da Alagoinha, da Onça, do Moquém, do Jacu e da Santa Rita. As rochas dessa unidade geológica foram formadas na era Cenozoica.

Os Depósitos Eólicos Continentais Antigos (Pleistoceno Médio até o presente) são caracterizados por campos de dunas fixas constituídos por areias esbranquiçadas, de granulometria fina a média, bem selecionadas e maduras (LOPES; TEIXEIRA, 2013). “São originados por processos eólicos de tração, saltação e suspensão subaérea; fácies de dunas e interdunas de planície costeira”. (CPRM, 2000, p.22). Estes Depósitos sobrepõem-se, a sul o Grupo Itapecuru, a leste o Grupo Barreiras e a norte a Bacia de Barreirinhas e estão localizados nas regiões norte e leste da bacia, compreendendo os municípios de Belágua, Morros, Cachoeira Grande, Presidente Vargas, São Benedito do Rio Preto, Urbano Santos, Anapurus, Santa Quitéria do Maranhão e Milagres do Maranhão.

Em relação ao Grupo Barreiras a CPRM (2000, p.18) expõe que de início esse termo foi utilizado por “Branner (1902) para designar as camadas areno-argilosas de cores variegadas que afloram nas falésias ao longo do litoral do Nordeste brasileiro”. Já Lima e Leite (1978 *apud* CPRM, 2000) incluem no Terciário os sedimentos imaturos que ocorrem sob a forma de extensas coberturas, capeando todas as unidades da Bacia do Parnaíba, como sendo pertencentes ao Grupo Barreiras.

O Grupo Barreiras (Cretáceo Inferior) é constituído por arenitos com inúmeras intercalações de folhelhos de origem fluvial, estuarina e marinha (LOPES; TEIXEIRA, 2013). Suas rochas predominam a montante da área de pesquisa, especificamente, nas regiões da bacia que compreendem os municípios de Anapurus, Chapadinha, Mata Roma, Brejo,

Milagres do Maranhão, Nina Rodrigues e Buriti. Esta unidade geológica teve influência marinha na deposição dos seus litotipos e “repousa sobre unidades mais antigas do Pré-Cambriano até o Paleogeno e é recoberto discordantemente pelos sedimentos de idade quaternária (pleistocênica e holocênica)”. (CPRM, 2000, p.19).

A Formação Itapecuru foi definida primeiramente por Campbell (1949) que aplicou esse nome para arenitos vermelhos a cinza, com siltitos e folhelhos intercalados, que recobriam concordantemente folhelhos (betuminosos) da Formação Codó. Posteriormente, Rossetti e Truckenbrodt (1997) individualizaram três intervalos formacionais distintos na “Formação” Itapecuru, o que os levou a elevá-la à categoria de grupo (PESSOA; BORGHI, 2005).

O Grupo Itapecuru é subdividido em duas unidades, a sequência basal, unidade indiferenciada (Eoalbiano/Neo-Albiano) constituída por aproximadamente 600-800 metros de argilitos e arenitos, e a Formação Alcântara (Neo-Albiano/Cenomaniano). No fim do Cretáceo e início do Terciário foi depositada a Formação Cujupe, que ocorrem na borda norte da bacia de São Luís (CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005).

O Grupo Itapecuru (Cretáceo Superior) é um conjunto de formações composto por variados tipos de rochas, como arenitos argilitos, siltitos, folhelhos intercalados com arenitos depositados em vários ambientes (fluvial, deltaico e lagunar) (LOPES; TEIXEIRA, 2013). Na área de estudo suas rochas afloram nas regiões que compreendem os municípios de Anapurus, Chapadinha, Mata Roma, Brejo, Urbano Santos, Belágua, São Benedito do Rio Preto, Milagres do Maranhão, Nina Rodrigues e Presidente Vargas.

A Formação Codó (Cretáceo Inferior) é constituída, predominantemente, por folhelhos negros, argilitos calcíferos, pelitos, calcário e arenito com gipso de ambiente lagunar (LOPES; TEIXEIRA, 2013). Na área de estudo esta unidade localiza-se na região Oeste, especificamente, no exutório da bacia. O termo Formação Codó foi usado primeiramente por Campbell (1949) para denominar a unidade estratigráfica constituída de folhelhos betuminosos, calcários, lentes e concreções de gipsita, que ocorrem acima da Formação Corda e sob a Formação Itapecuru (CPRM, 2000).

Em uma escala de tempo geológica a Formação Codó compreende a era Mesozoica e sotopõe-se concordantemente aos arenitos da Formação Itapecuru e sobrepõe-se, também concordantemente, aos arenitos da Formação Grajaú (MENDES; BORGHI, 2005).

Mesner e Wooldridge (1964 *apud* CPRM, 2000, p.12) atribuíram paleoambiência lagunar para a Formação Codó e subdividiram-na em três membros: inferior, constituído de folhelhos pretos e betuminosos, com intercalações de lâminas de calcários fossilíferos; médio, constituído de arenitos com fósseis marinhos; e, superior, de folhelhos cinza com fósseis de gastrópodes marinhos.

Para Caputo (1984 *apud* CPRM, 2000, p.12), a Formação Codó mergulha para norte em suave discordância angular com as rochas pré-Codó que mergulham para sul. Ele subdividiu a formação em três partes: basal, lagunar evaporítica; média, marinho-lagunar; e superior, lacustrino-deltaica.

Quanto as unidades geomorfológicas da bacia identificaram-se os Lençóis Maranhenses, Planalto Dissecado do Itapecuru e Tabuleiros de Chapadinha (Tabela 16). A Figura 16 apresenta o mapa temático de geomorfologia que ilustra a espacialização dessas unidades geomorfológicas na BHRP.

Tabela 16 - Unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

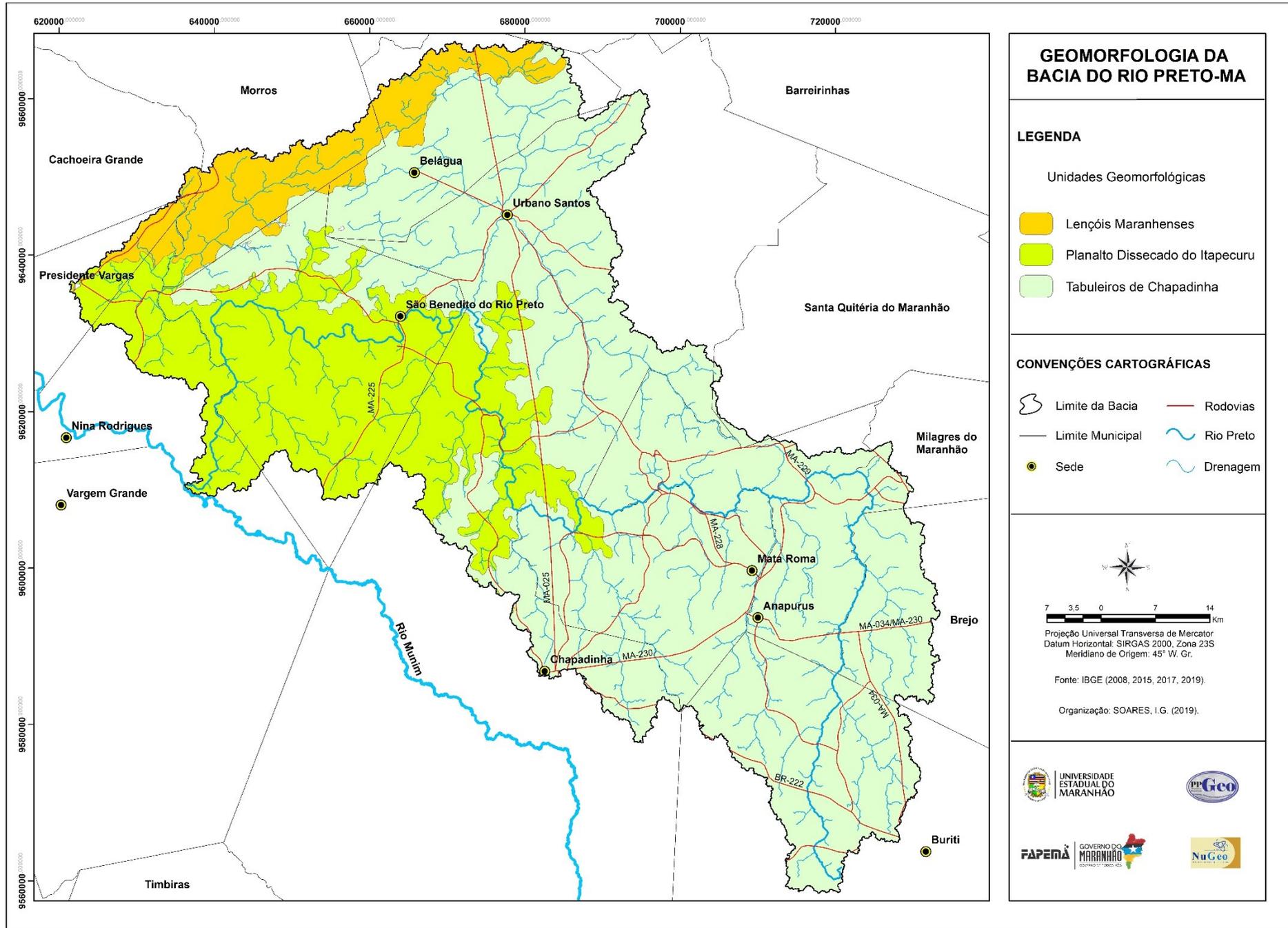
Unidades geomorfológicas	Área (km ²)	%
Planalto Dissecado do Itapecuru	1.284,62	24,54
Lençóis Maranhenses	388,44	7,42
Tabuleiros de Chapadinha	3.559,91	67,99
Corpo D'água	2,66	0,05
Total	5.235,63	100

Fonte: IBGE, 2019; Elaboração: Soares, 2019.

Os Tabuleiros de Chapadinha são sustentados, geralmente, por rochas sedimentares pouco litificadas, de idade neógena, do Grupo Barreiras, sobrepostas a rochas sedimentares da Formação Itapecuru. Consistem de formas de relevo tabulares, apresentando extensos topos planos, com predomínio de processos de pedogênese e formação de solos espessos e bem drenados, com baixa suscetibilidade à erosão (EMBRAPA, 2013, p.51).

Essa unidade geomorfológica ocupa extensa superfície tabular não dissecada a sul dos vastos campos de dunas fixas dos Lençóis Maranhenses. Esses tabuleiros são sustentados por sedimentos do Grupo Barreiras, sendo, frequentemente, capeados por coberturas detrito-lateríticas bem elaboradas (DANTAS *et al.*, 2013, p.42). Os Tabuleiros são a unidade mais abrangente envolvendo cerca de 70% da bacia e estão presentes nos municípios de Anapurus, Chapadinha, Mata Roma, Urbano Santos, Belágua, São Benedito do Rio Preto, Milagres do Maranhão, Morros, Buriti, Brejo e Santa Quitéria do Maranhão.

Figura 16 – Mapa de unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

A unidade é delimitada, a norte, pelos Lençóis Maranhenses; a leste, pelo baixo vale do rio Parnaíba; a sul e oeste, pelas Superfícies Tabulares da Bacia dos rios Munim e Itapecuru. É representada por extensa superfície planáltica conservada e demarcada por curtos rebordos erosivos, com caimento muito suave de sul para norte, apresentando baixíssima densidade de drenagem, todavia, ligeiramente mais elevada que as superfícies dissecadas circunjacentes. Essa vasta superfície tabular registra, portanto, cotas baixas, que variam entre 80 e 120 m (DANTAS *et al.*, 2013, p.42).

Ainda conforme Dantas *et al.* (2013, p.42) acima desses baixos platôs não dissecados desenvolvem-se solos muito profundos (>2.0 m), bem drenados e de baixa fertilidade natural, predominando, nas planuras dos topos dos baixos platôs, Latossolos Amarelos distróficos, e, nas áreas levemente dissecadas, Plintossolos Pétricos concrecionários argissólicos e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos petroplínticos.

A unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Itapecuru encontra-se a oeste da bacia, mais especificamente nos municípios de Chapadinha, Urbano Santos, Belágua, São Benedito do Rio Preto, Nina Rodrigues, Presidente Vargas e Morros.

Com altitudes entre 140 e 200 m caracteriza-se por colinas e morros onde ocorrem solos Podzólicos Vermelho-Amarelos concrecionários, em siltitos e argilitos com intercalações de arenitos argilosos da Formação Itapecuru. Entre esses relevos observam-se vales pedimentados com Podzólicos Vermelho-Amarelos eutróficos derivados dos folhelhos, siltitos argilosos, calcários e margas da Formação Codó. Em alguns trechos destacam-se relevos residuais de topo plano e colinas, recobertos por Latossolos Amarelos. [...]. (IBGE, 1997, não paginado).

Conforme o IBGE (2019), trata-se de um conjunto de chapadas e relevos dissecados com a ocorrência de vales pedimentados. O substrato geológico inclui predominantemente arenitos e argilitos cretácicos da Formação Itapecuru. As formas de dissecação apresentam variadas dimensões e são definidas por vales com entalhes fracos a medianos. Predominam feições de topos convexos, com ocorrência também de feições de topos tabulares e eventuais feições de topos aguçados. Os topos das chapadas e mesas residuais preservam restos da pediplanação mais antiga (Pediaplano degradado inumado). Nas partes topograficamente rebaixadas, planos retocados inumados ou desnudados indicam a atuação dos processos de pediplanação cenozoicos.

A unidade geomorfológica Lençóis Maranhenses está presente na região norte da bacia e abrange as regiões dos municípios de Belágua, São Benedito do Rio Preto, Nina Rodrigues, Presidente Vargas, Cachoeira Grande e Morros. De acordo com Dantas *et al.* (2013, p.39) essa unidade geomorfológica

Situa-se entre a linha de costa e a planície fluvial do rio Munim e os Tabuleiros Costeiros da região de Chapadinha, sendo que estes são, em grande parte, sustentados por rochas sedimentares pouco litificadas do Grupo Barreiras.

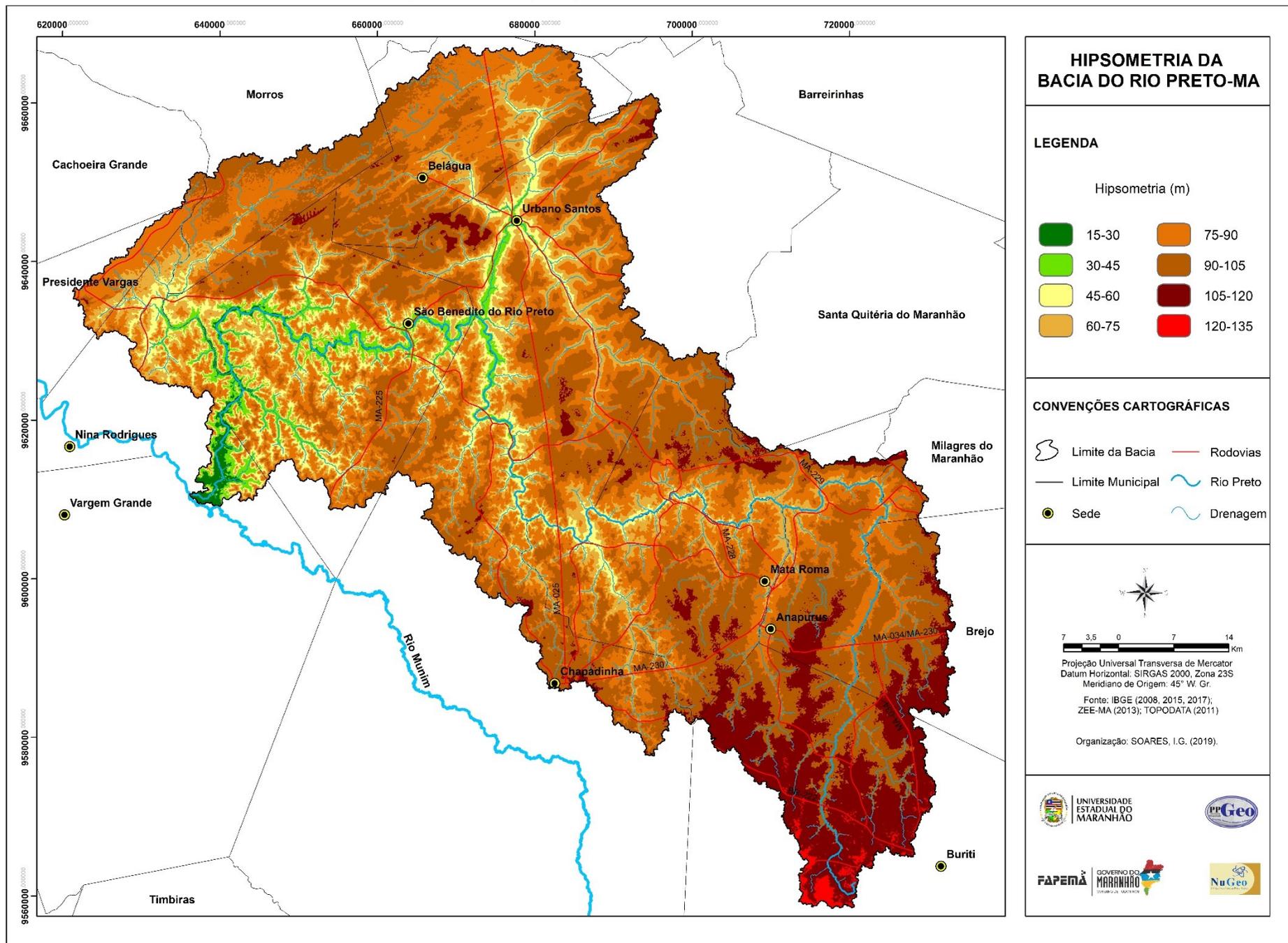
Esse domínio abrange diversificado conjunto de padrões de relevo deposicionais de origem eólica e representa a mais extensa área de sedimentação eólica de idade quaternária no Brasil, apresentando grande diversidade de dunas, tais como barcanas e parabólicas, entre as principais (GONÇALVES *et al.*, 2003). Predominam solos essencialmente quartzosos, muito profundos, com pequena adesão e coesão entre suas partículas, com baixa capacidade de retenção de umidade e de nutrientes, correspondendo a Neossolos Quartzarênicos.

Essa unidade pode ser subdividida de duas maneiras, a saber: dunas móveis e as fixas. As dunas móveis ocupam áreas mais restritas junto à linha de costa, próximo às localidades de Santo Amaro do Maranhão, Barreirinhas, Paulino Neves e Tutóia. Em sua retaguarda, desenvolvem-se vastos campos de dunas fixas sobre planícies quaternárias ou galgando os tabuleiros costeiros, revestidas com vegetação pioneira ou de campo-cerrado. Esses campos de dunas, que se espalham em meio aos tabuleiros do Grupo Barreiras, estendem-se de 50 a 120 km no interior do continente, atingindo as localidades de Urbano Santos e Santana do Maranhão (DANTAS *et al.*, 2013). Essas dunas fixas são os tipos dunares que abrangem a bacia.

Os Lençóis Maranhenses são constituídos por sedimentos eólicos inconsolidados de idade holocênica. São terrenos arenosos e bem selecionados, que, quando revestidos de vegetação, geram Neossolos Quartzarênicos órticos e, subordinadamente, Latossolos Amarelos distróficos, principalmente em direção ao interior, como é o caso da área de estudo, onde se verifica maior participação dos sedimentos do Grupo Barreira. “As áreas de dunas são protegidas por lei e destinadas à preservação da fauna e da flora. Se submetidas ao uso, este deve ser de maneira sustentável, com a elaboração de planos de manejo, conforme Resolução CONAMA nº 303 (BRASIL, 2002)”. (DANTAS *et al.*, 2013, p.40-41).

Na área de pesquisa predominam elevações entre 75 a 105 m (Figura 17 e Tabela 17), o que envolve 65,46% da área da bacia. As cotas mais baixas estão representadas em relevos com altitudes de 15 a 45 m a qual encontram-se mais a jusante da bacia, especificamente na área drenada pelo rio Preto desde o seu exutório no município de Nina Rodrigues até as localidades de São Benedito do Rio Preto e Chapadinha.

Figura 17 – Mapa hipsométrico da bacia do rio Preto - MA



HIPSOMETRIA DA BACIA DO RIO PRETO-MA

LEGENDA

Hipsometria (m)

15-30	75-90
30-45	90-105
45-60	105-120
60-75	120-135

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

	Limite da Bacia		Rodovias
	Limite Municipal		Rio Preto
	Sede		Drenagem

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, Zona 23S
 Meridiano de Origem: 45° W. Gr.
 Fonte: IBGE (2008, 2015, 2017); ZEE-MA (2013); TOPODATA (2011)
 Organização: SOARES, I.G. (2019).

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

FAPEMA GOVERNO DO MARANHÃO

ppGeo NuGeo

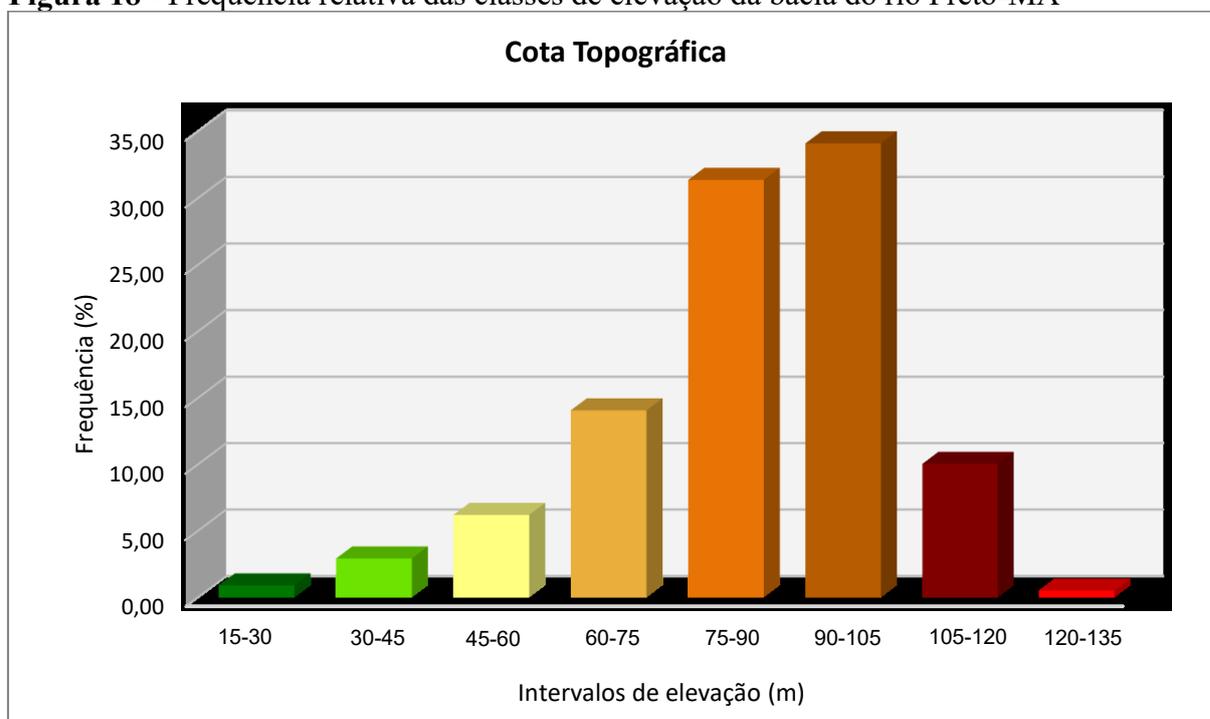
Fonte: Soares, 2021.

Tabela 17 - Hipsometria da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

Altitude (m)	Altitude média	Área (km ²)	Área relativa (%)	Média ponderada	Frequência acumulada
15-30	22,5	45,96	0,01	0,88	0,88
30-45	37,5	152,11	0,03	2,91	3,78
45-60	52,5	323,95	0,06	6,19	9,97
60-75	67,5	735,73	0,14	14,05	24,02
75-90	82,5	1.641,76	0,31	31,36	55,38
90-105	97,5	1.785,37	0,34	34,10	89,48
105-120	112,5	524,95	0,10	10,03	99,51
120-135	127,5	25,80	0,00	0,49	100
Total		5.235,63	1,00	100	85,05 m

Elaboração: Soares, 2019.

A amplitude altimétrica da bacia corresponde a 120 m ao passo que em média identifica-se cotas topográficas com cerca de 85 m, sendo que os intervalos de elevação entre 75-90 m e 90-105 m detêm a maior frequência na área de pesquisa com 31% e 34%, respectivamente, já as altitudes entre 15-30 m e 120-135 m são menos frequentes, ambas com menos de 1% de ocorrência (Figura 18).

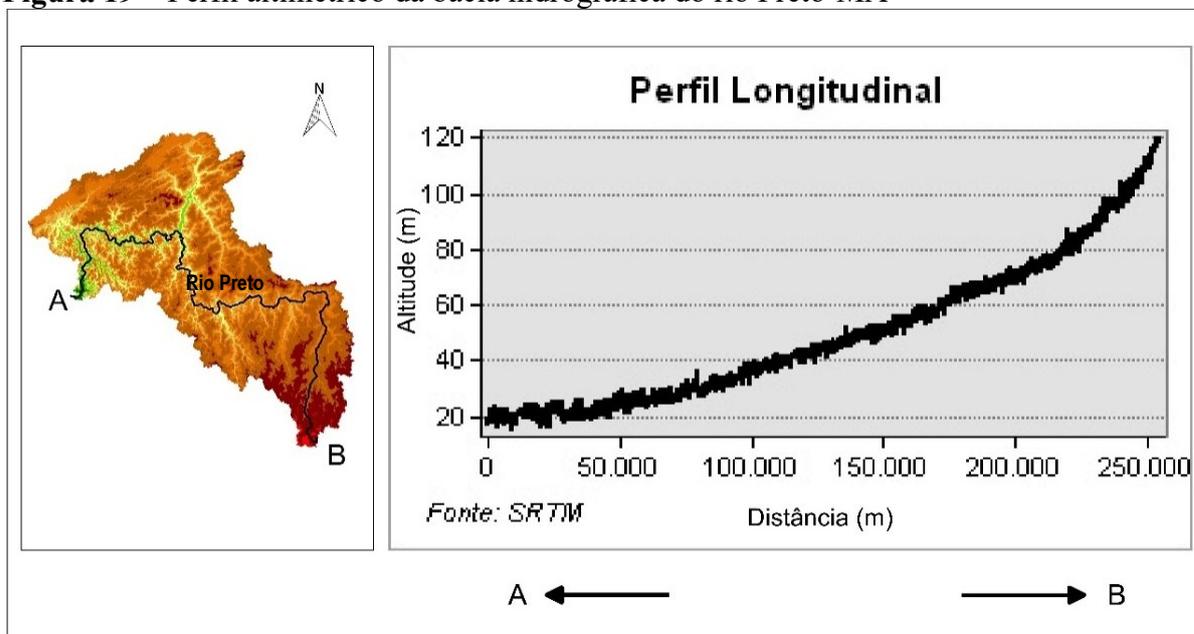
Figura 18 - Frequência relativa das classes de elevação da bacia do rio Preto-MA

Elaboração: Soares, 2019.

Verificou-se a partir do perfil longitudinal da bacia (Figura 19) que próximo a nascente as altitudes condizem a 120 m, ou seja, abaixo das cotas adjacentes que chegam próximos de 135 m. Esta diferença topográfica relaciona-se ao fato que na nascente a erosão é mais intensa levando-se em consideração a dinâmica natural de uma bacia. Já no exutório a altitude equivale a cerca de 20 m, predominando o processo de deposição de sedimentos.

Salienta-se que em algumas regiões do município de Urbano Santos identificou-se altitudes entre 105-120 m (Figura 17). Nas áreas com esse intervalo de elevação existem cultivos de eucalipto, já a montante da bacia comumente nessas cotas hipsométricas ocorrem plantio de soja como é o caso dos municípios de Mata Roma, Buriti, Brejo e Anapurus.

Figura 19 – Perfil altimétrico da bacia hidrográfica do rio Preto-MA



Elaboração: Soares, 2019.

Um atributo que facilita a compreensão do relevo em bacias hidrográficas é a declividade. Beltrame (1994 *apud* SANTOS, 2012, p.224) “salientou que a declividade do terreno exerce grande influência na maior ou menor infiltração da água da chuva e na velocidade do escoamento superficial, contribuindo assim para o processo erosivo”.

Ainda em relação a declividade, Valeriano (2008, p.26) acrescenta e corrobora argumentado que:

Devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), a declividade do terreno é uma variável básica

para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial. Podemos dizer que todos os métodos de avaliação de terras ou planejamento conservacionista, baseados em modelagem numérica ou em decisões lógicas, lidam com a variável declividade. Além dessas aplicações, também figura entre as variáveis de evidente aplicação na interpretação geomorfológica.

É imprescindível entender o que vem a ser declividade, ou seja, sua definição. Neste sentido, Valeriano (2008, p.26) define declividade como sendo “o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Seus valores podem variar de 0° a 90°, embora seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero a infinito”.

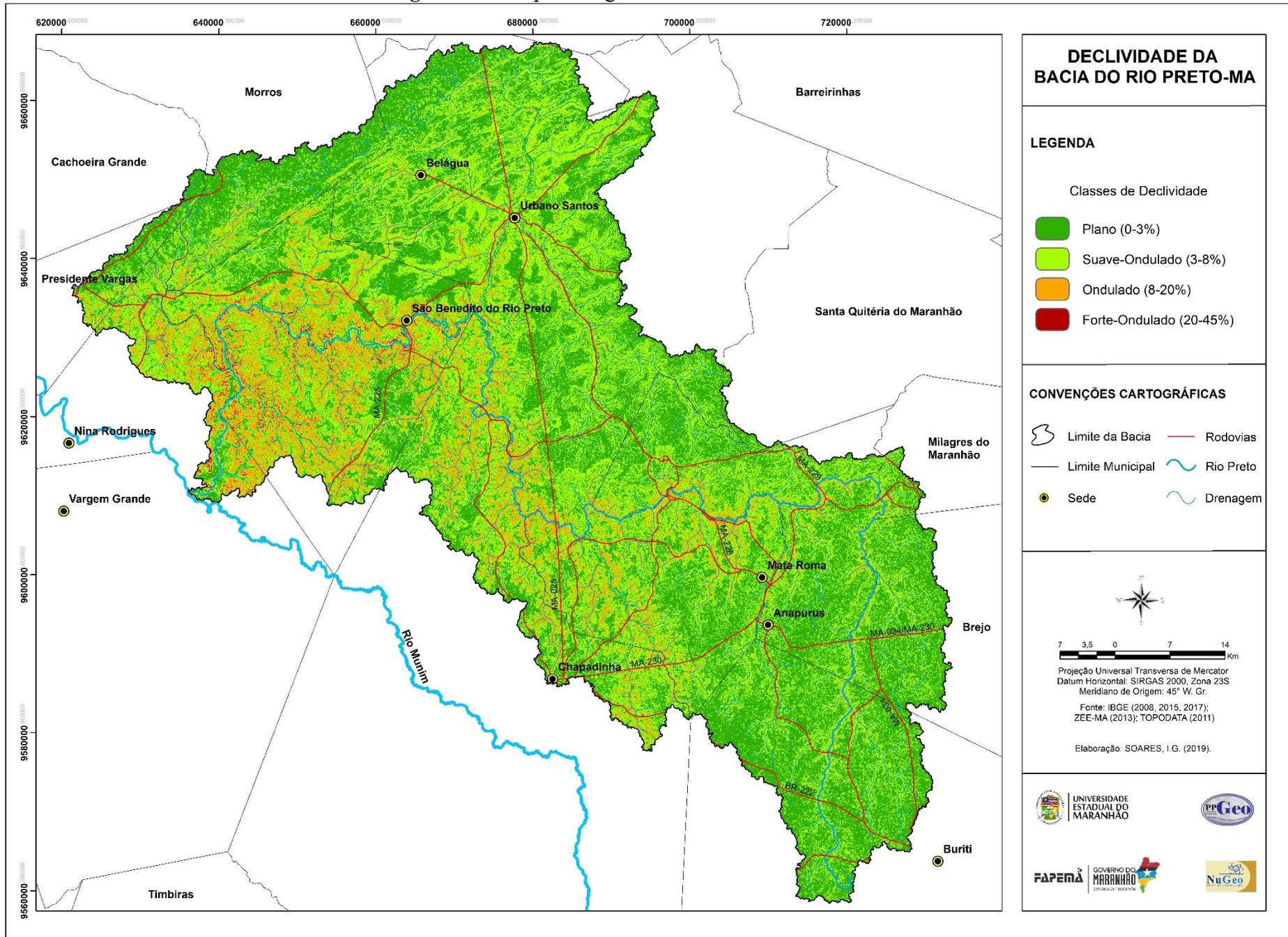
A declividade da bacia caracteriza-se por formas de relevo situadas entre plano a forte-ondulado (Figura 20 e Tabela 18). As maiores declividades estão situadas às margens dos canais de drenagem da bacia, principalmente nos afluentes de 4ª a 8ª ordem. Essas altas declividades são bastante expressivas na região da bacia que compreende o município de São Benedito do Rio Preto e Nina Rodrigues. As formas de relevo plano (0-3%) e suave-ondulado (3-8%) predominam envolvendo 89,75% da área de estudo. São as regiões onde se encontram as atividades agrícolas, assim como o cultivo de eucalipto e as paleodunas ao norte da bacia.

Tabela 18 - Declividade e formas de relevo da bacia do rio Preto-MA

Declividade (%)	Declividade Média	Formas de Relevo	Área (km²)	Área Relativa	(%)	Média Ponderada	Frequência Acumulada
0-3	1,5	Plano	2.422,12	0,46	46,26	0,69	46,26
3-8	5,5	Suave-Ondulado	2.276,98	0,43	43,49	2,39	89,75
8-20	14	Ondulado	517,21	0,10	9,88	1,38	99,63
20-45	32,5	Forte-Ondulado	19,32	0,00	0,37	0,12	100
Total			5.235,63	1	100	4,59%	

Org.: Soares, 2019.

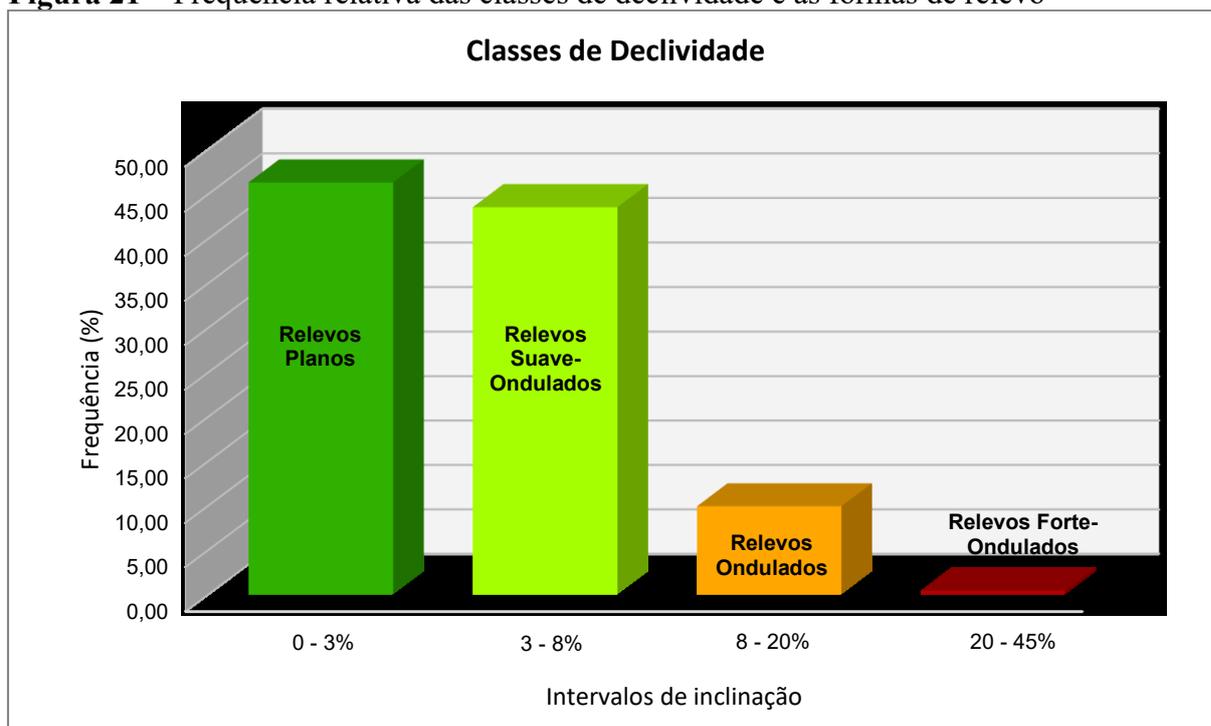
Figura 20 – Mapa clinográfico da bacia do rio Preto-MA



Fonte: Soares, 2021.

A média de declividade na bacia consiste em 4,59%, já em relação a frequência das formas de relevo (Figura 21) o destaque está nos relevos planos com 46,26% e suave-ondulados com cerca de 43,50%, o contrário constata-se nos relevos forte-ondulados com ocorrência abaixo de 1% na área-objeto.

Figura 21 – Frequência relativa das classes de declividade e as formas de relevo



Elaboração: Soares, 2019.

Nesse contexto, salienta-se que a oeste da bacia, principalmente, no município de São Benedito do Rio Preto (Figura 20) tem-se um relevo mais dissecado, porém não é decorrente da atuação antrópica e sim da ação natural dos agentes exógenos modeladores do relevo, a exemplo da atividade da chuva.

Em relação ao que foi apresentado no tocante ao aspecto geomorfológico contata-se que na bacia do rio Preto prepondera relevos planos e com expressiva ocorrência de tabuleiros. O Quadro 6 expõe as formas de relevo da área de pesquisa com base no que foi discutido nesta seção do presente trabalho.

Quadro 6 – Síntese das formas de relevo da bacia do rio Preto - MA

FORMAS GEOMORFOLÓGICAS		
DOMÍNIO MORFOESTRUTURAL	UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	SUB-UNIDADES LOCAIS DE RELEVOS
Bacia do Parnaíba	Planalto Dissecado do Itapecuru	Baixos platôs dissecados, chapadas, colinas e morros
	Lençóis Maranhenses	Dunas fixas
	Tabuleiros de Chapadinha	Tabuleiros, baixos platôs

Org.: Soares, 2020.

Os solos identificados na bacia são os Latossolos Amarelos distróficos, Neossolos Quartzarênicos órticos, Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários, Plintossolos Pétricos concrecionários e Plintossolos Argilúvicos distróficos (Tabela 19 e Figura 22).

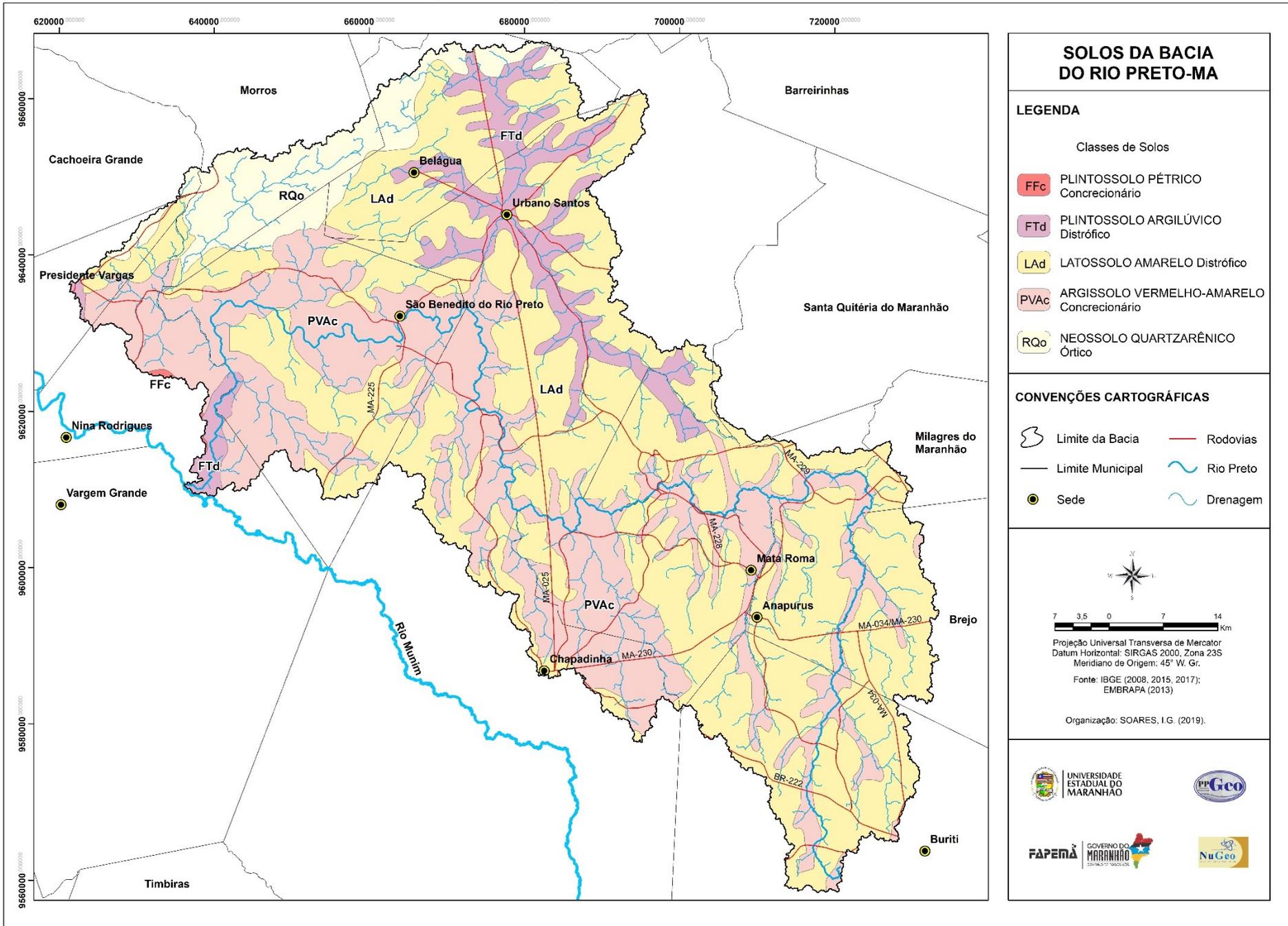
Tabela 19 - Classes de solos da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

Classes de solos	Sigla	Área (km ²)	%
Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário	PVAc	1.672,05	31,94
Latossolo Amarelo distrófico	LAd	2.755,69	52,63
Neossolo Quartzarênico órtico	RQo	364,02	6,95
Plintossolo Argilúvico distrófico	FTd	440,49	8,41
Plintossolo Pétrico concrecionário	FFc	3,38	0,06
Total		5.235,63	100

Fonte: ZEE-MA, 2013. Org.: Soares, 2019.

Os Latossolos Amarelos, conforme a EMBRAPA (2013), são solos profundos, bem acentuadamente drenados, com horizontes de coloração amarelada, de textura variando de média a muito argilosa no horizonte B, sendo predominantemente distróficos, ocorrendo também álicos, com elevada saturação de alumínio e teores de nutrientes muito baixos. Estes solos são encontrados em áreas de topos de chapadas, ora baixas e dissecadas, ora altas e com extensões consideráveis, apresentando relevo plano com pequenas e suaves ondulações, tendo como material de origem mais comum, as coberturas areno-argilosas e argilosas, derivadas ou sobrepostas às formações sedimentares.

Figura 22 – Mapa de solos da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

Na área-objeto, os Latossolos Amarelos distróficos encontram-se nos municípios de Anapurus, Chapadinha, Mata Roma, Urbano Santos, Belágua, São Benedito do Rio Preto, Milagres do Maranhão, Morros, Buriti, Brejo, Santa Quitéria do Maranhão, Cachoeira Grande, Presidente Vargas e Nina Rodrigues, o que envolve 52,63% da área da bacia. O uso atual associa-se ao cultivo do arroz, feijão, milho, mandioca e soja. Embora sendo solos de baixa fertilidade natural, têm, entretanto, ótimo potencial agrícola e pecuário (GEPLAN, 2002; CORREIA FILHO *et al.*, 2011).

Os Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários cobrem 31,94% da bacia e envolvem toda a área drenada pelo rio Preto, abrange áreas dos municípios de Anapurus, Chapadinha, Mata Roma, Urbano Santos, Belágua, São Benedito do Rio Preto, Milagres do Maranhão, Morros, Buriti, Brejo, Presidente Vargas e Nina Rodrigues. A EMBRAPA (2013) expõe que esses solos apresentam limitações ao manejo e à mecanização, decorrentes da grande quantidade de calhaus e cascalhos na superfície e dentro dos perfis. Por outro lado, são relativamente bem drenados, retêm umidade e matéria orgânica de maneira razoável e são bem resistentes à erosão.

Os Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários compreende solos com horizonte B textural e tem, nos seus perfis, grande quantidade de calhaus e cascalhos constituídos de concreções de ferro que foram originariamente formadas *in situ* pelo endurecimento irreversível de plintita, ou mesmo transportadas. Esses solos têm entre o horizonte A e o horizonte plíntico subjacente, um horizonte B sem plintita e contendo concreções de ferro de permeio com o material terroso de cores vivas (Vermelhas, Amarelo Avermelhadas e Vermelho-Amareladas) (EMBRAPA, 2013). Distribuem-se em áreas de encostas de chapadas e topo destas e com relevo que varia de plano ao forte ondulado. Quanto ao uso atual, estes solos constituem em um dos principais suportes dos babaçuais nativos; são aproveitados com culturas de subsistência destacando-se mandioca, milho, feijão, arroz, alguma fruticultura (manga, caju, banana, etc.), além do extrativismo do coco babaçu (GEPLAN, 2002; CORREIA FILHO *et al.*, 2011).

Os Neossolos Quartzarênicos são solos minerais, derivados de sedimentos arenoquartzosos do Grupo Barreiras do período do Terciário e sedimentos marinhos do período do Holoceno. Normalmente, são profundos a muito profundos, com textura areia ou areia franca, são excessivamente drenados e pouco desenvolvidos, devido à baixa atuação dos processos pedogenéticos e pela resistência do material de origem ao intemperismo (EMBRAPA, 2013). “Apresentam-se em relevo plano e suave-ondulado. Quanto ao uso

agrícola, são pouco aproveitados, tendo em vista a baixa fertilidade natural, textura muito arenosa e acidez elevada, que requer muita adubação orgânica e correção de pH". (GEPLAN, 2002, p.20). Estes solos estão presentes na região norte da bacia, nos municípios de Morros, Belágua, Cachoeira Grande, São Benedito do Rio Preto e Presidente Vargas com uma cobertura de 6,95% da bacia.

Os Plintossolos são solos de textura média e argilosa, que têm restrição à percolação d'água, sujeitos ao efeito temporário do excesso de umidade e se caracterizam por apresentar horizonte plíntico, podendo ser álicos, distróficos e eutróficos (EMBRAPA, 2013). Na bacia, ocupam áreas de relevo, predominantemente, plano ou suavemente ondulado e se originam a partir das formações sedimentares.

Quanto ao uso agrícola, observa-se nesses solos, além do extrativismo do coco babaçu, uma diversidade de culturas, tais como mandioca, arroz, feijão, milho, fruticultura (manga, caju, banana, etc.) e a pecuária extensiva, principalmente bovina. Em áreas com relevo plano e suavemente ondulado, esses solos favorecem o uso de máquinas agrícolas, porém devem ser observados os cuidados para evitar os efeitos da erosão, sobretudo quando se cultivam espécies de ciclo curto (CORREIA FILHO *et al.*, 2011; EMBRAPA, 2013).

Quando os solos apresentam petroplintita, nódulos e concreções lateríticas, são denominados Plintossolos Pétricos. A petroplintita pode estar presente em quantidades, formas e intensidades de cimentação variáveis; pode ocorrer desde a superfície, ou ter início em diversas profundidades abaixo dela. Em profundidade, a petroplintita precede o horizonte plíntico e a cimentação é tipicamente de intensidade decrescente em relação à gradação para o horizonte plíntico subjacente (EMBRAPA, 2013, p.75).

Os Plintossolos Pétricos concrecionários são usados apenas para pastoreio extensivo quando sob vegetação campestre ou de Campo Cerrado, ou com pasto plantado com espécies forrageiras rústicas (IBGE, 2007). Esses solos abrangem a região oeste da bacia em uma área diminuta localizada no município de Nina Rodrigues e apresentam um horizonte ou camada concrecionário ou litoplíntico, com sérias restrições ao uso agrícola devido ao enraizamento das plantas, entrase ao uso de equipamentos agrícolas e pouco volume de solo disponível para as plantas. Nestes solos, pastagens constituem o uso mais comum (ALMEIDA; ZARONI; SANTOS, 2019).

Os Plintossolos Argilúvicos distróficos são caracterizados pelo IBGE (2007, p.303):

Possuem horizonte ou camada de acumulação de argila abaixo do horizonte A superficial. Apresentam drenagem variável, podendo ocorrer excesso de água temporário até excesso prolongado de água durante o ano, têm como característica diagnóstica a presença do horizonte plíntico que é identificado principalmente por cores mosqueadas ou variegadas, compostas de tons desde vermelhos a acinzentados [...] têm manejo agrícola bastante delicado, que necessita de bom controle de sua dinâmica hídrica interna, já que pode ter como consequência o endurecimento da plintita.

Os Plintossolos Argilúvicos distróficos estão presentes na foz da bacia, assim como, na região nordeste da área de pesquisa, abrangem os municípios de Belágua, Urbano Santos, Anapurus, Presidente Vargas, São Benedito do Rio Preto e Nina Rodrigues.

Na bacia ocorre a Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial) que se caracteriza pela sua formação densa, com árvores altas, no entanto, devido à ação antrópica através do desmatamento, as espécies dessa floresta se encontram espaçadas e intercaladas por formações secundárias arbustivas (CORREIA FILHO *et al.*, 2011).

Além da formação florestal mencionada, identifica-se a presença da Floresta Estacional Decidual (Floresta Tropical Caducifólia) que se caracteriza por apresentar árvores de médio porte que perdem suas folhas durante o período de estiagem (CORREIA FILHO *et al.*, 2011).

A Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia) também ocorre na área de estudo, conforme a EMBRAPA (2013, p.109-110):

O conceito ecológico deste tipo florestal é estabelecido em função da ocorrência de clima estacional, que determina semideciduidade da folhagem da cobertura florestal. Na zona tropical, associa-se à região marcada por acentuada seca hiberna (própria do inverno) e por intensas chuvas de verão; na zona subtropical, correlaciona-se a clima sem período seco, porém com inverno bastante frio (temperaturas médias mensais inferiores a 15 °C), que determina repouso fisiológico e queda parcial da folhagem.

Conforme o IBGE (2012, p.93), “Ao contrário das florestas ombrófilas, este tipo é constituído por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas (catáfilos ou pelos) e cujas folhas adultas são esclerófilas ou membranáceas decíduais”.

O Quadro 7 expõe as classes de vegetação identificadas nos municípios que são banhados pela BHRP, assim, como as espécies que são encontradas neles. É importante destacar que foi elencado os aspectos da vegetação dos municípios que têm uma abrangência significativa em termos de área banhada ou abrangida pela bacia.

Quadro 7 - Características da vegetação dos municípios banhados pela bacia do rio Preto

Municípios	Características da vegetação
Anapurus	A vegetação predominante é do tipo Cerrado constituída por árvores e arbustos com altura variando de 3 a 8 m, estruturada em dois estratos: um arbóreo/arbustivo com árvores esparsas e retorcidas e outro herbáceo/gramíneo. As espécies mais comuns são: o Araticum, a Sucupira Preta, o Murici, o Pequi, a Faveira, o Ipê e o Ipê Amarelo. As Palmáceas presentes no município são a Carnaúba, o Buriti e o Babaçu.
Brejo	
Buriti	
Chapadinha*	
Belágua	A vegetação é formada pela Floresta Estacional com formações com influência marinha e flúvio-marinha (IMESC, 2008).
Mata Roma	A vegetação é composta por Floresta Estacional com encaves de mata dos cocais (IMESC, 2008).
Milagres do Maranhão	
Morros	A vegetação é composta pela Floresta Decidual com encaves de Floresta Ombrófila (IMESC, 2008).
Nina Rodrigues	A vegetação é composta por encaves da Floresta Ombrófila e pela Floresta Estacional Decidual (IMESC, 2008).
Presidente Vargas	A vegetação é composta pelos Biomas Amazônia e Cerrado com a presença de árvores espaçadas (IMESC, 2008).
São Benedito do Rio Preto	A vegetação é composta por Floresta Ombrófila e Floresta Estacional (IMESC, 2008).
Urbano Santos	A cobertura vegetal caracteriza-se pelo contato de diversas fitofisionomias, destacando se: a floresta estacional semi-decidual e a vegetação de cerrado (PINHEIRO; SOUSA; MENEZES, 2005, p.2535).

Fonte: Correia Filho *et al.* (2011). Org.: Soares (2018). *árvores e arbustos com altura variando de 3 a 4 m.

As tipologias de vegetação identificadas nos municípios banhados pela bacia do rio Preto apresentam algum nível de alteração em relação à paisagem original, em função da presença de atividades produtivas pouco intensivas ou de subsistência, como as pastagens naturais. Ou seja, ocorre interferências antrópicas decorrentes do uso da terra como é caso da pecuária, agricultura de subsistência (arroz, feijão, milho, mandioca, etc.). Na próxima seção discorre-se sobre essas interferências sobre a cobertura vegetal nativa.

5 ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA

Na área de estudo existem atores sociais com interesses específicos em relação ao uso da terra, de um lado tem-se o camponês com seu modo de vida baseado na agricultura de subsistência e do outro o empresariado voltado para o agronegócio, especificamente para o cultivo de monoculturas (soja, eucalipto). Esse último ator social tem causado um impacto significativo na dinâmica do uso da terra na bacia (SOARES, 2018).

Face ao exposto, faz-se necessário definir de antemão os termos campesinato e camponês. Neste sentido, o campesinato neste trabalho é entendido de acordo com a concepção de Costa e Carvalho (2012, p.115), que o definem como:

O conjunto de famílias camponesas existentes em um território. As famílias camponesas existem em territórios, isto é, no contexto de relações sociais que se expressam em regras de uso (instituições) das disponibilidades naturais (biomas e ecossistemas) e culturais (capacidades difusas internalizadas nas pessoas e aparatos infraestruturais tangíveis e intangíveis) de um dado espaço geográfico politicamente delimitado.

Camponesas são famílias que, tendo acesso à terra e aos recursos naturais que ela suporta, resolvem seus problemas reprodutivos – suas necessidades imediatas de consumo e o encaminhamento de projetos que permitam cumprir adequadamente um ciclo de vida da família – mediante a produção rural, desenvolvida de tal maneira que não se diferencia o universo dos que decidem sobre a alocação do trabalho dos que se apropriam do resultado dessa alocação (COSTA, 2000).

A bacia do rio Preto banha, predominantemente, a Mesorregião Leste Maranhense, de acordo com Nascimento (2010, p.12), é uma região onde há o predomínio da agricultura camponesa e extrativista com destaque para as culturas temporárias de arroz, milho, feijão e mandioca e com predominância do extrativismo de babaçu, carnaúba, pequi e bacuri, sendo o primeiro, o mais significativo na economia regional e também na economia camponesa.

A Figura 23 (a) mostra um cultivo de mandioca no povoado Bacuri e a Figura 23 (b) uma casa de farinha localizada no povoado Bacabal ambas situadas no município de Chapadinha. É comum o uso dessas instalações pelas famílias camponesas dos municípios da microrregião de Chapadinha.

Figura 23 – Plantio de mandioca (A) e casa de farinha (B) na zona rural de Chapadinha



Fonte: Santos, 2019.

O milho é uma cultura temporária utilizada pelas famílias camponesas em sua alimentação e também para nutrição de animais, o arroz, por sua vez, também faz parte da alimentação campesina. Vale destacar que essas culturas são cultivadas nos quintais dos moradores da zona rural da área de estudo. A Figura 24 (a) evidencia uma plantação de milho no quintal de um morador residente no povoado Barra no município de Buriti, já a Figura 24 (b) expõe a cultura do arroz em Buriti no povoado Baixinha.

Figura 24 – Plantio de milho (A) e arroz (B) na zona rural de Buriti



Fonte: Santos, 2019.

Ainda em relação aos camponeses, em específico os que vivem nos municípios do Leste Maranhense, sua economia baseada na produção de alimentos se caracteriza pela apropriação e manejo de diferentes recursos naturais, sobretudo de dois distintos ambientes – as áreas chamadas regionalmente de *baixo* que, conforme Paula Andrade (2008), são áreas bastante úmidas próximas a rios e riachos e aquelas de *chapadas*, classificadas como áreas constituídas de terrenos planos, com presença de árvores de porte baixo, esparsas e de uma

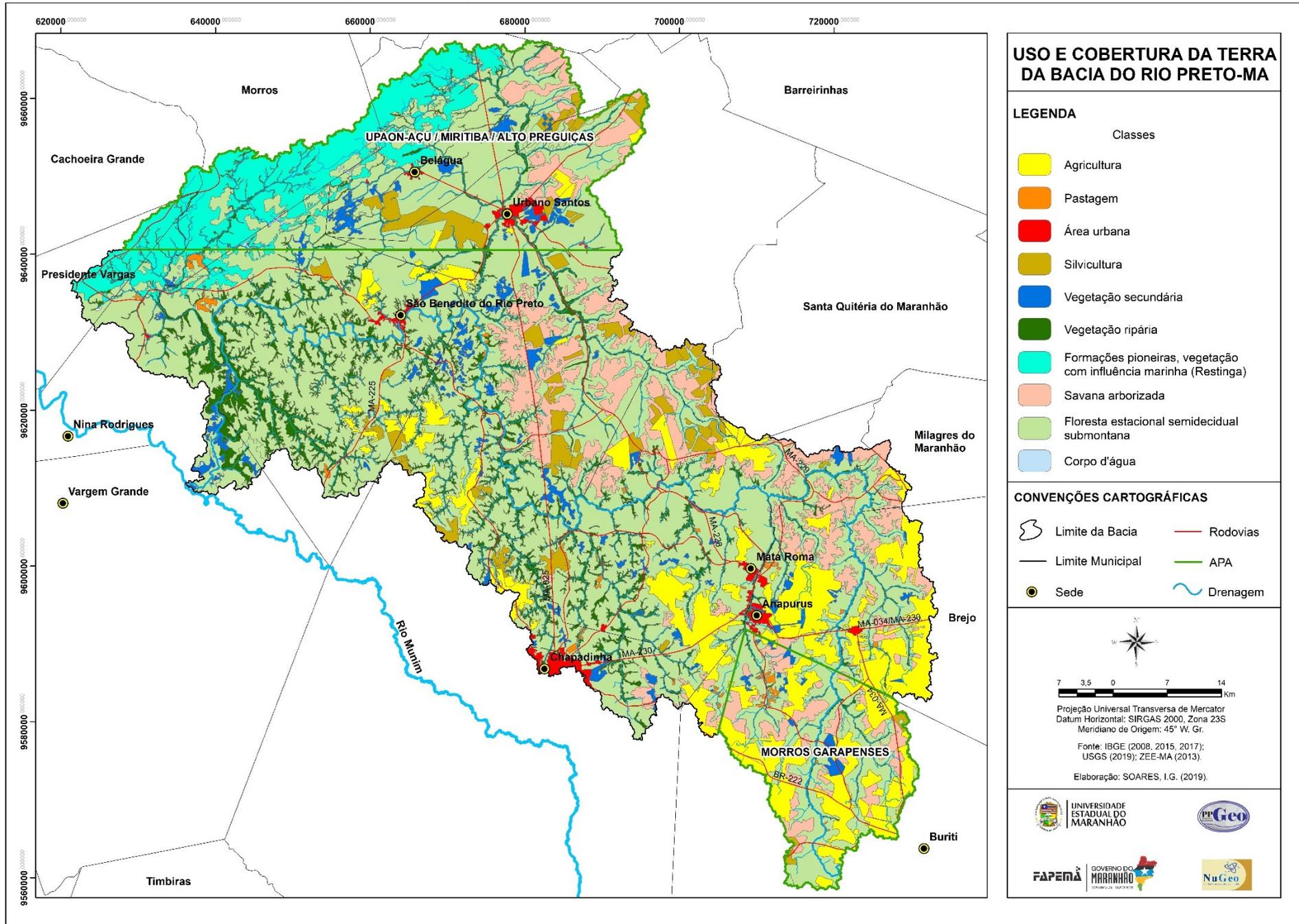
espécie de capim denominado agreste. Estes terrenos são apropriados para a caça, coleta de fruto e plantas medicinais, assim como para a criação de animais. Articulando a apropriação e o manejo desses dois tipos de ambiente, as famílias desenvolvem diferentes atividades econômicas importantes para a manutenção de seu grupo familiar, atividades como: a agricultura voltada tanto para o consumo da sua família, como para a comercialização (BOTELHO; ALMEIDA; FERREIRA, 2012).

Outro fator importante ao camponês, refere-se à extração vegetal (madeiras, frutos, folhas, palhas, cascas de troncos de árvores) materiais com os quais produzem medicamentos caseiros, a caça, a extração do mel, pequenas criações que são praticados, sobretudo, em áreas de chapada, mas algumas espécies também são encontradas nos chamados baixos como o babaçu (*Orbignya phalerata*) e o buriti (*Mauritia flexuosa*). Dentre as principais espécies de frutos destacam-se como alimentícias: para consumo das famílias – pequi (*Caryocar brasiliense*), babaçu (*Orbignya phalerata*), juçara (*Euterpe oleracea*) e buriti (*Mauritia flexuosa*); para consumo interno e comercialização – o bacuri (*Scheelea phalerata*).

Do mesmo modo, se extraem da chapada plantas medicinais como: amora (*Maclura tinctoria*), ameixa (*Prunus domestica*), aroeira (*Astronium fraxinifolium*), hortelã (*Mentha spicata*), o angico (*Anadenanthera falcata*), açoita cavalo (*Luehea divaricata*), entre outras que tem importante valor comercial (BOTELHO; ALMEIDA; FERREIRA, 2012).

Como mencionado, anteriormente, as monoculturas estão relacionadas as atividades econômicas do agronegócio. Neste contexto, a dinâmica dos monocultivos destacam-se, principalmente, nos municípios que compõem a Microrregião de Chapadinha. Na Figura 25 e Tabela 20 pode-se observar as classes que foram identificadas na bacia. A agricultura é a classe de uso da terra de maior concentração em termos de área ocupada na bacia. Ela está associada tanto ao cultivo do feijão, arroz, milho, etc., realizado pelos camponeses como também ao plantio de soja feita pelos funcionários das empresas associadas ao ramo sojícola.

Figura 25 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

Tabela 20 - Classes de uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

Classes	Área (km ²)	%
Agricultura	582,37	11,12
Pastagem	21,44	0,41
Floresta estacional semidecidual submontana	2.824,57	53,95
Área urbana	48,00	0,92
Vegetação ripária	489,18	9,34
Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga)	405,90	7,75
Silvicultura	193,02	3,69
Savana arborizada	510,87	9,76
Vegetação secundária	139,17	2,66
Corpo d'água	21,09	0,40
Total	5.235,63	100

Elaboração: Soares, 2020.

A região Leste Maranhense desde o início dos anos de 1980 tornou-se uma nova fronteira agrícola para onde se dirigiam diversos projetos de expansão do agronegócio, a exemplo do eucalipto; tendo como principal objetivo, adquirir matéria-prima para a produção de carvão vegetal a serem utilizadas na fabricação de ferro-gusa. Já a soja chegou à região no final da década de 1990 e deu continuidade à implantação desses outros monocultivos (NASCIMENTO, 2010). A Figura 26 apresenta duas agroindústrias dentre várias outras localizadas na área de estudo.

Figura 26 – Agroindústrias presentes na zona rural do município de Anapurus



Fonte: Soares, 2019.

No que diz respeito à soja (*Glycinemax L.*), especificamente, na microrregião de Chapadinha, sua chegada ocorre por meio do estabelecimento de agricultores provenientes de estados da região Sul e Centro-Oeste, que encontram na região uma boa possibilidade de cultivo da soja especialmente pela maior facilidade de escoamento da produção, representada

pela proximidade da localização da microrregião com o porto do Itaqui e do Terminal de Grãos da Companhia Vale, além da facilidade de aquisição de grandes hectares de terras férteis ocasionado tanto pelo baixo custo a que essas terras eram vendidas pelos proprietários originais, como pela falta de uma regularização fundiária na região (SANTOS, 2016).

A Microrregião de Chapadinha iniciou o plantio da soja no ano de 1994, em específico, nos municípios de Brejo, Mata Roma e Anapurus sendo que esse último município despontou como o maior produtor sojícola para o ano em questão conforme constata-se na Tabela 21.

Tabela 21 - Produção de soja na Mesorregião Leste Maranhense, Microrregião de Chapadinha e Municípios para o ano de 1994

Área Plantada, Área Colhida, Quantidade, Rendimento Médio da Produção dos principais produtos das Lavouras Temporárias, segundo as Mesorregiões, as Microrregiões e os Municípios.				
Soja (em grão)				
Mesorregiões, microrregiões e municípios	Área plantada(ha)	Área colhida(ha)	Quant. produzida (T)	Rendimento médio (kg/ha)
Leste maranhense	45	45	41	911
Chapadinha	45	45	41	911
Anapurus	30	30	30	1000
Brejo	5	5	5	1000
Mata Roma	10	10	6	600

Fonte: IBGE, Produção Agrícola Municipal, 1994. Elaboração: Soares, 2018.

Conforme Freitas (2013, p.12), a expansão da sojicultura (Figura 27) para o Leste Maranhense começou na década de 1990, mas só se consolidou no início do ano 2000. A expansão recente da lavoura da soja fez com que em 2006 essa mesorregião fosse responsável por 10% do total plantado no Maranhão, sendo essa região considerada a nova fronteira da produção de soja no Brasil.

Os “agricultores provenientes do sul do Brasil conhecidos por gaúchos, denominação que envolve indistintamente gentílicos do Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina dentre outros” (BOTELHO, DINIZ, 2012, p.2) são os atores sociais que estão presentes nos municípios que formam a microrregião de Chapadinha e que na área da BHRP cultivam extensas áreas sojicultoras para a exportação, principalmente para a China.

Figura 27 - Plantio de soja em Anapurus



Fonte: Santos, 2019.

O cultivo de soja ocorre em relevos planos a suave-ondulados, associado desta forma a um relevo tabular, identifica-se o predomínio do plantio dessa cultura nos Latossolos Amarelos distróficos e na unidade geológica do Grupo Barreiras, ocorrendo também no Grupo Itapecuru e Depósitos Eólicos Continentais Antigos. As áreas de soja na bacia estão concentradas a montante, estando presentes nos municípios de Brejo, Buriti, Anapurus, Mata Roma, Chapadinha, Milagres do Maranhão, São Benedito do Rio Preto, Santa Quitéria do Maranhão e Urbano Santos. Em tais áreas prepondera as atividades econômicas voltadas ao agronegócio, principalmente nos cinco primeiros municípios citados (Figura 25).

O plantio da soja inicia-se em meados de janeiro e, dependendo da cultivar, se ciclo longo ou curto, tem seu término em meados de maio/junho (EMBRAPA, 2004). Segundo Presoti (2008, p.44) “o plantio em janeiro dá-se em função do regime pluviométrico da região. Faces as necessidades de água que a planta tem; desta forma, pela pluviosidade, não se utilizam sistemas de irrigação”.

É de suma importância destacar que as ações e incentivos governamentais tiveram um papel de destaque em se tratando do desenvolvimento da agroexportação da soja no Estado do Maranhão, conforme Botelho e Diniz (2012, p.6):

Em função dos incentivos governamentais e da conjuntura favorável no mercado externo a soja se destaca. Essa expansão direcionada para o mercado externo não é novidade na economia maranhense, visto que a "submissão" econômica do Maranhão ao setor agroexportador se faz presente desde o período colonial, sendo atualmente diferente apenas nas relações de trabalho e a *commodity* agrícola exportada. Esse crescimento significativo da soja só foi possível em função da infraestrutura intermodal de transporte (Estrada/ferrovia e porto).

O aumento nos índices de produção da monocultura sojicultora no Maranhão é decorrente dos incentivos dados pelo Estado, como o convênio estabelecido entre o governo brasileiro e a Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA) denominado de Programa do Corredor de Exportação Norte, Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER III), além de outros convênios celebrados pelo Estado.

O Corredor de Exportação Norte favorece a logística de transporte e escoamento da produção de grãos, principalmente de soja para o mercado internacional (Europa, Estados Unidos). Este corredor abrange os estados do Sudeste do Piauí, Sul do Maranhão e Norte e Sudeste do Tocantins. Neste contexto, Pereira, Rocha e Bonacim (2008, p.162) afirmam que:

O corredor norte de exportação possui vários itens necessários para uma melhor logística de recebimento de insumos e distribuição de grãos produzidos na região: (i) potência de produção - o sul do Maranhão e Piauí, norte do Tocantins, têm 4.925.000 ha de cerrado, ideal para agricultura e próprio para o cultivo de soja, milho e outros cereais; (ii) encontra-se, também na região, uma moderna ferrovia administrada pela Vale do Rio Doce, que liga Carajás ao Porto de Itaqui, em São Luís/MA, ligando à ferrovia Norte Sul, com trecho construído até a cidade Porto Franco, onde existe um terminal intermodal (local onde os caminhões descarregam a carga para a ferrovia), ligando a ferrovia com a rodovia Belém - Brasília e hidrovía pelo Rio Tocantins e Araguaia.

Ainda conforme Pereira, Rocha e Bonacim (2008), a soja produzida na região é transportada pela ferrovia, vai até São Luís, e de lá segue por navios até o mercado consumidor, com a vantagem de São Luís estar 4000 km mais perto de Roterdã, na Europa, do que o porto de Paranaguá/PR, porto de maior movimentação agrícola do país.

Já o PRODECER foi pensado e concebido a partir de 1974 entre os governos do Brasil e do Japão, foi um dos que mais contribuiu para mudanças na paisagem e no perfil

econômico e social, transformando espaços dos cerrados da Região Centro-Oeste e nos cerrados dos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Tocantins e Maranhão no principal polo de crescimento da agricultura brasileira dos últimos 40 anos (DOS SANTOS, 2016).

No que diz respeito aos programas de cooperação entre países para o setor agrícola da economia, o PRODECER é considerado o mais importante e o de mais longa duração firmado no Brasil. “A partir de 1979 o Programa foi implantado em três fases: PRODECER I Piloto, de 1979 a 1983; O PRODECER II Piloto e PRODECER de Expansão, de 1985 a 1993; e O PRODECER III Piloto, iniciado em 1995 e encerrado em 2001”. (DOS SANTOS, 2016, p.395).

O PRODECER III teve suas ações executadas nos municípios de Balsas (sul do Maranhão) e Pedro Afonso (Estado de Tocantins). “Essa nova etapa representou a continuidade de um trabalho destinado a incorporar novas áreas de cerrados no Brasil à atividade agropecuária moderna fora do eixo e proximidade da região Centro-Oeste do país”. (DOS SANTOS, 2016, p.403).

Conforme Dos Santos (2016, p.404):

O PRODECER representou uma nova forma de intervenção no campo, com o apoio das estruturas e instituições de Estado no direcionamento da ocupação e criação de uma nova fronteira agrícola no país. O Estado ficou imbuído de constituir instituições, traçar e executar um conjunto de ações, programas, projetos e definições de natureza política que exercessem o papel de criar bases para a acumulação capitalista nos setores agrícolas nacionais.

Nascimento (2010) assevera que a produção de soja contou com recursos financeiros estatais e privados, a exemplo da agência de cooperação internacional do Japão que deu origem ao Programa de Desenvolvimento do Cerrado III (PRODECER), dando continuidade a uma série desse programa já iniciado em outras áreas do cerrado brasileiro com o objetivo de expandir a produção de grãos para o mercado internacional.

O Estado tem um papel relevante no processo de implantação destas empresas ao conceder incentivo viabilizando sua instalação nas áreas urbanas e rurais uma vez que o interesse destes empreendimentos coadunam com os dos governantes do País e conseqüentemente do governo estadual, é desta forma, em busca do denominado desenvolvimento econômico regional o empresariado ganha forças para colocarem em ação seus projetos no Maranhão em especial na Mesorregião Leste Maranhense. É necessário

salientar que o estado fomenta a expansão do agronegócio de diversas formas tais como: incentivos fiscais, juros subsidiados, crédito rural entre outros. Esse incentivo ocorreu no caso da execução do programa PRODECER.

As extensas áreas de plantio de soja evidenciada na área de pesquisa é um reflexo da expansão do agronegócio no campo que tem encontrado no bioma Cerrado uma oportunidade de manutenção de suas estruturas econômicas, de nicho de mercado, e indubitavelmente oportunidades de alta rentabilidade na exploração da natureza.

De acordo com Nascimento (2014, p.83), “a topografia da chapada e o seu solo são características favoráveis à expansão da monocultura de soja, assim como do eucalipto e de outros monocultivos, daí as vantagens locais que essas áreas representam para o agronegócio das monoculturas”.

O bioma pertencente a área de estudo passou por um intenso processo de mudança do uso e cobertura da terra desde a década de 1980 devido à expansão da fronteira agrícola no Leste Maranhense como já mencionado, sendo o fogo uma importante ferramenta no processo de conversão das áreas naturais do Cerrado em áreas destinadas às atividades agropecuárias.

Segundo o IMESC (2016, p.23) em se tratando de Belágua evidencia-se que “em grande parte dos casos o processo de queimadas tem ligação com o desmatamento a fim de obter novas áreas para cultivo de lavouras, limpeza de pastos e preparação da área para o plantio de pequenos agricultores”. Esta dinâmica de queimadas que ocorre no município em questão também é recorrente nos demais municípios banhados pela bacia.

Na área de pesquisa, o uso do fogo na agricultura é realizado pelos camponeses através do preparativo da terra para a chamada “roça de toco” (Figura 28) que

Consiste em técnica agrícola antiga, passada entre gerações, que usa a queimada como técnica de limpeza e preparação do solo para o plantio. Durante a preparação do solo, ocorre a queima da vegetação que faz com que este perca rapidamente os nutrientes, e, portanto, as consequências são a baixa fertilidade e natural diminuição da produtividade da roça (SILVA JUNIOR *et al.*, 2016, p.361).

Figura 28 – Roça de toco na zona rural de Chapadinha

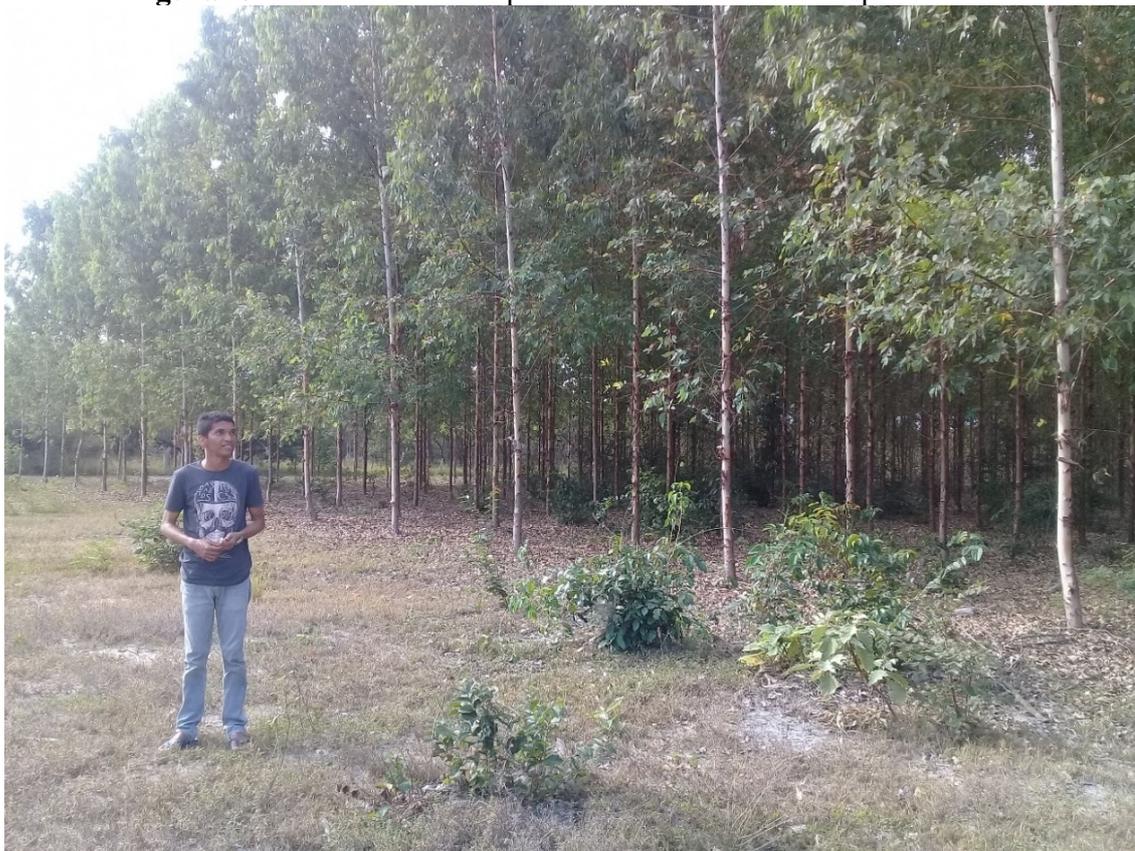


Fonte: Soares, 2018.

A classe Silvicultura ocupando uma área de 193,23 km² é outra face das atividades do agronegócio no campo, pois na bacia ela está associada a monocultura do eucalipto (Figura 29). Esta cultura pode ser observada, predominantemente, na região da bacia que envolve o município de Urbano Santos, também ocorre em outros municípios, dentre eles: Chapadinha, São Benedito do Rio Preto, Mata Roma, Anapurus, Buriti e Belágua.

O plantio do eucalipto (*Eucalyptus spp*) ocorre, de modo preponderante, no Latossolo Amarelo distrófico, porém observa-se de forma pontual em áreas de Plintossolo Argilúvico distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário. Já em relação as unidades geomorfológicas observam-se tanto nos Tabuleiros de Chapadinha quanto no Planalto Dissecado do Itapecuru, em relevos planos a suave-ondulados. No tocante ao aspecto geológico estão presentes nos Depósitos Eólicos Continentais Antigos (maior concentração), Grupo Itapecuru e de modo diminuto no Grupo Barreiras.

Figura 29 – Plantio de eucalipto na zona rural do município de Buriti



Fonte: Santos, 2018.

Em relação a esses monocultivos identificados na área de estudo, Gaspar, Rego e Andrade (2008, p.3-4) afirmam que:

A partir da década de 1980, instalaram-se no Leste Maranhense, empresas nacionais e estrangeiras voltadas à produção de carvão vegetal e à plantação de eucalipto. A produção de carvão vegetal proveniente da queima de algumas espécies de madeiras nativas destinava-se, dentre outras atividades, a alimentar guseiras da siderúrgica Maranhão Gusa S/A-MARGUSA. Já o plantio de eucalipto, em áreas de municípios maranhenses do Leste Maranhense, visava a produção de celulose, tendo o Grupo Industrial João Santos de Pernambuco e a Suzano Celulose de São Paulo como principais empresas.

Nesse contexto, o avanço do agronegócio frente ao campesinato do Leste Maranhense foi consolidado pelas empresas MARGUSA, MARFLORA¹¹ e Suzano Papel e Celulose. Segundo Paula Andrade (1995), a MARGUSA (Siderúrgica Maranhão Gusa S/A) foi fundada em 1985 por empresários maranhenses com incentivos da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) e vendida, posteriormente ao grupo

¹¹ MARFLORA – Maranhão Reflorestadora Ltda. Braço florestal da Siderúrgica MARGUSA. Segundo Paula Andrade (1995, p.27), A Margusa instituiu a Marflora nas categorias “especializada, extratora de lenha e produtora de carvão vegetal. Foi instituída, portanto, como empresa prestadora de serviços à Margusa.

japonês Yanmar do Brasil S/A. No ano de 2003, a MARGUSA foi comprada pelo grupo siderúrgico GERDAU. Já a MARFLORA era o braço florestal da MARGUSA (RIBEIRO JÚNIOR; OLIVEIRA; COSTA, 2014, p.16).

A empresa GERDAU usa o eucalipto como matéria prima para a produção do carvão vegetal para alimentar as guseiras (empresas que transformam o minério em ferro-gusa, matéria-prima para a produção de aço), já a Suzano Papel e Celulose utiliza o eucalipto para produção de celulose, matéria prima que é usada na fabricação de guardanapos, papel higiênico, papéis para imprimir e escrever, entre outros itens (PROTACIO, 2016). Além dessas empresas, há o cultivo do eucalipto por parte dos proprietários de padarias que a usam como combustível para assar gêneros alimentícios típicos desses estabelecimentos comerciais.

É importante destacar que o investimento de uma determinada empresa em uma dada localidade sempre tem por base um estudo prévio para que o investimento seja realizado de forma a garantir lucros. Neste sentido, Ribeiro Júnior, Oliveira e Costa (2014, p.20) ressaltam que:

O interesse da Suzano no Leste Maranhense deve-se a vários fatores dos quais podem ser destacados: a proximidade da infraestrutura de escoamento (rodovias, como a BR 135; proximidade para com o Porto do Itaqui, em São Luís), bem como a maior parte de suas terras (do Leste Maranhense) serem classificadas como de boa aptidão para a silvicultura.

Evidencia-se que a expansão da fronteira agrícola no contexto do eucalipto desempenhou a partir de 1980 um papel decisivo na transformação da paisagem, se antes dessa década havia áreas com vegetação nativa, típica do Cerrado, atualmente ela sede lugar a um monocultivo baseado no agronegócio onde há um alto investimento em capital, tecnologia, bactericidas, adubos sintéticos e ainda financiamentos por agências de fomento, ou seja, tudo que possa ser essencial para expansão do capital.

Conforme foi exposto, o cultivo da soja na área em estudo não utiliza a água do rio Preto para irrigação, apenas o regime de chuvas, sendo que o plantio realiza-se no primeiro semestre (período chuvoso) e a colheita no segundo semestre (estiagem), desta forma economiza-se com material e manutenção dos sistemas de irrigamento. A mesma situação é observada para a monocultura do eucalipto que também recorre ao regime pluviométrico da região para irrigação das áreas de plantio.

As áreas urbanas (Figura 30) que abrangem 48,06 km² correspondem aos espaços identificados com residências padronizadas, oriundas de financiamentos, ou áreas residenciais

consolidadas, bem como prédios e outras instalações, onde normalmente se destacam atividades terciárias. Compreendem também áreas onde se encontram as sedes municipais, vilas e/ou povoados (SANTOS; SOARES, 2020).

Figura 30 – Área urbana do município de Mata Roma (a) e Anapurus (b)



Fonte: Soares, 2019.

Embora tenha na bacia do rio Preto as sedes dos municípios de Anapurus, Mata Roma, Chapadinha, Belágua, São Benedito do Rio Preto e Urbano Santos é uma bacia hidrográfica tipicamente rural, pois apresenta extensas áreas de cultivo e pode apresentar alterações na qualidade das águas e nos regimes de escoamento em função da alteração da cobertura vegetal.

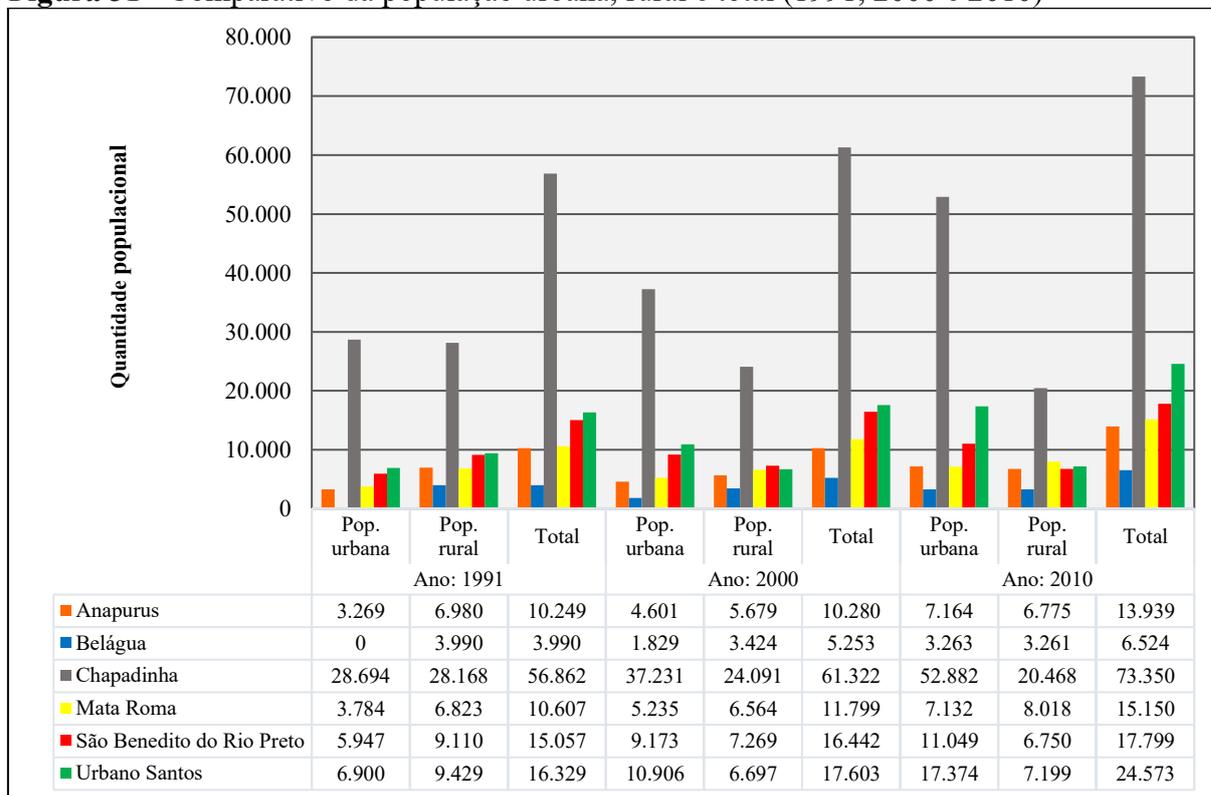
A Lei nº 9.956, de 21/11/2013, lista 27 municípios como pertencentes a bacia hidrográfica do rio Munim sendo que 14 deles estão inseridos na bacia do rio Preto conforme a Tabela 22. Apesar de haver essa quantidade de municípios na bacia pode-se constatar cidades com áreas diminutas abrangidas pela BHRP, como é o caso de Santa Quitéria do Maranhão que tem menos de 1% de sua área total envolvida, Milagres do Maranhão (5,33%), Presidente Vargas (5,15%), Cachoeira Grande (10,25%), por esta menor representatividade na área de estudo essas localidades têm menos enfoque de abordagem no presente trabalho.

Tabela 22 - Municípios inseridos na bacia hidrográfica do rio Preto-MA

Municípios	Área total do município (km ²)	Área na bacia (km ²)	(%)	Área total do município na bacia (%)
Belágua	569,39	471,86	9,01	82,87
Brejo	1.074,93	231,80	4,43	21,56
Buriti	1.474,59	540,23	10,32	36,64
São Benedito do Rio Preto	931,29	848,29	16,20	91,09
Nina Rodrigues	542,18	181,73	3,47	33,52
Urbano Santos	1.706,09	994,82	19,00	58,31
Presidente Vargas	330,6	17,04	0,33	5,15
Cachoeira Grande	864,42	88,62	1,69	10,25
Chapadinha	3.247,17	482,63	9,22	14,86
Anapurus	609,09	561,69	10,73	92,22
Mata Roma	548,63	548,49	10,48	99,97
Morros	1.712,14	224,79	4,29	13,13
Milagres do Maranhão	634,82	33,81	0,65	5,33
Santa Quitéria do Maranhão	1.435,59	9,83	0,19	0,68
Total		5.235,63	100	

Elaboração: Soares, 2020.

Identificou-se um aumento da população urbana e uma diminuição exígua da população rural nos municípios que tem sua sede, localizada na área da BHRP (Figura 31). Evidencia-se que há um predomínio na diminuição da população rural, entretanto, apenas em Mata Roma houve um aumento da população rural, assim, como de sua população urbana.

Figura 31 - Comparativo da população urbana, rural e total (1991, 2000 e 2010)

Fonte: PNUD; IPEA; FJP; IBGE (2018), adaptado parcialmente por Soares (2018).

O crescimento da população citadina tem como consequência um aumento na demanda por moradia e, por conseguinte no número de residências. Neste contexto, há uma expansão da área urbana identificada na bacia, estando relacionada a necessidade da população por habitação, culminando, assim, num processo de urbanização experimentado por esses municípios nas últimas três décadas, ressalta-se que a urbanização nesses municípios está ocorrendo paulatinamente, os mesmos, ainda são predominantemente rurais.

Programas de moradia e habitação popular entre eles o programa Minha Casa, Minha Vida lançado em março de 2009 pelo Governo Federal, tem contribuído para a construção de casas e apartamentos para as famílias de baixa renda. Unidades desse programa habitacional são encontradas nos municípios de Chapadinha (Figura 32), Urbano Santos, Mata Roma, São Benedito do Rio Preto, Anapurus e Belágua. Esse programa tem contribuído para o aumento da área urbana nesses municípios, é importante salientar que essas moradias não são destinadas apenas para áreas urbanas, também são construídas em zonas rurais.

Figura 32 – Moradias do Programa Minha Casa, Minha Vida na área urbana de Chapadinha



Fonte: Soares, 2018.

Outro fator que contribui para a expansão da área urbana foi o êxodo rural devido as populações das zonas rurais migrarem para zonas urbanas de seus respectivos municípios, assim como para outros municípios do Maranhão, principalmente, para São Luís. Isso se deveu à inserção do capital no campo. Os camponeses são pressionados por diversos motivos, a saber: o alto investimento em capital e tecnologia empregados pelo agronegócio; as grandes extensões de terras que são utilizadas para as monoculturas; conflitos fundiários que ocorrem pela posse da terra, além da perda das áreas onde as famílias camponesas extraíam alimentos para sua subsistência. Todo esse contexto apresenta alguns dos motivos pelo qual ocorre o êxodo rural no campo (SOARES, 2018).

A área de pastagem mapeada na bacia totaliza 21,47 km² identificando-se a pastagem plantada e a natural, sendo que a primeira é predominante e localiza-se próxima ao rio Preto e seus afluentes, já a última ocorre geralmente nas chapadas. O pasto é fundamental para as famílias camponesas dos municípios abrangidos pela bacia, pois as mesmas realizam uma pecuária extensiva (Figura 33).

Figura 33 – Bovinos na zona rural do município de Chapadinha



Fonte: Santos, 2018.

As pastagens se concentram na unidade geomorfológica Tabuleiros de Chapadinha, também são encontrados no Planalto Dissecado do Itapecuru, estão presentes em formas de relevo plano a suave-ondulado, já em relação ao solo ocorre no Latossolo Amarelo distrófico, Plintossolo Argilúvico distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário. Em se tratando das unidades geológicas localizam-se nos Depósitos Eólicos Continentais Antigos, Depósitos Aluvionares, Grupo Barreiras e Itapecuru.

No que diz respeito a vegetação secundária (Figura 34), a mesma, ocupa uma área de 139,34 km² e está associada as áreas de lavoura de soja e eucalipto (cultura permanente) que foram abandonadas pelos seus proprietários, assim como acontece com culturas temporárias na bacia. As pastagens também fazem parte desse contexto, onde a vegetação nativa começa a se regenerar, como é o caso da Floresta estacional semidecidual submontana, depois do abandono por parte dos donos desses cultivos.

Figura 34 – Vegetação secundária no povoado Lagoa Amarela, município de Chapadinha



Fonte: Santos, 2019.

Conforme a EMBRAPA (2013, p.118), “A vegetação secundária inclui os diversos estágios da sucessão natural em áreas onde houve intervenção humana para o uso da

terra, seja com finalidade mineradora, agrícola ou pecuária, descaracterizando a vegetação primária [...].”

Em se tratando da vegetação ripária, ela ocupa 489,78 km² na bacia. Conforme Anschau *et al.* (2017, p.22), “ripária” significa “próximo ao curso de água”, tratando de conceito de distância e água. A Figura 35 mostra uma vegetação ripária no povoado Barras, município de Buriti. É comum nessa classe a presença da *Mauritia flexuosa* L.f (Buriti).

Figura 35 – Vegetação ripária na bacia do rio Preto



Fonte: Soares, 2019.

A vegetação ripária é uma formação vegetacional importante para a preservação dos ambientes naturais e a vida presente. É um conjunto de árvores, arbustos, entre outros, que se desenvolve com a função de isolar áreas próximas às margens dos rios, lagos e nascentes formando um ecótono entre o ambiente aquático e o terrestre e ainda, estando, geralmente, entre o ambiente aquático e o ambiente antropizado pelo homem. Serve também como cobertura do solo deixando-o fofo como uma esponja, impedindo que as águas das chuvas escoem diretamente aos rios evitando erosões, assoreamentos e enchentes (ANSCHAU *et al.*, 2017).

Na bacia do rio Preto, principalmente, a montante é comum plantios de soja próximos as áreas de vegetação ripária, conforme Soares (2018), existe uma ocupação irregular de Áreas de Preservação Permanente (APP) na área de pesquisa (Figura 36), isso implica em desmatamento na bacia. Além da cultura sojícola, constatou-se cultivos de eucalipto e pastagem.

Figura 36 - Desmatamento de APP na zona rural de Chapadinha



Fonte: Soares, 2020.

Ainda no tocante a problemática da degradação da vegetação ripária, Anschau *et al.* (2017, p.20) assevera que:

[...] a vegetação ripária vem desaparecendo rapidamente devido ao avanço desordenado da agricultura e o uso indiscriminado do solo. A degradação do solo é um dos principais problemas ambientais do planeta, além de ser obstáculo ao aumento sustentável da produtividade do agronegócio brasileiro, pois com a remoção da vegetação ripária para a implementação de lavouras e de pastagens, sem considerar a aptidão do solo e sem a adoção de práticas de manejo e técnicas de conservação de solo, além da destruição de habitats, acelerou o processo erosivo e o assoreamento.

A vegetação ripária na bacia encontra-se em regiões de relevo ondulado e forte-ondulado, estando presente nas unidades geomorfológicas: Lençóis Maranhenses, Planalto Dissecado do Itapecuru e Tabuleiros de Chapadinha, já em relação aos solos ocorre no Latossolo Amarelo distrófico (menor abrangência), Plintossolo Argilúvico distrófico, Neossolo Quartzarênico órtico, Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (maior concentração). Quanto as unidades geológicas identificam-se vegetações ripárias em todas.

Em relação aos corpos d'água, os mesmos, estendem-se por 20,69 km² na bacia. É importante destacar que na área-objeto essa classe está representada pelas lagoas, lagos, riachos, açudes e o próprio rio Preto e seus afluentes.

Quanto à forma de utilização da água existem usos do tipo consuntivos e não consuntivos. Os usos consuntivos estão representados pela dessedentação de animais (bovinos, caprinos, suínos e ovinos, etc.), também identifica-se o uso para pecuária extensiva e usos domésticos. Já os usos não consuntivos referem-se à recreação e lazer, preservação da fauna e flora, diluição de dejetos e a pesca. Salienta-se que a atividade pesqueira foi reduzida nas últimas décadas. Na Figura 37 (a) pode-se observar um pescador utilizando uma tarrafa e a Figura 37 (b) o produto de sua atividade.

Figura 37 – Atividade pesqueira na bacia do rio Preto na zona rural de Mata Roma



Fonte: Santos, 2019.

A Savana Arborizada, sinônimo de Campo Cerrado, Cerrado Ralo, Cerrado Típico e Cerrado Denso, é um subgrupo de formação natural ou antropizado, que se caracteriza por apresentar uma fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica graminoide contínua, sujeita ao fogo anual. As sinúcias dominantes formam fisionomias ora mais abertas (Campo Cerrado), ora com a presença de um *scrub* (vegetação arbustiva) adensado, Cerrado propriamente dito. A composição florística, semelhante à da Savana

Florestada, contempla algumas espécies dominantes que caracterizam os ambientes de acordo com o espaço geográfico ocupado (EMBRAPA, 2013). Na bacia essa classe abrange uma área de 511,38 km² (Figura 38).

Figura 38 – Savana Arborizada na zona rural do município de Anapurus



Fonte: Soares, 2018.

A classe Savana Arborizada encontra-se em relevos planos a suave-ondulados, concentram-se nos Tabuleiros de Chapadinha, sendo identificados também no Planalto Dissecado do Itapecuru, porém, em áreas diminutas. No que tange os solos, predominam sobre os Latossolos Amarelos distróficos, e ocorrem ainda em áreas pontuais dos Plintossolos Argilúvicos distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários. No aspecto geológico constata-se no Grupo Barreiras e Depósitos Eólicos Continentais Antigos.

A classe de vegetação mencionada também sofre interferências antrópicas decorrente do uso da terra, entretanto, de modo menos intenso e em menor proporção em termos de área se comparado as regiões consolidadas ao uso agrícola (soja e eucalipto), pelo fato dessa vegetação está presente em relevos planos é comum o plantio de pequenos agricultores, uso da queima para limpeza de pasto e obtenção de lavouras. Ocorre ainda o

extrativismo vegetal, a exemplo da extração da madeira oriunda das árvores nativas para criação de cercas para proteção do gado, casas (pau a pique), casas de farinha, etc.

As áreas de Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) abrangem uma área correspondente a 406,37 km². Em relação as formações pioneiras a EMBRAPA (2013, p.116) expõe:

Ao longo do litoral, bem como nas planícies fluviais e mesmo ao redor das depressões aluviais (pântanos, lagoas e lagoas), há frequentemente terrenos instáveis cobertos por uma vegetação, em constante sucessão, de terófitos, criptófitos (geófitos e/ou hidrófitos), hemicriptófitos, caméfitos e nanofanerófitos. Essa vegetação, pertencente ao “complexo vegetacional edáfico de primeira ocupação”, ou Formações Pioneiras, ocupa terrenos rejuvenescidos pelas seguidas deposições de areias marinhas nas praias e restingas, aluviões fluviomarinhas nas embocaduras dos rios e solos ribeirinhos aluviais e lacustres.

Segundo a EMBRAPA (2013), a vegetação com influência marinha, ou Restinga, apresenta como gêneros característicos das praias *Remirea* e *Salicornia*; em áreas mais altas, afetadas pelas marés equinociais, as conhecidas *Ipomoea pescaprae* (L.) R. Br (nome popular salsa-da-praia e pé-de-cabra) e *Canavalia rosea* (Sw) DC. (feijão-da-praia), além dos gêneros *Paspalum* e *Hidrocotyle*; nos planos mais altos das praias, as *Acicarpha*, *Achyrocline*, *Polygala*, *Spartina* e *Vigna*; nas dunas propriamente ditas, *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira-vermelha, aroeira-pimenteira ou poivre-rose), *Lythrea brasiliensis* Marchand (aroeira-de-bugre, aroeira-brava, aroeira-do-mato), *Erythroxylum*, *Myrcia*, *Eugenia*; no “pontal rochoso”, *Clusia criuva* Cambess., associada às *Cactaceae* dos gêneros *Cereus* e *Opuntia*, além das muitas *Bromeliaceae*, dos gêneros *Vriesea*, *Bromelia*, *Canistrum*, *Aechmea* e outros.

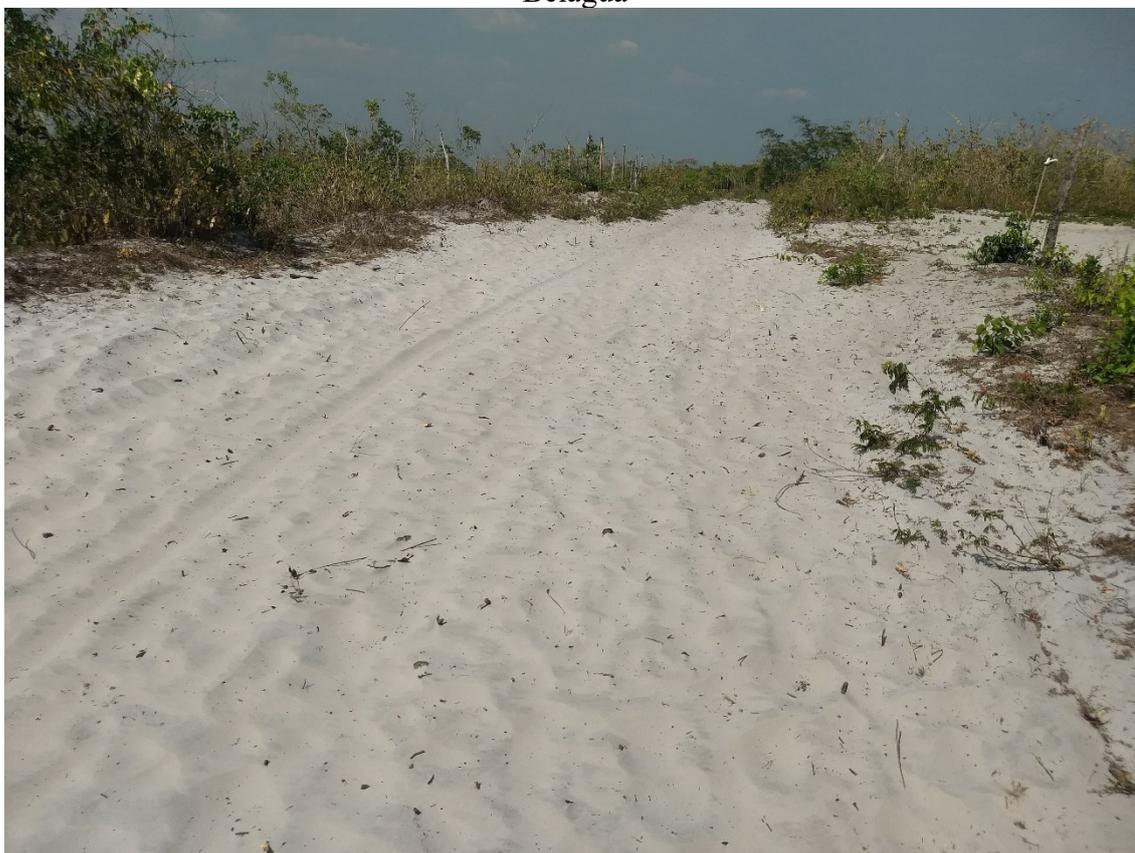
Na bacia as áreas de formações pioneiras estão atreladas as paleodunas conforme constata-se na Figura 39. Nessa região não foi evidenciado nenhum tipo de uso. É importante destacar ainda que as paleodunas são intercaladas por lagoas e vegetação e que as mesmas sofrem ação dos ventos só que de maneira atenuada. Tal atenuação é ocasionada devida a presença de cobertura vegetal que acaba por fixar o solo dessa formação dunar.

Em relação as paleodunas, Pinheiro, Moura-Fé e Freitas (2013, p.14) explanam:

Situadas à retaguarda das dunas recentes, observam-se essas gerações mais antigas de dunas, as quais apresentam o desenvolvimento de processos pedogenéticos (daí serem chamadas de dunas edafizadas), resultando na fixação de um revestimento vegetal de maior porte, além de já não se distinguir facilmente suas formas.

Na bacia as paleodunas estão presentes na região norte em relevos planos e suavemente ondulados, especificamente, nos municípios de Morros, Belágua, Presidente Vargas, Cachoeira Grande, Nina Rodrigues, São Benedito do Rio Preto. Abrangem de modo concentrado os Lençóis Maranhenses, embora ocorram fragmentos no Planalto Dissecado do Itapecuru e Tabuleiros de Chapadinha, a classe de solos predominante são os Neossolos Quartzarênicos órticos, entretanto, constata-se frações sobre os Latossolos Amarelos distróficos, Plintossolos Argilúvicos distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários, quanto ao aspecto geológico há predominância nos Depósitos Eólicos Continentais Antigos.

Figura 39 - Áreas de formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) em Belágua



Fonte: Santos, 2018.

Com uma área de aproximadamente 2.825 km² a Floresta estacional semidecidual submontana é a classe e cobertura vegetal de maior abrangência na bacia. “As espécies decíduais que caracterizam esta formação pertencem aos gêneros *Hymenaea*, *Copaifera*, *Peltophorum*, *Astronium*, *Handroanthus* (Ipês), *Balfourodendron*, entre outros, incluindo

Aspidosperma, ecótipo *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.” (Peroba-Rosa). (EMBRAPA, 2013, p.111).

A Floresta estacional semidecidual submontana é representada na bacia pela Mata dos Cocais (é um ecossistema onde pode-se encontrar babaçu, carnaúba, oiticica e buriti etc.) a qual tem como família a *Arecaceae*¹² entre elas o domínio da *Attalea speciosa* (Babaçu) (Figura 40), *Copernicia prunifera* (Carnaúba), *Bactris setosa* (Tucum) e *Syagrus botryophora* (Pati).

Figura 40 - Área de babaçal na zona rural de Chapadinha



Fonte: Soares, 2019.

O extrativismo do coco babaçu é comum na Mesorregião Leste Maranhense sendo uma fonte de obtenção de renda da população da zona rural. Essa atividade tem por objetivo retirar a amêndoa deste fruto para realizar o processo de extração do óleo (azeite) empregado sobretudo na alimentação.

¹² É uma família de plantas com flor monocotiledóneas da ordem *Arecales*, também conhecida pelo nome obsoleto de *Palmae*, que inclui as espécies conhecidas pelo nome comum de palmeiras. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arecaceae>. Acesso em: 7 set. 2020.

Na Floresta estacional semidecidual submontana ocorre o plantio de pastagem, a queima para o plantio agrícola (roça de toco), coleta de madeira, frutos e plantas medicinais. Neste sentido, embora seja uma cobertura vegetal nativa na bacia também ocorre seu uso por parte da população local, porém ambientalmente é menos impactante se comparado as extensas áreas desmatadas para o monocultivo que contamina o solo e a água pelo uso de agrotóxicos; e ainda a compactação do solo por maquinários pesados.

A Floresta estacional semidecidual submontana, Savana Arborizada, Vegetação ripária e as Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) formam a cobertura vegetal natural da bacia. As três primeiras classes, infelizmente, passam por um processo de intensa pressão por parte do uso para cultivos de soja e eucalipto. É de suma importância salientar que essas monoculturas são espécies exóticas na área de pesquisa.

Identificou-se duas unidades de conservação de uso sustentável na bacia, a saber: Área de Proteção Ambiental (APA) dos Morros Garapenses e APA de Upaon-Açu/Miritiba/Alto Preguiças (Figura 25). A primeira compreende uma área de 503,3 km², situada ao sul da BHRP, especificamente, no município de Buriti. Já a segunda APA ocupa 1.110,5 km² na área em estudo, localiza-se ao norte, abrangendo os municípios de Belágua, Morros, Urbano Santos, São Benedito do Rio Preto, Presidente Vargas, Cachoeira Grande e Nina Rodrigues.

A APA é dotada de atributos naturais, estéticos e culturais importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas. Geralmente é uma área extensa, com o objetivo de proteger a diversidade biológica, ordenar o processo de ocupação humana e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais, e é constituída por terras públicas e privadas (EMBRAPA, 2013, p.152).

A APA dos Morros Garapenses foi criada a partir do Decreto nº 25.087 de 31/12/2008, devido a necessidade de proteger faixas de transição e contato entre os Cerrados Norte-Maranhenses e as Matas dos Cocais (carnaubais e babaçuais, em sua maioria) do Leste do Estado, bem como a fauna associada (MARANHÃO, 2008). Compreende um domínio de natureza bastante frágil, com grande predisposição à extinção da fauna e flora.

Os municípios de Buriti, Duque Bacelar e Coelho Neto¹³ possuem um dos maiores sítios paleobotânicos do Brasil, com fósseis vegetais de idade permiana (mais de 250 milhões de anos), distribuídos em áreas ora contínuas, ora espaçadas (MARANHÃO, 2008).

¹³ A APA localiza-se entre esses municípios.

A APA de Upaon-Açu/Miritiba/Alto Preguiças foi criada pelo Decreto nº 12.428 de 05/06/1992. No artigo 1º do presente Decreto esclarece que a criação da APA tem como objetivo disciplinar o uso e a ocupação do solo, a exploração dos recursos naturais, as atividades de caça e pesca, a proteção à fauna e à flora, a manutenção das biocenoses daqueles ecossistemas e o padrão de qualidade das águas (MARANHÃO, 1992).

O Decreto supramencionado considera que a região abrangida é caracterizada pelas formações pioneiras representadas pela vegetação de mangue e restinga, cerrado e áreas de contato floresta decidual/cerrado/caatinga (MARANHÃO, 1992); a diversidade de ecossistemas naturais abrangidos: dunas, restingas, manguezais, galerias (renque de buritis), lagoas e matas ciliares. Ambas as APAs têm como órgão gestor a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão - SEMA-MA.

6 VULNERABILIDADE DOS PARÂMETROS FÍSICOS E DO USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA DO RIO PRETO

6.1 Vulnerabilidade dos solos

O estudo dos solos com base na metodologia utilizada está relacionado à vulnerabilidade de ocorrência de erosão hídrica. Cada classe de solos tem características inerentes, nas quais influem na forma com que a água irá percolar. “Sendo assim, solos mais porosos têm maior capacidade de retenção de água, evitando o efeito “*Runoff*” – que seria o fluxo de massas que escoam a partir da energia da água superficial em movimento”. (MEDEIROS; PEREIRA; ALMEIDA, 2012, p. 481-482).

Em relação ao tema pedologia, 52,63% (Tabela 23) da bacia encontra-se estável (Figura 41). Esta estabilidade decorre da presença dos Latossolos Amarelos distróficos que se caracterizam por sua grande porosidade, permeabilidade e de textura arenosa, variando entre acentuado a fortemente drenados e espessos. Estes solos são considerados profundos. Devido às características inerentes a este solo os Latossolos Amarelos são pouco vulneráveis aos processos erosivos, prevalecendo assim a pedogênese e, por este motivo, tem vulnerabilidade igual a 1,0 (MEDEIROS; PEREIRA; ALMEIDA, 2012).

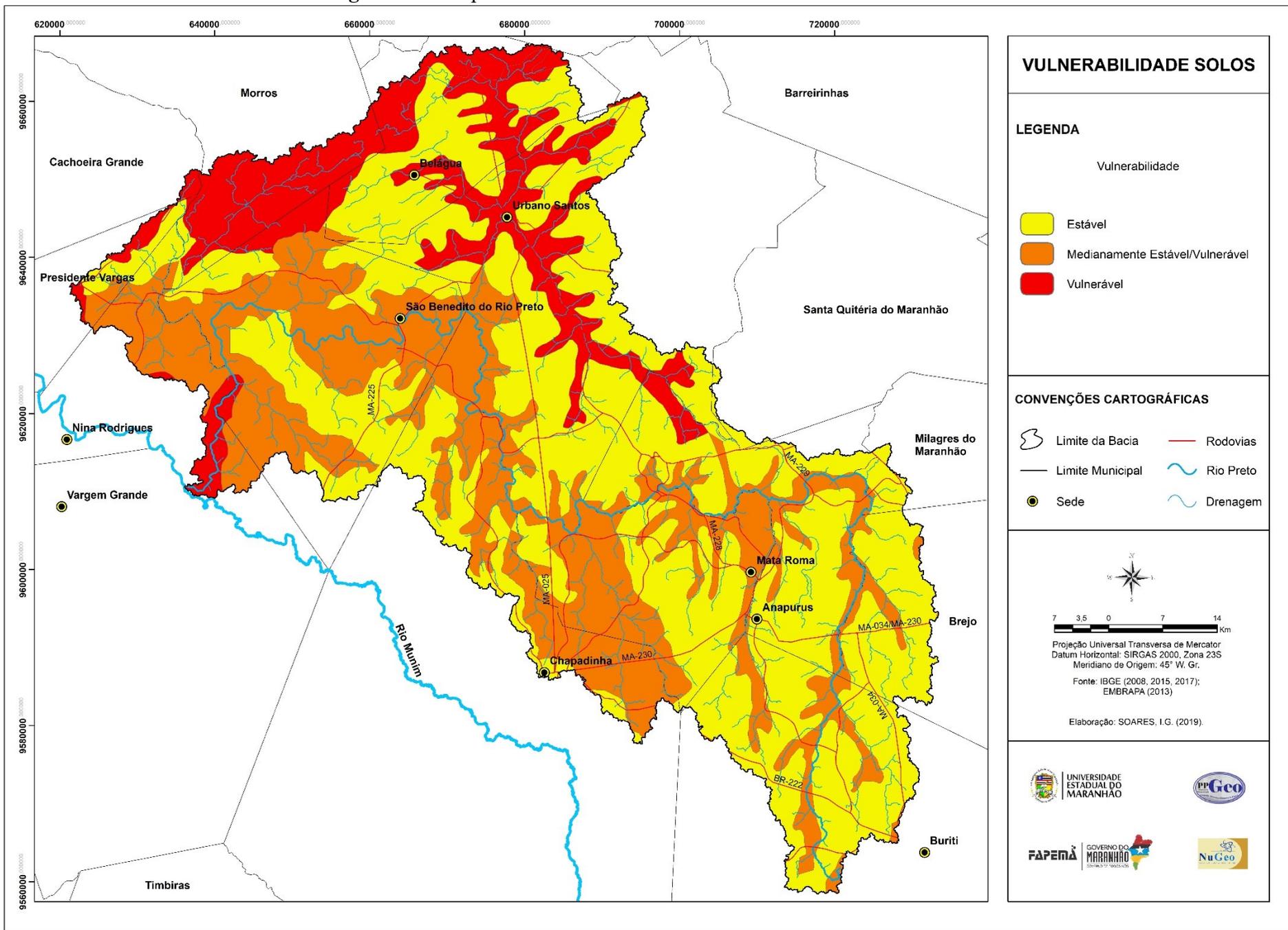
Tabela 23 - Vulnerabilidade dos solos da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

Vulnerabilidade	Classe de solos	Área (km ²)	%
Estável	Latossolos Amarelos	2.755,69	52,63
Medianamente Estável/Vulnerável	Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários	1.672,05	31,94
Vulnerável	Neossolos Quartzarênicos + Plintossolos Argilúvicos + Pétricos	807,89	15,43
Total		5.235,63	100

Elaboração: Soares, 2020.

O fato da floresta estacional semidecidual submontana ocorrer sobre esses solos, juntamente com o domínio de um relevo plano a suave-ondulado em uma área de morfologia tabular (Tabuleiros de Chapadinha) favorece decisivamente na estabilidade natural da bacia.

Figura 41 – Mapa de vulnerabilidade de solos da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

Os Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários contribuíram para que 31,94% da bacia ficasse medianamente estável/vulnerável. Segundo Crepani *et al.* (2001, p.85), “os solos Podzólicos (Argissolos), quando comparados com os Latossolos, apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados. Ocorrem geralmente em topografias um pouco mais movimentadas” no caso da bacia em estudo eles se encontram em relevos ondulados e forte-ondulados. A presença da floresta estacional semidecidual submontana e vegetação ripária também contribuíram para esse equilíbrio dinâmico.

Crepani *et al.* (2001, p.85) ainda elucida que:

Nos solos Podzólicos ocorre também um horizonte B, onde existe acumulação de argila, isto é, durante o processo de formação uma boa parte da argila translocou-se por eluviação do horizonte A para o horizonte B, onde se acumulou. Nestes solos a diferença de textura entre os horizontes A e B (ocasionada pelo acúmulo de argila no horizonte B) dificulta a infiltração de água no perfil, o que favorece os processos erosivos.

Os Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos Argilúvicos e Pétricos ocupam 15,43% da bacia e são responsáveis pela vulnerabilidade da mesma (Figura 41). Vale destacar que os Neossolos Quartzarênicos são bastante vulneráveis, apesar da aparente profundidade – principalmente nas Paleodunas – uma vez que a presença de areia além dos baixos teores de matéria orgânica e argila proporcionam a diminuição da capacidade de agregação entre as partículas deste tipo de solo. Em consequência disto, são facilmente erodidos por deflação (MEDEIROS; PEREIRA; ALMEIDA, 2012). Além disso, são solos rasos e pouco desenvolvidos, isto é, sua característica principal é a pequena evolução dos perfis de solo.

Em relação aos Plintossolos, Adamy (2005) afirma que são solos medianamente desenvolvidos, pouco profundos, mal ou imperfeitamente drenados, tendo como característica fundamental um horizonte plíntico, definido pela presença de plintita em quantidade igual ou superior a 15% e espessura mínima de 15 cm. Já os Plintossolos Pétricos concrecionários possuem diferenças texturais que dificultam a infiltração da água tornando-o suscetível a processos erosivos (RABELO; SOUZA; FEITOSA, 2016). Essas características favorecem a instabilidade desses solos.

Diante do que foi discutido e com base na metodologia proposta para este estudo, constatou-se que 52,63% da bacia está em uma situação de estabilidade, ou seja, predomínio de pedogênese ao passo que 31,94% mantêm-se em equilíbrio entre a morfogênese e pedogênese, apenas 15,43% da área de estudo encontra-se vulnerável.

6.2 Vulnerabilidade das unidades geológicas

Os arenitos quartzosos ou ortoquartzitos, siltitos, argilitos e folhelhos presentes no Grupo Itapecuru (Cretáceo) contribuíram para que essa unidade geológica ficasse moderadamente vulnerável com peso igual a 4,0 (Figura 42). Na região oeste da bacia suas rochas estão associadas a um relevo dissecado, predominando uma morfologia ondulada a forte-ondulada, e ainda ocorrendo solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário.

O Grupo Barreiras (Neogeno) é composto por sedimentos argilosos, arenosos e conglomeráticos, arenito, pelito que em conjunto são responsáveis por uma moderada vulnerabilidade na bacia, correspondem ao peso 4,0 com base na escala de Crepani *et al.* (2001). Essa unidade litoestratigráfica associa-se ao domínio de relevos planos a suave-ondulados e a uma morfologia tabular (Tabuleiros de Chapadinha). Identificou-se nesse Grupo os Latossolos Amarelos distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários. Essa unidade e a supracitada ocupam 57,80% da área de pesquisa (Tabela 24).

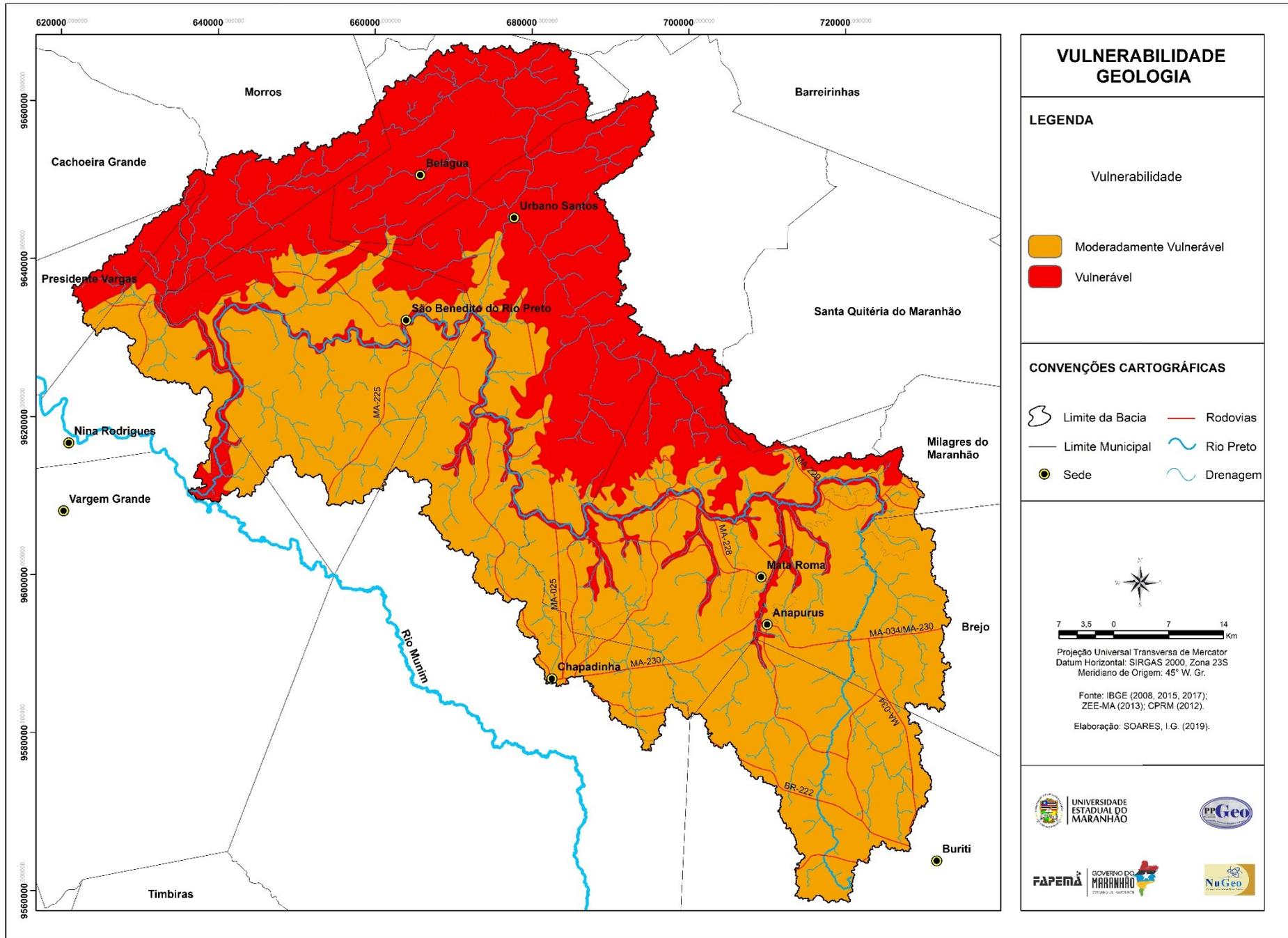
Tabela 24 - Vulnerabilidade das unidades geológicas da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

Vulnerabilidade	Unidades geológicas	Área (km ²)	%
Moderadamente Vulnerável	Grupo Barreiras + Grupo Itapecuru	3.026,45	57,80
Vulnerável	Formação Codó + Depósitos Eólicos Continentais Antigos + Depósitos Aluvionares	2.209,18	42,20
Total		5.235,63	100

Elaboração: Soares, 2020.

As áreas vulneráveis (Figura 42), por sua vez, estão atreladas as litologias da Formação Codó, Depósitos Eólicos Continentais Antigos e Depósitos Aluvionares o que totaliza 42,20% da bacia. Essa última unidade é formada por sedimentos inconsolidados próximo a drenagem da bacia, compreendem relevos ondulados a forte-ondulados, solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário e Plintossolo Argilúvico. Por esses aspectos seu valor de vulnerabilidade segundo a metodologia utilizada corresponde a 5,0.

Figura 42 – Mapa de vulnerabilidade das unidades geológicas da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

Nos Depósitos Eólicos Continentais Antigos ocorrem dunas eólicas que favorecem a vulnerabilidade dessa formação, principalmente ao norte da bacia onde tem-se as Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga), a presença dos Neossolos Quartzarênicos e os Lençóis Maranhenses. Já a leste da bacia essa unidade compreende os Plintossolos Argilúvicos que também são vulneráveis e os Latossolos Amarelos. Em relação ao relevo compreendem os Tabuleiros de Chapadinha sendo predominantes em regiões planas e suave-onduladas.

Conforme Santos (2015, p.37), “As unidades litoestratigráficas de formação geológica recente, desenvolvem terrenos instáveis e inconsolidados, com solo raso e lençol freático aflorante, para esses depósitos atribuiu-se o valor de vulnerabilidade 3”. Essas características estão presentes tanto nos Depósitos Aluvionares quanto nos Depósitos Eólicos Continentais Antigos, pois são formações recentes, associadas ao período Quaternário.

Quanto mais a água fica em contato com o mineral, mais ele será intemperizado. Portanto quanto mais porosa a rocha, ou mais fraturada, mais a água pode atacar seus grãos constituintes e mais rapidamente também são retirados os produtos do intemperismo para que novas superfícies do cristal sejam expostas e intemperizadas. No caso dos Depósitos Aluvionares e Depósitos Eólicos Continentais Antigos essa afirmação de Crepani *et al.* (2001) também se aplica.

Formada por arenito, folhelho, siltito e evaporito a Formação Codó (Cretáceo) encontra-se em uma área de relevo dissecado, especificamente sobre a unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Itapecuru onde ocorre uma tipologia morfológica ondulada e forte-ondulada, já quanto aos solos identifica-se os Plintossolos Argilúvicos. Todo esse contexto fisiográfico favorece a instabilidade natural dessa unidade litoestratigráfica.

A partir da fonte dos dados de geologia constatou-se que a BHRP é formada por materiais inconsolidados, portanto, de formação recente, instáveis e de fácil desagregação. “Os sedimentos inconsolidados estão entre os mais instáveis à vulnerabilidade, especialmente quando ocorrem ao longo dos leitos dos rios, áreas onde uma grande quantidade de material é transportada pela água”. (SANTOS; SCHOTT; SOARES, 2018, p.30). Desta forma, a bacia sobre o prisma da estrutura geológica encontra-se naturalmente em uma situação de instabilidade, predominando o processo morfodinâmico.

6.3 Vulnerabilidade geomorfológica

Concernente ao tema geomorfologia, a classe estável (Tabela 25) concentra 68,04% da bacia estando associada a unidade geomorfológica Tabuleiros de Chapadinha. Esta estabilidade é proporcionada por um conjunto de aspectos, dentre eles as baixas declividades (0-3% e 3-8%), a presença do Latossolo Amarelo, a floresta estacional semidecidual submontana, savana arborizada e vegetação ripária. Desta forma, esta unidade, naturalmente, não potencializa a atuação da morfogênese e com a presença dos outros componentes da paisagem sobressai a pedogênese (Figura 43).

Tabela 25 - Vulnerabilidade das unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

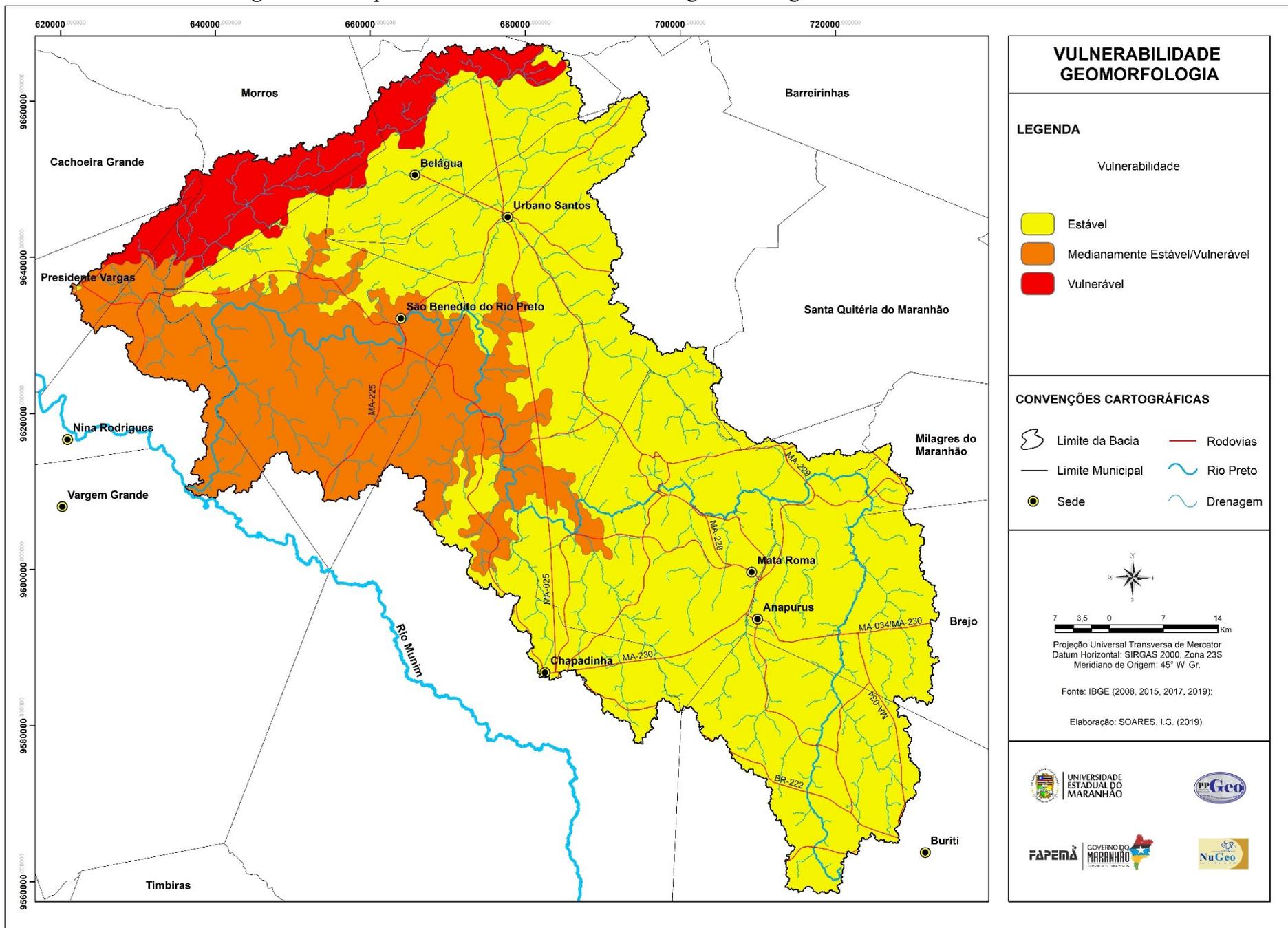
Vulnerabilidade	Unidades geomorfológicas	Área (km ²)	(%)
Estável	Tabuleiros de Chapadinha + Corpo D'água	3.562,57	68,04
Medianamente Estável/ Vulnerável	Planalto Dissecado do Itapecuru	1.284,62	24,54
Vulnerável	Lençóis Maranhenses	388,44	7,42
Total		5.235,63	100

Elaboração: Soares, 2020.

A classe medianamente estável/vulnerável ocupa 24,54% da bacia, este equilíbrio tem como causa a presença do Planalto Dissecado do Itapecuru, embora seja formado por declividades entre 8-20% e 20-45%, a ocorrência dos solos Latossolo Amarelo e Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários juntamente com a existência da floresta estacional semidecidual submontana e vegetação ripária contribuem para esta classificação morfodinâmica dessa unidade geomorfológica.

Os Lençóis Maranhenses ocupando 7,42% da BHRP são responsáveis por sua vulnerabilidade, a existência dos Neossolos Quartzarênicos, Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga), Depósitos Eólicos Continentais Antigos potencializaram a vulnerabilidade natural ao processo erosivo, tanto pluvial quanto por deflação, na região norte da bacia. Salienta-se que a maior concentração de chuvas situa-se ao norte da área-objeto.

Figura 43 – Mapa de vulnerabilidade das unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

6.4 Vulnerabilidade do parâmetro declividade

Quanto ao aspecto clinográfico, Crepani *et al.* (2001) afirma que os valores próximos de 1,0 da escala de vulnerabilidade estão associados a pequenos ângulos de inclinação das encostas, situação em que prevalecem os processos formadores de solo da pedogênese e os valores mais próximos de 3,0 estão associados a situações de maior declividade, onde prevalecem os processos erosivos da morfogênese.

Os relevos planos ocupam 46,26% da área total da bacia e são responsáveis pela estabilidade dela (Tabela 26), já as áreas moderadamente estáveis associam-se aos relevos suave-ondulados que representam 43,49% da área em estudo. Isso implica em um quadro de estabilidade, pois tais formas de relevo ocupam um total de 89,75% da BHRP. A Figura 44 apresenta a espacialização dessas classes.

Tabela 26 - Vulnerabilidade do gradiente de declividade da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

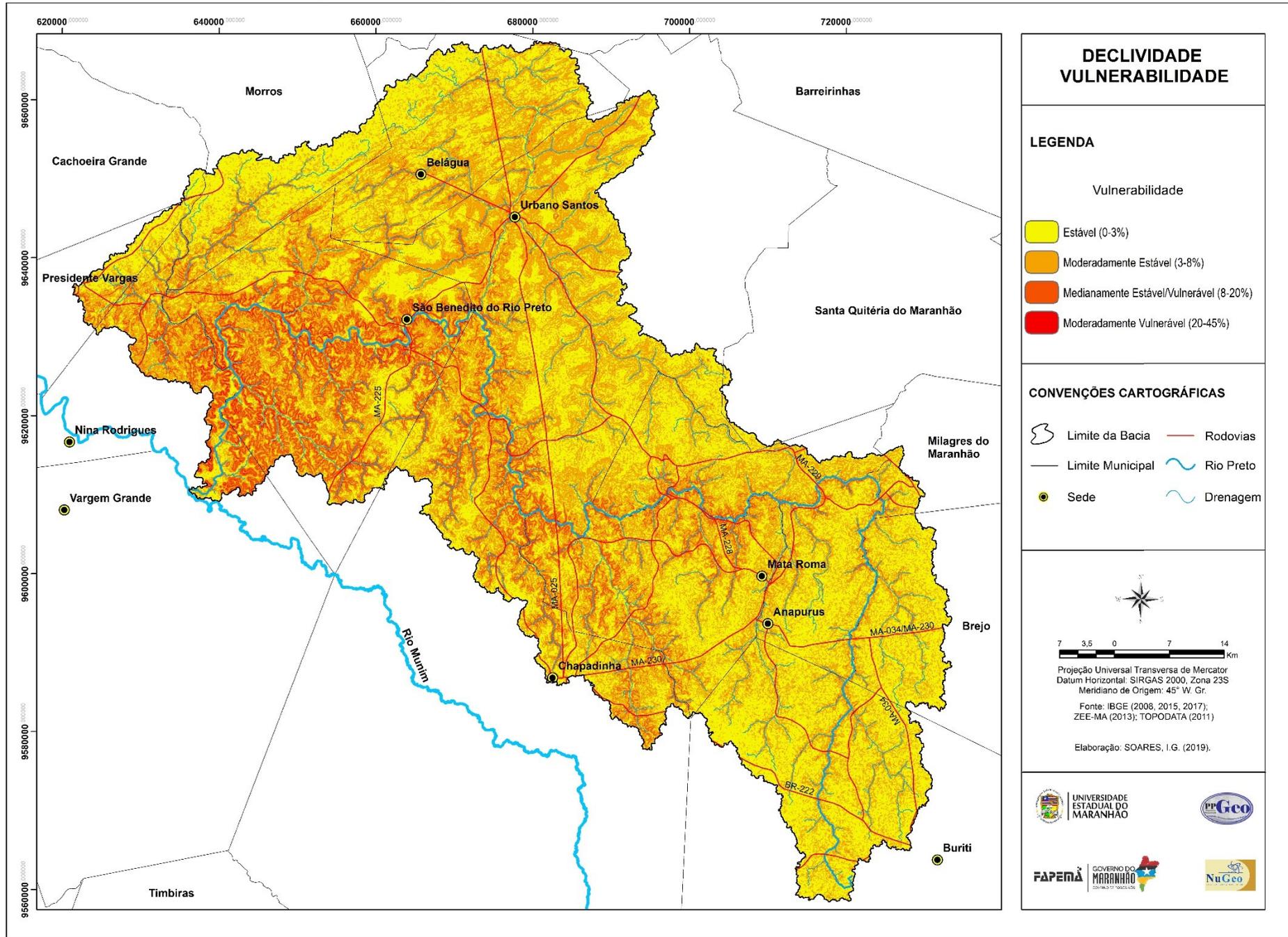
Vulnerabilidade	Formas de Relevo	Área (km ²)	(%)
Estável	Plano (0-3%)	2.422,12	46,26
Moderadamente Estável	Suave-Ondulado (3-8%)	2.276,98	43,49
Medianamente Estável/ Vulnerável	Ondulado (8-20%)	517,21	9,88
Moderadamente Vulnerável	Forte-Ondulado (20-45%)	19,32	0,37
Total		5.235,63	100

Elaboração: Soares, 2020.

A situação de equilíbrio ecodinâmico é observado nos relevos ondulados o que envolve menos de 10% da área total da bacia ao passo que a moderada vulnerabilidade situa-se na classe forte-ondulada, ocupando menos de 1% da área-objeto (Tabela 26).

É importante salientar, “quanto maior for à declividade e mais alta a vertente, mais fácil e veloz a descida dos materiais que se encontram nela ou no seu topo, tornando este ambiente mais instável”. (MEDEIROS; PEREIRA; ALMEIDA, 2012, p.481). As regiões mais declivosas (8-20% e 20-45%), como é o caso das áreas marginais às redes de drenagem da bacia juntamente com a ocorrência das litologias do Grupo Itapecuru, contribuíram para a atuação de processos morfodinâmicos mais intensos, tornando as áreas moderadamente vulneráveis mais propícias ao desenvolvimento de processos erosivos.

Figura 44 – Mapa de vulnerabilidade da declividade da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

A declividade é fundamental no estudo da vulnerabilidade à erosão, pois “exerce influência direta sobre a quantidade de perda de solo por erosão, pois, quanto maior seu gradiente, maior a intensidade de escoamento das águas sob o efeito da gravidade, sendo, menor o seu tempo disponível para a infiltração no solo”. (OLIVEIRA; PINTO; LOMBARDI NETO, 2007, p.73).

Ainda em relação a declividade, Dias (2012, p.74-75) destaca que “a própria força da gravidade, sem a presença de água superficial, devido à inclinação do relevo, sempre adiciona uma componente descendente das partículas rochosas se movendo nas encostas”. Neste contexto, as áreas de alta declividade (20-45%) na bacia também favorecem movimentos de massa sendo desta forma um risco potencial e real caso seja construído moradias adjacentes a essas áreas.

A declividade é um parâmetro morfométrico importante na análise da vulnerabilidade, pois é heterogênea ao longo da bacia. As regiões declivosas prejudicam as condições de estabilidade nesses locais, se tornando mais vulnerável à erosão (MEDEIROS *et al.*, 2014). Porém a BHRP no contexto clinográfico está associada, preponderantemente, a uma condição de estabilidade.

O estudo da paisagem natural da bacia de forma integrada aponta que seus componentes naturais ao interagirem e se inter-relacionarem potencializam a estabilidade, equilíbrio e vulnerabilidade da bacia, pois as características combinadas de cada componente da paisagem criam uma dinâmica própria no sistema natural.

6.5 Vulnerabilidade do uso e cobertura da terra

As áreas estáveis correspondem a 9,75% (Tabela 27) sendo compostas pelas classes corpo d'água e vegetação ripária (Figura 45). Os corpos de água são compreendidos como estáveis, pois leva-se em consideração sua dinâmica natural na bacia.

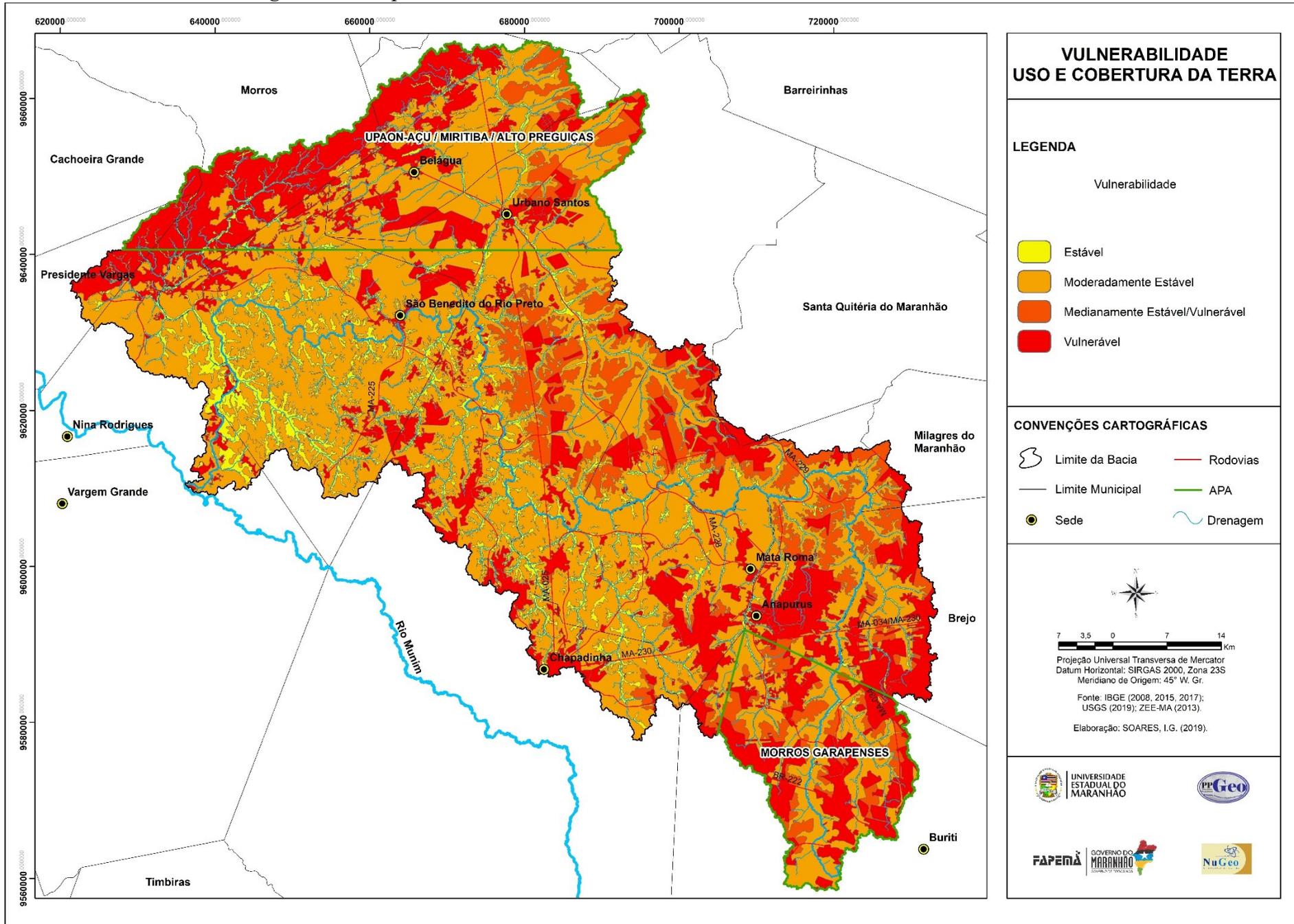
Tabela 27 - Vulnerabilidade do uso e cobertura da terra da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

Vulnerabilidade	Classes de uso e cobertura da terra	Área (km ²)	%
Estável	Água + Vegetação ripária	510,28	9,75
Moderadamente Estável	Floresta estacional semidecidual submontana	2.824,57	53,95
Medianamente Estável/Vulnerável	Savana arborizada	510,87	9,76
Vulnerável	Agricultura + Área urbana + Vegetação secundária + Pastagem + Silvicultura + Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga)	1.389,91	26,55
Total		5.235,63	100

Elaboração: Soares, 2020.

Segundo Barbosa *et al.* (2005) dentre as principais funções da vegetação ripária está a proteção das terras ribeirinhas contra a erosão, devido à resistência oferecida pelo emaranhado de raízes; proteção de mananciais; anteparo aos detritos carreados pelas enxurradas, diminuindo impactos sobre a vida aquática, a navegação e a qualidade da água para consumo humano, consumo animal, geração de energia e irrigação; abastecimento do lençol freático, pela suavização e certa contenção do impacto da água da chuva e auxílio à conservação da vida aquática, evitando alteração na topográfica submersa, propiciando algum controle da temperatura da água e fornecendo alimentos na forma de flores, frutos e insetos; exerce papel de corredores de fluxo gênico vegetal e animal; função protetora nas margens dos canais de drenagem evitando processos de assoreamento.

Além das funções mencionadas a vegetação ripária tem a “função hidrológica para a manutenção da integridade da microbacia hidrográfica, representada por processos importantes para a estabilidade da microbacia, para a manutenção da quantidade e qualidade de água, e manutenção do ecossistema aquático”. (ANSCHAU *et al.*, 2017, p.22-23).



Fonte: Soares, 2021.

As funções que foram elencadas evidenciam a importância de conservar tal vegetação, entretanto, o fato da vegetação ripária na bacia ser classificada como estável, principalmente evitando a erosão próximo as margens dos canais, não implica em afirmar que ela deva ser utilizada sem qualquer planejamento, pois parte dessas áreas estão relacionadas a APP logo seu uso permeia sobre leis de conservação.

Aproximadamente 54% da bacia está moderadamente estável, tal situação decorre da presença da floresta estacional semidecidual submontana que tem ação protetora no tocante à perda de solos na área em estudo. Ela tem uma importância significativa no sentido de atenuar e até mesmo evitar processos erosivos no solo decorrente da atuação das chuvas na região. Já a classe medianamente estável/vulnerável ocupa 9,76% da bacia sendo a savana arborizada a cobertura vegetal que favoreceu o equilíbrio morfodinâmico. Portanto, a cobertura vegetal da floresta estacional semidecidual submontana é densa diferindo da savana arborizada que é espaçada e de menor biomassa.

A erosão pluvial é o fenômeno de destruição dos agregados do solo pelo impacto das gotas da chuva. Ela é função, por um lado, da energia cinética das gotas e, por outro, da resistência mecânica dos agregados. Esta depende das características do solo, elas mesmas influenciadas, em parte, pela natureza do material original do solo. As práticas agrônômicas podem melhorar ou destruir a resistência mecânica dos agregados. Ela melhora, por exemplo, com a introdução de matéria orgânica (detritos vegetais, esterco), mas é destruída pela compactação por máquinas pesadas ou pelas queimas (TRICART, 1977).

A cobertura vegetal intervém de duas formas principais no que concerne à erosão pluvial e, por consequência, no regime hídrico do ecossistema: 1) pela interceptação das precipitações, com os seus dois aspectos: hidrológico e energético; 2) pelo fornecimento à superfície do solo de detritos vegetais, que desempenham papel amortecedor (absorção de energia) (TRICART, 1977, p.27).

Apenas as plantas, no conjunto, possuem efeito estabilizador pela função de anteparo aos fluxos de radiação e às gotas da chuva, e pelo efeito frenador sobre o vento. Neste sentido, “onde a vegetação é capaz de fornecer detritos tem lugar a pedogenese”. (TRICART, 1977, p.36).

Quanto a importância da cobertura vegetal para a proteção dos solos, Medeiros, Pereira e Almeida (2012, p.482-483) argumentam:

As copas das árvores impedem o gotejamento direto da precipitação no solo, evitando com isso o efeito “*splash*” que desagrega as partículas do solo; impede a compactação e consequentemente o escoamento superficial concentrado em apenas um único fluxo que é um dos principais causadores da erosão; além das raízes das espécies vegetais, que juntamente com os organismos biológicos presentes no solo, promovem a aeração, permeabilidade e porosidade.

É relevante destacar que além de proteger o solo contra a perda de material, o uso adequado e a cobertura vegetal protegem-no diretamente contra efeitos degradantes ao solo e indiretamente na prevenção de impactos aos recursos hídricos e florestais, afetando consequentemente os elementos qualitativos no ambiente (JÚNIOR; RODRIGUES, 2012).

A partir da aplicação da metodologia constatou-se que as áreas vulneráveis para o tema uso e cobertura da terra compreendem 26,55% da área total da bacia. Desta forma, ela é o segundo maior meio morfodinâmico em termos de abrangência na BHRP, sendo formada pelas seguintes classes: Área urbana, Agricultura, Vegetação secundária, Pastagem, Silvicultura e Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga).

Nas áreas referentes ao uso urbano, principalmente, nas sedes municipais, a condição de vulnerabilidade é maior, em função da alta velocidade e volume de água em movimento originadas pelo escoamento superficial, especificamente nos períodos de chuva, agravada pela impermeabilização do solo devido a pavimentação e também favorecendo ocorrências de erosão laminar. Ressalta-se ainda que a vegetação em fragmentos dispersos nessas áreas favorece a condição de vulnerável.

No contexto de análise das áreas de agricultura da bacia é importante mencionar que tendo por objetivo potencializar o uso da terra, a sojicultura da microrregião de Chapadinha consorcia-se com outras culturas, como é o caso do arroz, do milho, do feijão, e do milheto (Figura 46). No período em que a terra não está sendo ocupada pela soja, as outras culturas poderão estar presentes (PRESOTI, 2008). Salienta-se que o solo fica exposto (terra limpa) para o plantio da soja, essa dinâmica de alteração da paisagem ocorre semestralmente.

A dinâmica do cultivo de soja mencionada no parágrafo anterior acaba por impactar o solo, deixando-o vulnerável a atuação mais intensa da erosão pluvial, pois as áreas de solo exposto utilizadas para fins agrícolas são expressivas na área de pesquisa e por estarem expostas são altamente vulneráveis a ação das chuvas na região, principalmente, nos quatro primeiros meses do ano que tem regime pluviométrico mais intenso na área-objeto. A ação das chuvas nesses solos expostos favorece, indubitavelmente, processos erosivos (erosão laminar e linear), e ainda em alguns afluentes da bacia e até mesmo no próprio rio Preto a

ocorrência potencial de assoreamento figurando-se neste contexto como um agravante a vulnerabilidade dessas áreas.

Como na área de estudo tem uma tecnificação da agricultura é comum o uso de máquinas na colheita e cultivo da soja. No entanto, o uso desse maquinário reforça os processos morfogênicos, pois ocorre a compactação dos solos pelas máquinas muito pesadas, que os impermeabilizam e entram a pedogênese (TRICART, 1977).

Figura 46 – Cultivo de milho na zona rural do município de Chapadinha



Fonte: Soares, 2018.

Uma prática relacionada ao desmatamento no contexto das monoculturas consiste no uso do chamado *correntão* que são grossas correntes, de várias toneladas, amarradas a tratores de esteira e que vão arrancando pela raiz as árvores e toda a vegetação e animais presente nas áreas de chapadas, de modo a preparar o terreno para o plantio da soja ou do eucalipto (NASCIMENTO, 2010; PAULA ANDRADE, 2011).

O modelo expansionista do agronegócio provoca consequências irreparáveis para os ecossistemas onde ele se instala. Sendo causado pela retirada da cobertura vegetal nativa e

pela adoção de uma única cultura, vale destacar a fragilidade do solo do Cerrado¹⁴. Dessa forma tem-se uma situação de tendência à elevação dos custos de produção pelo uso intensivo de insumos, tais como a utilização maciça de agrotóxicos, que agem diretamente impactando na remanescente fauna e flora (SANTOS; NETO; FERREIRA, 2009).

Ainda em se tratando dos problemas ambientais decorrentes da ação do agronegócio, Botelho; Almeida; Ferreira (2012) relatam que no Leste Maranhense registra-se processo de desertificação e de erosão do solo acelerada com a retirada da cobertura vegetal; o desmatamento florestal das chapadas atinge as atividades econômicas camponesas e leva ao extermínio da fauna (caça, pesca, pequena criação). Gaspar (2010, p.69) neste sentido acrescenta que o “desmatamento das chapadas com a destruição de recursos nativos despontou como outro aspecto resultante das atividades desenvolvidas pela MARFLORA e outras empresas florestais no Leste Maranhense”.

Autores como Medeiros, Pereira e Almeida (2012, p.482) argumentam que “solos expostos são mais vulneráveis a atuação intempérica, pelo fato de receberem diretamente a radiação solar, o que não colabora para a formação de uma camada superficial de matéria orgânica no solo e conseqüentemente sendo este mais pobre em nutrientes”.

De acordo com Pereira e Pereira (2012), a supressão da vegetação, além de colocar em risco a estabilidade do terreno, propicia também, o carreamento de materiais pelas drenagens, assoreando rios e contribuindo para o agravamento dos problemas de escoamento superficial e movimentos de massa.

Nas áreas de soja, assim como, de eucalipto ocorrem queimadas como já mencionado, principalmente, no período de estiagem que compreende o segundo semestre do ano. Essa problemática ambiental é bastante expressiva na área de estudo, já que fazendeiros detentores de extensas áreas de cultivo de soja e o próprio camponês utiliza o fogo para limpeza do terreno para o plantio agrícola e até mesmo pastoril. Essa dinâmica na área ensejada por esses atores sociais intensifica ainda mais a vulnerabilidade relacionada aos monocultivos e até mesmo outros cultivos agrícolas como o arroz (SOARES, 2018).

No contexto dos problemas ambientais relacionados ao eucalipto, Ribeiro Júnior; Oliveira; Costa (2014) a partir de trabalhos de campo e acompanhamento dos conflitos, nos

¹⁴ Fragilidade dada segundo Lemos (2001) por esse tipo de solo ser deficiente na disponibilidade de certos nutrientes e pela presença de um nível elevado de acidez, teores elevados de alumínio e pH ácido.

municípios de Santa Quitéria do Maranhão e Urbano Santos delinearão impactos ambientais decorrentes da ação da Suzano Papel e Celulose.

Ribeiro Júnior, Oliveira e Costa (2014) afirmam que a Suzano tem causado uma gama de impactos ambientais (como captação de água de rios, lagos e lagoas, que prejudica o abastecimento nos povoados); desmatado/queimado as chapadas com vistas ao plantio de eucalipto; destruindo formas de vida animal e vegetal através dos *correntões*; danificado, corpos hídricos e o solo com a utilização de venenos, principalmente herbicidas. Eles ainda relatam que os camponeses alegam que a Suzano matou muitos animais, caças, destruiu muitos pés de bacuri, pequi, via *correntão*.

Um problema ambiental relacionado a cultura do eucalipto diz respeito a desertificação do solo. Tal problemática que está, intimamente, relacionada ao uso de defensivos agrícolas foi destacada por Lima (1993 *apud* BOTELHO; ALMEIDA; FERREIRA, 2012, p.91), o mesmo, explica que:

Há a eminência de desertificação a partir da cultura do eucalipto pelo solapamento da produtividade biológica do ecossistema vulnerável através das três seguintes maneiras: a) a alta demanda de água da espécie esgota a umidade do solo e destrói a descarga da água subterrânea, desestabilizando o ciclo hidrológico; b) a pesada demanda por nutrientes cria um déficit anual enorme, desestabilizando o ciclo de nutriente; c) a liberação de substâncias química afeta o crescimento de plantas e de microrganismos do solo, reduzindo, assim, ainda mais a fertilidade do solo. A desertificação do solo também é ocasionada pela oscilação da cobertura vegetal e contaminação dos corpos hídricos e do solo em consequência de aplicação de pesticidas evitando à ação de insetos e capim

Determinadas culturas agrícolas como o eucalipto são as maiores responsáveis pela contaminação dos recursos hídricos superficiais, causando perda da biodiversidade nos locais onde são plantados. A intervenção antrópica, principalmente com a intensa utilização de agrotóxicos, vem agravando a infiltração da água no solo, consequentemente causando efeitos não apenas ao meio ambiente, mas também prejuízos socioeconômicos (PROTACIO, 2016).

É factual que na área de estudo em se tratando das ações do agronegócio ocorrem consequências socioambientais e que nesse contexto há um quadro de tensões sociais que tem afetado de modo negativo a vida das populações camponesas. Neste sentido, no que diz respeito ao camponês, Santos (2016, p.333) argumenta que a:

Alimentação e saúde é afetada pelo uso indiscriminado de agrotóxicos na água, no solo e no ar, que contamina plantas e animais destinados ao consumo dessa população; além da derrubada da mata, que num rápido processo de desmatamento

faz desaparecer da chapada espécies de plantas medicinais que há até pouco tempo eram elementos indispensáveis no cotidiano das famílias para a fabricação de remédios pelas mulheres; o extrativismo do babaçu, bacuri e pequi, importante fonte de renda nos povoados, torna-se quase que inviabilizado devido ao grau de devastação dessas espécies.

A vegetação secundária, consubstanciada, com os monocultivos propiciou a instabilidade na bacia. Conforme mencionado, essas áreas estão associadas aos cultivos que foram abandonados e que por esse motivo ocorre a regeneração da vegetação nativa, entretanto, a biomassa é reduzida nestas localidades implicando na atuação mais intensa da erosão pluvial.

A pastagem cultivada na bacia com peso 5,0 favorece a intensificação da erosão, pois nessa classe são plantados capim, este, por sua vez, tem baixa densidade vegetativa se comparado a floresta estacional semidecidual submontana e a savana arborizada. Outra problemática desse cultivo está atrelada ao pisoteio do gado que “pode acarretar ou intensificar processos erosivos, tais como rastejo e compactação do solo”. (MESSIAS *et al.*, 2012, p.122).

Em comparação com a floresta ombrófila, Tricart (1977) afirma que a pastagem possui papel hidrológico diferente das formações arbustivas. A interceptação das chuvas é menor, e, sobretudo, a concentração do escoamento é mais rápida. Os picos das cheias são mais fortes.

Gomes *et al.* (2005, p.3524) corroboram com a presente discussão sobre uso da terra quando elucidam que “o solo exposto, culturas anuais e pastagens, possuem um alto valor de vulnerabilidade aos processos de perda de solo, devido à baixa cobertura do solo e ao constante preparo para a agricultura”.

Ainda no contexto do impacto da alteração da cobertura vegetal nativa decorrente da agricultura ou pastagem plantada. Valles (1999, p.29) discorre:

A retirada da vegetação nativa para a formação de pastagens ou agricultura, podem desencadear processos degenerativos resultando na perda das camadas superficiais de solo. A exposição do solo ao sol, vento e chuva provoca modificações na estrutura física e biológica, refletindo diretamente na sustentabilidade tanto da atividade econômica, quanto da paisagem natural.

A prática do uso do fogo para limpeza na agricultura e pecuária é comum na área de pesquisa, porém “prejudicial para o solo, pela destruição da matéria orgânica e do nitrogênio, além da desestruturação ou desorganização das partículas constituintes do solo,

condicionando a diminuição da capacidade de absorção e retenção de umidade”. (VALLES, 1999, p.111).

As áreas de formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) com peso de vulnerabilidade igual a 5,0, também se incluem nas classes que favoreceram a instabilidade da bacia e o conseqüente aumento do grau de vulnerabilidade para o processo erosivo, embora seja uma cobertura da terra, tal classe é vulnerável devido a vegetação escassa, aberta e a presença de solo arenoso (Neossolo Quartzarênico) que acaba por facilitar a erosão através da atuação do vento e da chuva.

Diante do exposto, conclui-se que a BHRP no contexto do uso e cobertura da terra tem 63,70% de sua área total numa situação de estabilidade morfodinâmica, ao passo que a classe medianamente estável/vulnerável abrange 9,76%, já no caso da classe vulnerável, ela corresponde a 26,55%, tendo como principal responsável as atividades antrópicas relacionadas a agricultura, silvicultura e sua conseqüente vegetação secundária e as pastagens, ou seja, atividades econômicas sem planejamento ou qualquer viés de atuação sustentável, o que gera um quadro de implicações ambientais na bacia.

7 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO

Com o uso da metodologia para espacializar e mensurar a vulnerabilidade ambiental da BHRP, identificou-se uma variação em sua vulnerabilidade que vai desde uma situação de estabilidade ecodinâmica a instabilidade, conforme pode ser observado na Figura 47 e Tabela 28. Os componentes da paisagem que determinaram essa dinâmica são elencados no Quadro 8, onde apresenta-se as informações por UPRH.

Tabela 28 - Vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Preto e suas respectivas concentrações

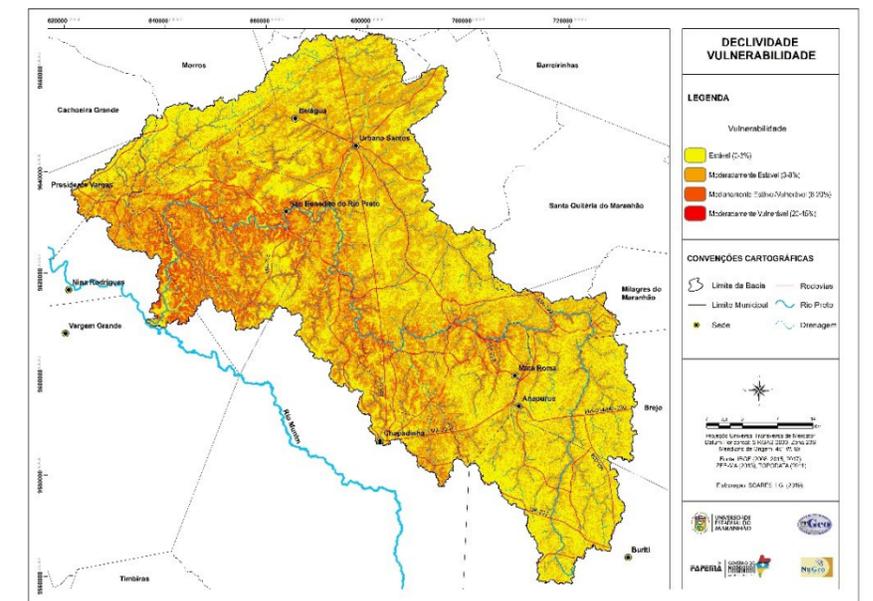
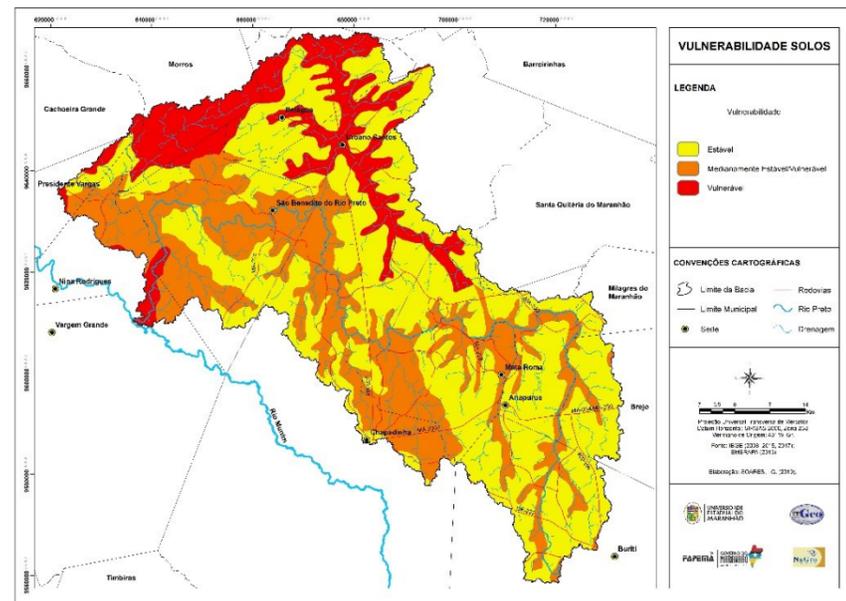
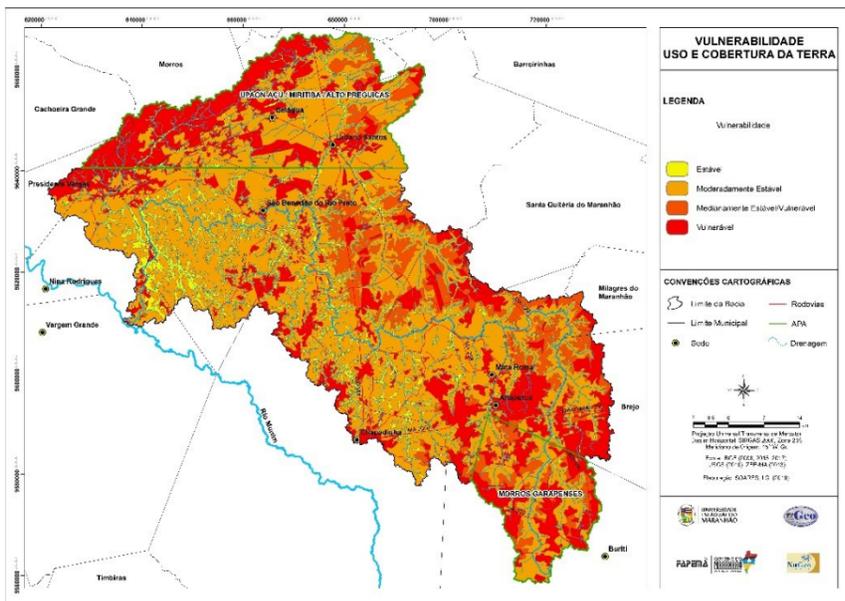
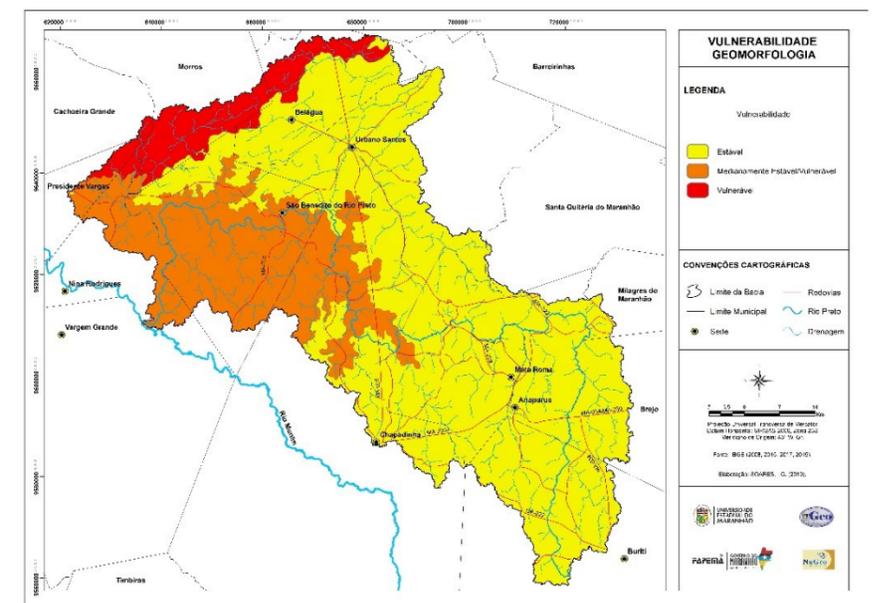
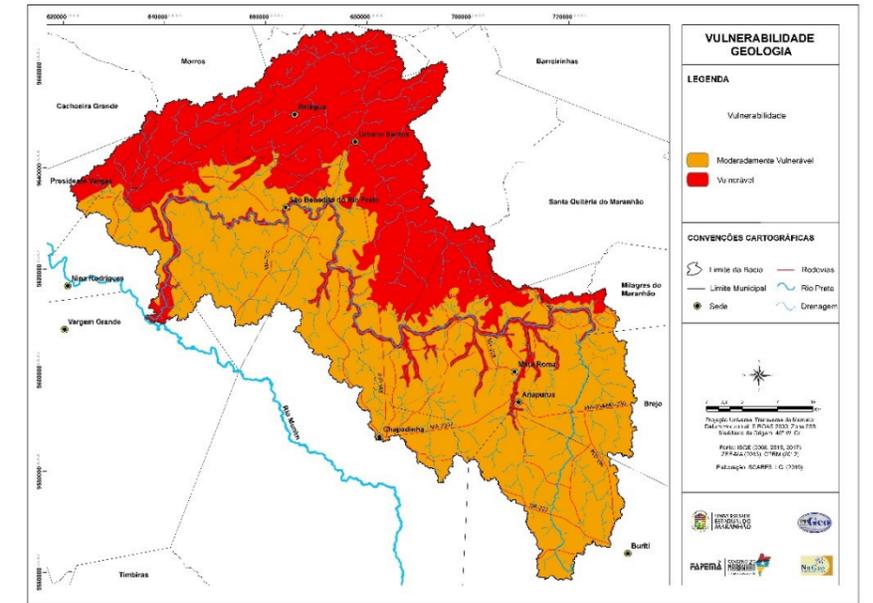
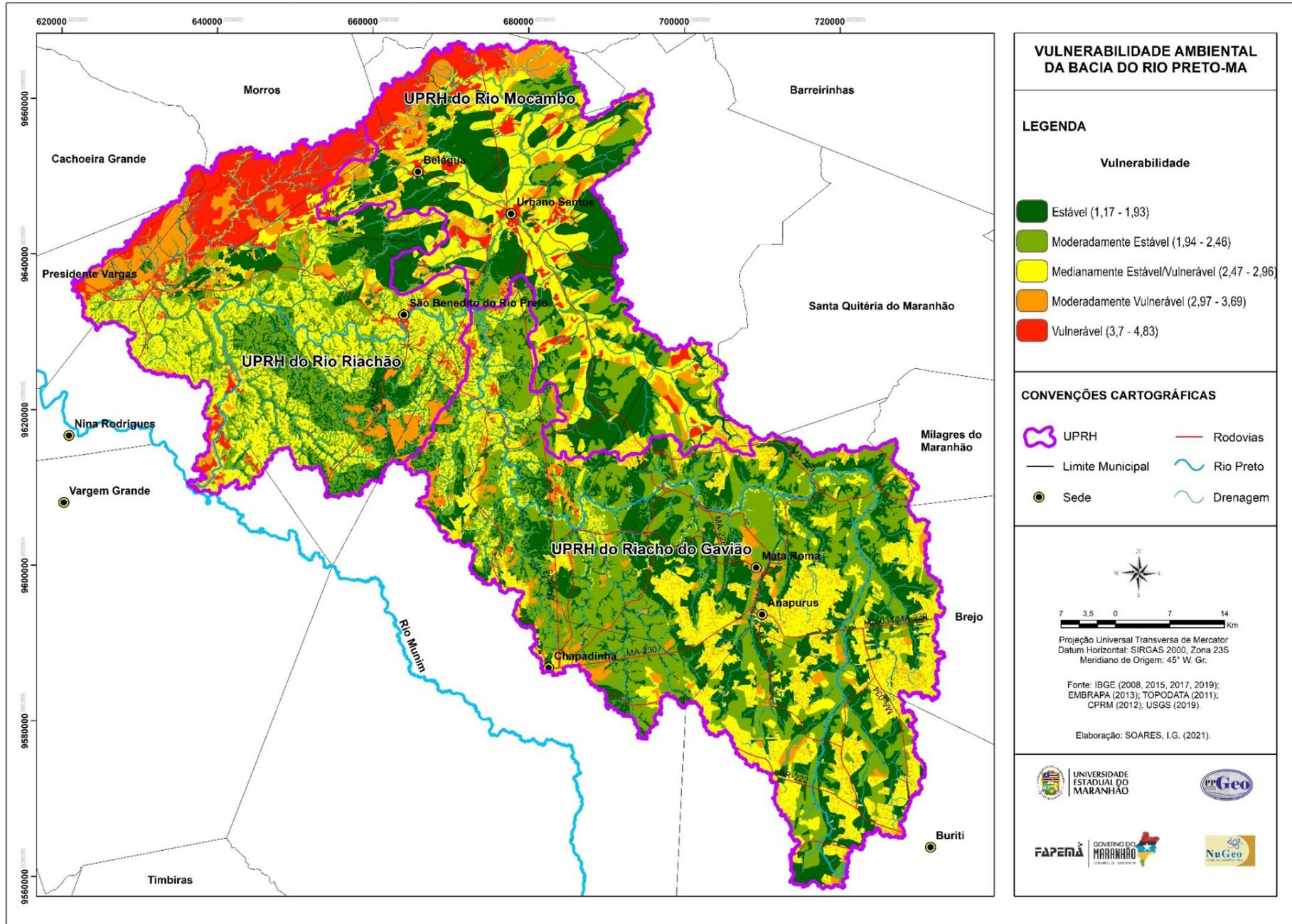
Vulnerabilidade Ambiental	Área (km²)	%
Estável	1.344,06	25,67
Moderadamente Estável	1.585,92	30,29
Medianamente Estável/Vulnerável	1.400,72	26,75
Moderadamente Vulnerável	544,62	10,40
Vulnerável	360,30	6,88
Total	5.235,63	100

Elaboração: Soares, 2021.

Com base no Quadro 8 constata-se que cerca de 28,36% da UPRH do riacho do Gavião encontra-se numa situação de estabilidade decorrente da tipologia do relevo, as baixas declividades, cobertura vegetal nativa, embora ocorra nessas áreas os litotipos do Grupo Barreiras, Itapecuru, Depósitos Eólicos Continentais Antigos e Depósitos Aluvionares, ambos não tiveram influência significativa nesta classe, pois a temática geologia representa apenas 5,8% de peso na identificação da vulnerabilidade ambiental da bacia.

Quanto a classe moderadamente estável, ela concentra 39,04% da UPRH do riacho do Gavião, sendo a floresta estacional semidecidual submontana, os Tabuleiros de Chapadinha, e as declividades entre 0-3% e 3-8% decisivas para essa condição. Já em relação as unidades geológicas identificadas na área abrangida por essa classe, sua influência assimila-se ao da classificação estável descrita no parágrafo anterior.

Figura 47 – Mapa de vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo da bacia do rio Preto - MA



Fonte: Soares, 2021.

Quadro 8 – Vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo da bacia do rio Preto por UPRH

UPRH/Área (km ²)	Estável	Moderadamente estável	Medianamente estável/vulnerável	Moderadamente vulnerável	Vulnerável
Riacho do Gavião (2.467,97 km ²)	Área de abrangência da classe 699,92 km ² . Formada por Tabuleiros de Chapadinha (1,0); Latossolo Amarelo (1,0); Corpo D'água (1,0), Vegetação ripária (1,0), Floresta estacional semidecidual submontana (2,0); Grupo Barreiras (4,0), Itapecuru (4,0), Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Depósitos Aluvionares (5,0); Declividades entre 0-3% (1,0) a 3-8% (2,0).	Área de abrangência da classe 963,45 km ² . Formada por Tabuleiros de Chapadinha (1,0), Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0); Latossolo Amarelo (1,0), Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0); Floresta estacional semidecidual submontana (2,0), Savana arborizada (3,0), Vegetação ripária (1,0), Corpo D'água (1,0); Grupo Barreiras (4,0), Itapecuru (4,0), Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Depósitos Aluvionares (5,0); Declividades entre 0-3% (1,0) a 3-8% (2,0).	Área de abrangência da classe 598,67 km ² . Formada por Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0), Tabuleiros de Chapadinha (1,0); Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0), Latossolo Amarelo (1,0); Agricultura, Pastagem, Floresta estacional semidecidual submontana (2,0), Área urbana (5,0), Silvicultura (5,0), Savana arborizada (3,0), Vegetação secundária (5,0); Grupo Barreiras (4,0), Itapecuru (4,0), Declividades 0-3% (1,0), 3-8% (2,0), 8-20% (3,0), 20-45% (4,0).	Área de abrangência da classe 199,59 km ² . Formada por Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0), Tabuleiros de Chapadinha (1,0); Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0); Agricultura (5,0), Pastagem (5,0), Área urbana (5,0), Silvicultura (5,0), Vegetação secundária (5,0); Grupo Barreiras (4,0), Itapecuru (4,0), Depósitos Aluvionares (5,0), Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0); Declividades entre 0-3% (1,0), 3-8% (2,0), 8-20% (3,0).	Área de abrangência da classe 6,33 km ² . Formada por Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0); Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0); Agricultura (5,0), Pastagem (5,0), Área urbana (5,0), Silvicultura (5,0), Vegetação secundária (5,0); Grupo Itapecuru (4,0), Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0); Declividades entre 3-8% (2,0), 8-20% (3,0).
Rio Mocambo (1.311,90 km ²)	Área de abrangência da classe 412,15 km ² . Formada por Tabuleiros de Chapadinha (1,0); Latossolo Amarelo (1,0); Corpo D'água (1,0), Floresta estacional semidecidual submontana (1,0), Vegetação ripária (1,0); Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Grupo Itapecuru (4,0), Depósitos Aluvionares (5,0); Declividades 0-3% (1,0) e 3-8% (2,0).	Área de abrangência da classe 221,95 km ² . Formada por Tabuleiros de Chapadinha (1,0); Latossolo Amarelo (1,0), Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0); Corpo D'água (1,0), Savana arborizada (3,0), Vegetação ripária (1,0); Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Grupo Itapecuru (4,0), Depósitos Aluvionares (5,0); Declividades 0-3% (1,0) e 3-8% (2,0).	Área de abrangência da classe 384,91 km ² . Formada por Tabuleiros de Chapadinha (1,0), Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0); Latossolo Amarelo (1,0), Plintossolo Argilúvico (5,0); Agricultura (5,0), Corpo D'água (1,0), Floresta estacional semidecidual submontana (2,0), Vegetação ripária (1,0), Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) (5,0), Silvicultura (5,0), Vegetação secundária (5,0); Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Grupo Itapecuru (4,0), Depósitos Aluvionares (5,0); Declividades: 0-3% (1,0) e 3-8% (2,0).	Área de abrangência da classe 167,49 km ² . Formada por Lençóis Maranhenses (5,0), Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0), Tabuleiros de Chapadinha (1,0); Neossolo Quartzarênico (5,0), Plintossolo Argilúvico (5,0); Latossolo Amarelo (1,0), Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0); Agricultura (5,0), Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) (5,0), Silvicultura (5,0), Savana arborizada (3,0); Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0); Declividades 0-3% (1,0), 3-8% (2,0), 8-20% (3,0).	Área de abrangência da classe 125,40 km ² . Formada por Lençóis Maranhenses (5,0), Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0); Neossolo Quartzarênico (5,0), Plintossolo Argilúvico (5,0); Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Grupo Itapecuru (4,0); Agricultura (5,0), Pastagem (5,0), Área urbana (5,0), Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) (5,0), Silvicultura (5,0), Vegetação secundária (5,0); Declividades: 0-3% (1,0) a 8-20% (3,0).
Rio Riachão (1.455,76 km ²)	Área de abrangência da classe 231,99 km ² . Formada por Tabuleiros de Chapadinha (1,0), Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0); Latossolo Amarelo (1,0); Corpo D'água (1,0), Floresta estacional semidecidual submontana (2,0), Vegetação ripária (1,0); Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Grupo Itapecuru (4,0); Declividades 0-3% (1,0) e 3-8% (2,0).	Área de abrangência da classe 400,52 km ² . Formada por Tabuleiros de Chapadinha (1,0), Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0); Latossolo Amarelo (1,0), Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0); Corpo D'água (1,0), Floresta estacional semidecidual submontana (2,0), Vegetação ripária (1,0); Depósitos Aluvionares (5,0), Grupo Barreiras (4,0), Formação Codó (5,0) Declividades entre 0-3% (1,0) a 20-45% (4,0).	Área de abrangência da classe 417,15 km ² . Formada por Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0); Tabuleiros de Chapadinha (1,0); Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0), Plintossolo Argilúvico (5,0); Agricultura (5,0), Floresta estacional semidecidual submontana (2,0), Vegetação ripária (1,0), Silvicultura (5,0), Vegetação secundária (5,0); Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Depósitos Aluvionares (5,0), Grupo Barreiras (4,0), Grupo Itapecuru (4,0), Formação Codó (5,0); Declividades: 3-8% (2,0), 8-20% (3,0), 20-45% (4,0).	Área de abrangência da classe 177,54 km ² . Formada por Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0), Lençóis Maranhenses (5,0); Plintossolo Pétrico (5,0) e Argilúvico (5,0), Neossolo Quartzarênico (5,0), Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0), Latossolo Amarelo; Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Grupo Itapecuru (4,0), Grupo Barreiras (4,0), Formação Codó (5,0), Agricultura (5,0), Pastagem (5,0), Área urbana (5,0), Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) (5,0), Silvicultura (5,0), Vegetação secundária (5,0); Declividades entre 0-3% (1,0) a 20-45% (4,0).	Área de abrangência da classe 228,56 km ² . Formada por Lençóis Maranhenses (5,0), Planalto Dissecado do Itapecuru (3,0); Plintossolo Argilúvico (5,0), Neossolo Quartzarênico (5,0), Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário (3,0); Depósitos Aluvionares (5,0), Depósitos Eólicos Continentais Antigos (5,0), Grupo Barreiras (4,0), Grupo Itapecuru (4,0), Formação Codó (5,0); Agricultura (5,0), Pastagem (5,0), Área urbana (5,0), Formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) (5,0), Silvicultura (5,0), Vegetação secundária (5,0); Declividades: 0-3% a 8-20%.

Elaboração: Soares, 2021.

A área medianamente estável/vulnerável compreende 24,26%, tal equilíbrio ecodinâmico é estabelecido, principalmente, pela presença do Planalto Dissecado do Itapecuru, Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário, declividades de 8-20%. Observa-se que a agricultura, pastagem, área urbana, silvicultura e vegetação secundária estão presentes nessa classificação, no entanto, isso está associado a uma atenuação da instabilidade desses usos decorrente da presença do Latossolo Amarelo, Tabuleiros de Chapadinha, declividades entre 0-3% e 3-8%. Salienta-se que o PI uso e cobertura da terra tem o maior peso, isto é, 41,4% ao passo que o PI solos corresponde a 25,4% e a declividade 17,4%.

As litologias do Grupo Barreiras e Itapecuru também sofreram atenuação de sua moderada vulnerabilidade devido a ocorrência dos Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários e Latossolos Amarelo, as declividades entre 0-3% e 8-20%, savana arborizada e floresta estacional semidecidual submontana.

A agricultura, pastagem, área urbana, silvicultura, vegetação secundária, Grupo Barreiras e Itapecuru contribuíram para que 8,09% da área da UPRH do riacho do Gavião torna-se moderadamente vulnerável. A unidade Tabuleiros de Chapadinha, Planalto Dissecado do Itapecuru e solo Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário, declividades entre 0-3% e 8-20% não geraram atenuação da instabilidade dessas áreas. Ressalta-se que o tema declividade (0-3% a 3-8%) e a geomorfologia, em específico os Tabuleiros de Chapadinha, poderiam proporcionar neste caso a estabilização da bacia, porém juntos sua importância relativa corresponde a 27,5% ao passo que o tema uso e cobertura da terra e geologia correspondem a 47,2%.

As áreas vulneráveis abrangem 0,26% da UPRH em estudo, sendo a agricultura, pastagem, área urbana, silvicultura, vegetação secundária, os litotipos do Grupo Itapecuru e Depósitos Eólicos Continentais Antigos os componentes causadores. É preponderante nessas áreas instáveis o relevo suave-ondulado (3-8%), o Planalto Dissecado do Itapecuru e os Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionário, porém o uso foi decisivo para vulnerabilidade ambiental, com destaque para a vegetação secundária.

Na UPRH do rio Mocambo cerca de 31,42% de sua área encontra-se estável decorrente do relevo tabular, as baixas declividades 0-3% e 3-8%, os Latossolos Amarelos mais resistentes a erosão se comparado aos demais solos, a floresta estacional semidecidual submontana, predominante na bacia, servindo de proteção do solos contra a erosão pluvial, a vegetação ripária que atenua o assoreamento e erosão das margens dos canais. A geologia neste contexto não teve destaque para propiciar a instabilidade.

No tocante a moderada estabilidade constatou-se que ela abrange 16,92% sendo a savana arborizada e vegetação ripária as principais responsáveis por essa condição. As formas de relevo plano e suave-ondulado associados aos Tabuleiros de Chapadinha e o Latossolo Amarelo também contribuíram para esse contexto. Já em relação ao aspecto geológico a mesma situação que foi mencionada para a classe estável se aplica aqui.

O meio *intergrade* compreende 29,34% da unidade do rio Mocambo, entretanto, esse equilíbrio ecodinâmico é proporcionado pelo abrandamento da instabilidade de componentes da paisagem. Neste viés, o destaque está atrelado a ocorrência dos Plintossolos Argilúvicos da bacia que ficaram medianamente estável/vulnerável devido a presença da floresta estacional semidecidual submontana, Tabuleiros de Chapadinha, relevo plano e suave-ondulado.

A soja e eucalipto sofreram uma atenuação decorrente da existência dos Tabuleiros de Chapadinha, Latossolo Amarelo, declividades entre 0-3% e 3-8%, já ao norte da bacia localiza-se áreas instáveis, entretanto, a vegetação ripária consubstanciada com as baixas declividades apresentou equilíbrio morfodinâmico assim como os corpos d'água.

A moderada vulnerabilidade abrange 12,77% e associa-se a presença das formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga), silvicultura, Lençóis Maranhenses, Neossolo Quartzarênico, Depósitos Eólicos Continentais Antigos. Salienta-se que a existência dos Latossolos Amarelos, Tabuleiros de Chapadinha e declividades entre 0-3% e 3-8% influenciaram na moderada vulnerabilidade de fragmentos de cultivos de soja e eucalipto.

Algumas áreas de ocorrência de savana arborizada ficaram moderadamente vulneráveis pelo fato de estarem sobre Plintossolos Argilúvicos e Depósitos Eólicos Continentais Antigos. Ao norte da bacia os relevos planos, suave-ondulado e ondulado não diminuíram a vulnerabilidade, pois os Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos Argilúvicos, Lençóis Maranhenses, Depósitos Eólicos Continentais Antigos e a presença das formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) contribuíram decisivamente para a vulnerabilidade natural da área.

A classe vulnerável é a de menor concentração, 9,56%, na UPRH do rio Mocambo. A associação dos Lençóis Maranhenses, Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos Argilúvicos, Depósitos Eólicos Continentais Antigos, agricultura, pastagem, área urbana, formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga), silvicultura, vegetação

secundária favoreceram a forte instabilidade da bacia. Neste sentido, vale destacar que o uso urbano, a vegetação secundária e o cultivo de eucalipto foram preponderantes para vulnerabilidade ambiental, isto é, a atuação antrópica intensificou a instabilidade haja vista que essas classes estão sobre litotipos dos Depósitos Eólicos Continentais Antigos e em Plintossolos Argilúvicos. Ao norte da bacia, contudo, a vulnerabilidade é natural devido a área ser composta por sedimentos inconsolidados.

Diferentemente das demais UPRH, a unidade do rio Riachão apresenta apenas 15,94% de sua área em situação de estabilidade. Isto se deve aos componentes naturais da paisagem identificados na bacia (Quadro 8), a saber: o relevo tabular com baixos declives, solo profundo com grande porosidade e permeabilidade, cobertura vegetal nativa favorecendo a estabilidade e a consequente proteção do solo ao processo erosivo laminar.

A moderada estabilidade abrange 27,51% sendo a floresta estacional semidecidual submontana e os declives de 3-8% primordiais para o domínio da pedogênese. A vegetação ripária, por sua vez, associa-se a estabilidade, entretanto, na UPRH em estudo ficou moderadamente estável pela ocorrência de declives de 8-20% e 20-45% próximos aos canais, consubstanciado aos Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários e ao Planalto Dissecado do Itapecuru.

Os relevos ondulados e forte-ondulados existentes nessa unidade apresentaram moderada estabilidade pelos seguintes fatores: Latossolo Amarelo, floresta estacional semidecidual submontana e Planalto Dissecado do Itapecuru. Deste modo, os elementos naturais da paisagem de forma integrada possibilitaram a estabilidade dos maiores declives, principalmente no intervalo de 20-45%.

As interações entre os elementos naturais, a saber: os Tabuleiros de Chapadinha, Planalto Dissecado do Itapecuru, Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário, corpo d'água, floresta estacional semidecidual submontana, vegetação ripária, declividades entre 0-3% a 20-45%, condicionaram o predomínio da pedogênese. Destaca-se que tanto nesta classe quanto na estável o aspecto geológico não influenciou de modo efetivo na estabilidade e/ou instabilidade da bacia.

Cerca de 28,65% da unidade ficou em equilíbrio entre pedogênese e morfogênese proporcionada pela predominância de relevo ondulado, o solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário, a unidade Planalto Dissecado do Itapecuru e a floresta estacional semidecidual submontana.

Na região norte da UPRH do rio Riachão áreas de vegetação secundária, cultivo de soja e eucalipto ficaram medianamente estável/vulnerável decorrente da existência concomitante de Latossolo Amarelo, Tabuleiros de Chapadinha, relevos suave-ondulados. Ainda nessa região a vegetação ripária associada a relevos planos e suave-ondulados ficou em uma situação de equilíbrio em meio a uma área de instabilidade natural.

Na região sul dos Neossolos Quartzarênicos identificou-se o meio *intergrade* pela ocorrência simultânea dos Tabuleiros de Chapadinha, declives entre 0-3% a 3-8% e fragmentos de floresta estacional semidecidual submontana.

As unidades geológicas Grupo Itapecuru ocupando 828.75 km² e os Depósitos Eólicos Continentais Antigos abrangendo 518.65 km² da UPRH do rio Riachão não influenciaram na geração de vulnerabilidade, pois o relevo ondulado, o solo Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário, a unidade Planalto Dissecado do Itapecuru e a floresta estacional semidecidual submontana foram determinantes para o equilíbrio dessa unidade. Neste contexto, salienta-se que isso se deve ao fato da temática geologia ter um peso de 5,8%.

A moderada vulnerabilidade ocupa 12,20% da UPRH do rio Riachão sendo o uso e cobertura da terra o tema mais significativo para o predomínio da pedogênese. Neste sentido, as classes que favoreceram para intensificação da vulnerabilidade ao processo erosivo laminar foram a agricultura, silvicultura, pastagem, área urbana, formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga). Tais classes não ficaram na categoria vulnerável pelo fato de ter ocorrido uma ínfima atenuação pela interação entre Latossolo Amarelo, Planalto Dissecado do Itapecuru, relevos planos e suave-ondulados.

A situação de moderada vulnerabilidade que foi observado nos Plintossolos Pétricos associa-se a sua interação com as rochas do Grupo Itapecuru, declives de 3-8% e 8-20%, Planalto Dissecado do Itapecuru e floresta estacional semidecidual submontana.

No exutório da bacia os condicionantes foram as relações entre as declividades entre 8-20% e 20-45% e as rochas do Grupo Itapecuru, Formação Codó, Depósitos Aluvionares, Plintossolos Argilúvicos, Planalto Dissecado do Itapecuru e a floresta estacional semidecidual submontana, isto é, uma moderada vulnerabilidade natural.

Ao norte da bacia, especificamente na área de ocorrência das formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) identificou-se áreas moderadamente vulneráveis. Essa dinâmica foi influenciada, predominantemente, pelo Latossolo Amarelo e sua interação com o Planalto Dissecado do Itapecuru e o relevo plano e suave-ondulado.

Dentre as UPRH, a do rio Riachão tem a maior área em situação de vulnerabilidade ambiental com cerca de 15,70% de ocupação. Sendo que ao norte da unidade a vulnerabilidade caracteriza-se como natural envolvendo as formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga), Lençóis Maranhenses, Neossolos Quartzarênicos, Depósitos Eólicos Continentais Antigos. Essas classes são naturalmente vulneráveis na perspectiva ecodinâmica.

No exutório da bacia as áreas de instabilidade decorrem da presença da vegetação secundária, Plintossolo Argilúvico, Depósitos Aluvionares, Formação Codó, Grupo Itapecuru. Destaca-se que nessa área da bacia o relevo é plano com a presença do Planalto Dissecado do Itapecuru, no entanto, o aspecto geomorfológico não proporcionou uma redução da vulnerabilidade.

Na área urbana do município de São Benedito do Rio Preto predomina o relevo ondulado e forte-ondulado, contudo, sua interação com os litotipos do Grupo Itapecuru e Depósitos Aluvionares gerou uma variação entre moderadamente vulnerável e vulnerável. Essa mesma dinâmica é observada na vegetação secundária, pastagem, agricultura e silvicultura, porém neste caso os fatores que influenciam são o Planalto Dissecado do Itapecuru, Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário, Grupo Itapecuru e Depósitos Eólicos Continentais Antigos.

O Quadro 9 mostra os fatores de potencialidades assim como os fatores limitantes ao planejamento e gestão da BHRP. Constata-se que a UPRH do riacho do Gavião apresenta a maior área de estabilidade na bacia do rio Preto com cerca de 67,40%, medianamente estável/vulnerável compreende 24,26% e em situação de vulnerabilidade 8,35%, embora nessa unidade predomine a estabilidade não implica em afirmar que pode-se continuar desmatando extensas áreas de vegetação nativa para plantio de soja ou eucalipto.

Quadro 9 – UPRH da bacia do rio Preto: fatores potenciais e limitantes

UPRH	Fatores de potencialidades ao Planejamento e Gestão da BHRP	Fatores limitantes ao Planejamento e Gestão da BHRP
Riacho do Gavião	Áreas de recargas das águas subterrâneas; nascente do rio Preto; solo favorável à agricultura; presença de babaçu; cobertura vegetal nativa; Área de Proteção Ambiental; predomínio de áreas estáveis; relevo tabular com baixos declives (0-3% a 3-8%).	Concentração da agricultura mecanizada; perda de biomassa por desmatamento para soja e eucalipto; pecuária com baixo nível de manejo; desmatamento de APP de drenagem; processo erosivo laminar.
Rio Mocambo	Áreas de recargas das águas subterrâneas; solo favorável à agricultura; cobertura vegetal nativa; Área de Proteção Ambiental; predomínio de áreas estáveis; relevo tabular com baixos declives (0-3% a 3-8%).	Concentração da agricultura mecanizada; perda de biomassa por desmatamento para eucalipto e soja; área de sedimentos inconsolidados e solo arenoso.

Rio Riachão	Áreas de recargas das águas subterrâneas; solos favoráveis à agricultura; Área de Proteção Ambiental; cobertura vegetal nativa; predomínio de áreas estáveis.	Agricultura mecanizada; perda de biomassa por desmatamento para eucalipto e soja; concentração de relevo dissecado com predomínio do tipo ondulado e forte-ondulado; área de sedimentos inconsolidados e solo arenoso; desmatamento de APP de drenagem; pecuária com baixo nível de manejo; processo erosivo laminar; área com maior ocupação de áreas vulneráveis.
--------------------	---	---

Elaboração: Soares, 2021.

Além das áreas de cultivo de soja na bacia estarem concentradas a montante e próximas a nascente do rio Preto identifica-se problemas de ordem social relacionados a conflitos pela posse da terra. Estes conflitos ocorrem entre pessoas com maior poder aquisitivo, dentre elas as empresas ligadas ao agronegócio, seja ela de produção de grãos, carvão ou madeira, fazendeiros, e pessoas de baixo poder aquisitivo, ou seja, as comunidades tradicionais (camponeses, assentados, quebradeiras de coco babaçu, etc.) (SOARES, 2018).

Conforme Soares (2018), ocorreu um total de 266 conflitos na área-objeto somando-se a quantidade de ocorrência de conflitos em todos os municípios abrangidos pela BHRP entre os anos 2000 a 2016. Com destaque para os municípios de Urbano Santos com um total de 56 conflitos, Santa Quitéria do Maranhão com 47 casos, Belágua (36) e Chapadinha (34).

Tais conflitos, infelizmente, têm gerado um quadro desolador de mortes no campo. Esses assassinatos são motivados por conflitos por posses de terra e também ocorre na região a chamada grilagem de terras (PAULA ANDRADE, 1995). A grilagem é o sistema ou organização ou procedimento dos grileiros, estes últimos que procuram apossar-se de terras alheias mediante falsas escrituras de propriedades (MOTTA, 2005).

Por mais que ocorra na bacia como um todo ou por UPRH maior abrangência de áreas estáveis outras problemáticas ocorrem na BHRP como é o caso dos conflitos por posses de terra como mencionado, desmatamento de APP, uso intensivo de defensivos agrícolas e ainda as queimadas. Segundo Soares (2018) ocorreu para todo o ano de 2017 na área-objeto um total de 3.615 focos, neste sentido ocorreu em média 9,9 focos de queimadas por dia na área de estudo o que é bastante preocupante.

Nos municípios de Urbano Santos, Brejo, Belágua, Buriti, Mata Roma, Chapadinha e Anapurus, ocorreu uma concentração dos focos de queimadas o que está, intimamente, relacionado com a queima dessas áreas para a limpeza do terreno para o plantio

agrícola e pastoril e a suscetibilidade dessas áreas a queima natural, principalmente, no período de estiagem, também constata a incidência de queimadas nas áreas de cobertura vegetal, porém com predominância de densidades médias e baixas (SOARES, 2018).

Na UPRH do rio Mocambo predominou também a estabilidade com cerca de 48,34%, o meio *intergrade* compreende 29,34% e as áreas instáveis 22,33%. Nesta unidade a vulnerabilidade associa-se tanto a interação dos componentes naturais da paisagem ao norte da bacia quanto a atuação antrópica relacionada ao uso urbano, a vegetação secundária e o cultivo de eucalipto.

Os meios estáveis na UPRH do rio Riachão ocupam 43,45%, os *intergrades* cerca de 28,65% e os instáveis 27,9%. Nessa unidade, conforme foi apresentado, a agricultura, silvicultura, pastagem, área urbana, formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) foram determinantes para vulnerabilidade ambiental, também observa-se a vulnerabilidade natural ao norte da bacia.

A média densidade de drenagem da bacia associado ao coeficiente de compacidade, fator de forma e índice de circularidade evidenciam o baixo risco de inundações e enchentes instantâneas, evitando assim concentrações de escoamento superficial. Logo essas características morfométricas não potencializam a vulnerabilidade ambiental da BHRP.

O uso adequado dos recursos naturais requer o conhecimento de seu potencial e de suas limitações, a fim de aliar produção agrícola com menor impacto, ou seja, compatibilizar o uso com a conservação ambiental. Neste sentido, técnicas de cultivo e conservação dos solos são recomendáveis, principalmente para as áreas vulneráveis à erosão, devido ao impacto e desequilíbrio ambiental identificado nelas.

Dentre as técnicas de cultivo e conservação dos solos que podem ser utilizadas na bacia está a adubação verde, principalmente, no monocultivo de soja, e após a sua colheita pode-se plantar milheto, sorgo e feijão; sistemas de plantio direto também são aconselháveis, pois minimizam os impactos da erosão evitando a exposição do solo e a rotação de cultura, pois no sistema de monocultura somente uma espécie é cultivada até o total esgotamento do solo. Essa técnica tem como benefício o controle de pragas (através da variabilidade das espécies), a reposição de nutrientes no solo e evita a erosão.

Além das recomendações supramencionadas é importante incentivar para as áreas estáveis o cultivo agrícola que não ocupe extensas áreas, como é o caso das culturas do arroz, feijão e mandioca, que estão relacionadas a cultivos de subsistência na bacia, evitando assim a

intensificação do desmatamento. Já as formações florestais que estão podem ser mantidas e ampliadas para outras áreas. No que se refere às áreas medianamente estável/vulnerável, seu uso deve ser limitado às atividades que não desprotejam o solo e muito menos o impermeabilize, respeitando o gradiente de declividade (SANTOS; SOARES, 2020).

Para o uso das áreas mais instáveis deve ser levada em consideração a manutenção das áreas de preservação e, nas áreas de cultura agrícolas, com destaque para as lavouras de eucalipto e soja, aplicado o plantio direto. Além disso, deve-se manter uma orientação técnica aos camponeses para que suas atividades de subsistência estejam em consonância com o desenvolvimento sustentável. Na área urbana devem ser tomadas medidas para melhorar a drenagem pluvial.

Para as áreas com alta declividade como é o caso da UPRH do rio Riachão pode-se adotar o plantio em nível (plantio em contorno). Essa técnica recomenda-se para terrenos íngremes, sempre respeitando os declives da região. Acompanhando as curvas de nível, cada linha do plantio funciona como um empecilho que diminui a velocidade da enxurrada no caso dela se formar sobre a superfície do terreno. Com a redução na agilidade do escoamento, há mais tempo para a água se infiltrar no solo (ACADEMIA DO PLANTIO, 2019).

As curvas de nível permanecem perpendiculares à inclinação da encosta e ajudam na conservação da cobertura natural do solo. Elas consistem em linhas que unem pontos em uma mesma altitude na superfície de um terreno (ACADEMIA DO PLANTIO, 2019).

Outra técnica de cultivo e conservação dos solos que pode ser adotada para as áreas com maior declividade é o terraceamento. Utiliza-se esta técnica para conter erosões ocasionada pelo escoamento da água em regiões de vertentes. Ela é usada ao parcelar um terreno inclinado em várias rampas. Assim, as águas das chuvas, escoando superficialmente, descem com menos intensidade, retirando menos sedimentos no solo e causando menos agressões sobre ele.

Machado e Wadt (2021, não paginado) explicam que:

O terraceamento da lavoura é uma prática de combate à erosão fundamentada na construção de terraços com o propósito de disciplinar o volume de escoamento das águas das chuvas. Essa prática deve ser utilizada concomitantemente com outras práticas edáficas (são formas de manejo ou tratos ou manipulação do solo), como por exemplo, a cobertura do solo com palhada, calagem e adubação fertilizante balanceadas, e com práticas de caráter vegetativo, por exemplo, rotação de culturas com plantas de cobertura e cultivo em nível ou em contorno. A combinação dessas práticas de controle da erosão compõe o planejamento conservacionista da lavoura.

De modo geral, o terraceamento pode ser aplicado em qualquer tipo de solo, mesmo naqueles medianamente vulneráveis à erosão, como os que têm muita argila que recebem culturas anuais (ACADEMIA DO PLANTIO, 2019). Vale ressaltar que esta técnica pode ser associada com o plantio em nível.

Os terraços são classificados quanto à sua função em: terraços em nível, terraço em gradiente e terraço misto, a seguir é descrito cada um deles.

- Terraço em nível, de retenção ou de infiltração. São terraços construídos sobre as niveladas demarcadas em nível e com as bordas bloqueadas, cuja função é interceptar a enxurrada e permitir que a água seja retida e infiltre. São terraços recomendados para solos de boa permeabilidade, como os Latossolos, Nitossolos, além dos arenosos, como os Neossolos Quartzarênicos (MACHADO; WADT, 2021).

- Terraço em gradiente, desnível, de escoamento ou de drenagem. São construídos com pequeno gradiente ou desnível transversalmente ao maior declive da rampa. Acumula o excedente de água e permite seu escoamento lentamente para fora da área protegida, por uma ou duas extremidades abertas, até canais escoadouros vegetados. São recomendados para solos com permeabilidade moderada ou lenta que dificultam a infiltração de água da chuva na intensidade necessária. São recomendados para solos das classes dos Cambissolos, Argissolos e Neossolos Litólicos (MACHADO; WADT, 2021).

- Terraço misto. Construído com um canal de pequeno declive e com um volume de acumulação do escoamento superficial. Uma vez que esse volume de acumulação seja preenchido, começa a funcionar como terraço em gradiente (MACHADO; WADT, 2021).

Diante do exposto, as técnicas de cultivo e conservação dos solos podem mitigar os impactos ambientais oriundos das atividades agrícolas sem manejo adequado do solo. Aliado a subdivisão da bacia do rio Preto em UPRH e a espacialização e mensuração dos graus de vulnerabilidade ambiental favorece, conseqüentemente, a gestão ambiental da bacia em estudo.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho permitiu compreender que na área de estudo tem-se uma dinâmica expressiva no tocante as áreas de uso da terra baseadas nas monoculturas de soja e eucalipto. Essa dinâmica é dada pela ação do agronegócio bastante intensivo nos municípios que compõem a microrregião de Chapadinha. As implicações oriundas dessas atividades agrícolas construíram um quadro de impactos a bacia decorrentes das queimadas; processos erosivos; desmatamento; compactação dos solos por máquinas pesadas; desertificação dos solos; ocupação irregular de APP; uso de agrotóxicos impactando negativamente na biodiversidade e na dinâmica natural da bacia. Todas estas implicações ambientais agravam a vulnerabilidade ambiental da BHRP.

A forma de desenvolvimento econômico no campo baseada na mecanização e nos altos investimentos em capital e tecnologia empregados pelo agronegócio tem no poder público um apoio primordial que somado a convênios celebrados pelo Estado (Programa do Corredor de Exportação Norte e PROCEDER III) e uma infraestrutura intermodal de transporte se mostram como decisivas para que essas empresas se estabeleçam nessas áreas. Tal contexto configura-se em um fator condicionante na dinâmica, assim como, na mudança do uso e cobertura terra na bacia do rio Preto.

A entrada do agronegócio no Leste Maranhense a partir da década de 1980 até a atualidade gerou consequências não apenas ambientais como também sociais, pois causou conflitos e interferência relevante no modo de vida das famílias camponesas que residem nos municípios banhados pela bacia e que tem no bioma Cerrado e no próprio rio Preto uma fonte de recursos indispensáveis para sua subsistência.

Com base no emprego da metodologia de Crepani *et al.* (2001) em ambiente SIG, constatou-se que 52,63% dos solos da bacia do rio Preto estão em uma situação de estabilidade, ou seja, predomínio de pedogênese, ao passo que 31,94% mantêm-se medianamente estável/vulnerável e somente 15,43% encontra-se vulnerável.

A bacia é formada, preponderantemente, por materiais inconsolidados, portanto, de formação recente, instáveis e de fácil desagregação. Esta condição decorre da presença dos Depósitos Eólicos Continentais Antigos e Depósitos Aluvionares. Identificou-se que 57,80% da bacia está moderadamente vulnerável, já 42,20% de sua área encontra-se vulnerável. Desta forma, a bacia sobre o prisma da estrutura geológica encontra-se, naturalmente, instável, predominando assim o processo morfodinâmico.

Em relação a geomorfologia, a estabilidade predomina com cerca de 68,04% de ocupação na bacia estando associada a presença da unidade geomorfológica Tabuleiros de Chapadinha. Esta estabilidade é proporcionada pelas baixas declividades (0-3% e 3-8%), a presença do Latossolo Amarelo, a floresta estacional semidecidual submontana, savana arborizada e vegetação ripária.

A classe medianamente estável/vulnerável ocupa 24,54% da bacia, este equilíbrio decorre da presença do Planalto Dissecado do Itapecuru, embora seja formado por declividades entre 8-20% e 20-45%. A ocorrência dos solos Latossolo Amarelo e Argissolos Vermelho-Amarelo concrecionários juntamente com a floresta estacional semidecidual submontana e vegetação ripária contribuem para esta classificação morfodinâmica.

Os Lençóis Maranhenses ocupando 7,42% da BHRP são responsáveis por sua vulnerabilidade. A existência dos Neossolos Quartzarênicos, formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga), Depósitos Eólicos Continentais Antigos potencializaram a vulnerabilidade natural ao processo erosivo, tanto pluvial quanto por deflação, na região norte da bacia.

Os relevos planos (0-3%) ocupam 46,26% da área total da bacia e são responsáveis pela estabilidade dela, já a classe moderadamente estável associa-se a uma morfologia suave-ondulada (3-8%) representando 43,49%. Isso implica na estabilidade da bacia, pois tais formas de relevo ocupam um total de 89,75%.

Em relação a classe medianamente estável/vulnerável ela ocupa 9,88% sendo formada por relevos ondulados (8-20%), enquanto que as áreas mais declivosas (20-45%) abrangendo 0,37% encontram-se moderadamente vulneráveis aos processos erosivos. Deste modo, a bacia no contexto clinográfico está associada, preponderantemente, a uma condição de estabilidade.

A BHRP no contexto do uso e cobertura da terra tem 64,61% de sua área numa situação de estabilidade morfodinâmica, a existência da floresta estacional semidecidual submontana contribuiu decisivamente para essa condição, ao passo que a classe medianamente estável/vulnerável abrange 9,76% tendo esse equilíbrio morfodinâmico decorrente da presença da savana arborizada, já a classe vulnerável corresponde a 25,63%, tendo como principal responsável as atividades antrópicas relacionadas a agricultura, silvicultura e sua consequente vegetação secundária e as pastagens, além da ocorrência das formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga).

Com base na análise da vulnerabilidade ambiental conclui-se que a UPRH do riacho do Gavião apresenta a maior área de estabilidade na bacia ocupando 67,40%, enquanto a classe medianamente estável/vulnerável ocupa 24,26% e em situação de vulnerabilidade abrange 8,35%. A estabilidade decorre de um relevo tabular, baixas declividades, cobertura vegetal nativa, Latossolo Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário. Já as áreas vulneráveis associam-se a agricultura, pastagem, área urbana, silvicultura, vegetação secundária, os litotipos do Grupo Itapecuru, Depósitos Eólicos Continentais Antigos e Grupo Barreiras.

Na UPRH do rio Mocambo predominou também a estabilidade com 48,34%, o meio *intergrade* compreende 29,34% e as áreas instáveis 22,33%. Nesta unidade a vulnerabilidade associa-se tanto a interação dos componentes naturais da paisagem ao norte da bacia, quanto a atuação antrópica relacionada ao uso urbano, vegetação secundária e o cultivo de eucalipto.

Os meios estáveis na UPRH do rio Riachão ocupam 43,45%, os *intergrades* cerca de 28,65% e os instáveis 27,9%. Nessa unidade a agricultura, silvicultura, pastagem, área urbana, formações pioneiras, vegetação com influência marinha (Restinga) foram determinantes para vulnerabilidade ambiental, também constata-se a vulnerabilidade natural ao norte da bacia.

As técnicas de cultivo e conservação dos solos são recomendáveis, principalmente para as áreas vulneráveis à erosão, devido ao impacto e desequilíbrio ambiental identificado nelas. Dentre estas técnicas podem ser utilizadas na bacia, a adubação verde, principalmente, no monocultivo de soja; sistemas de plantio direto, pois minimizam os impactos da erosão evitando a exposição do solo; e a rotação de cultura. Para as áreas com alta declividade pode-se adotar o plantio em nível e o terraceamento.

As revisões bibliográficas realizadas para composição do trabalho foram indispensáveis para o conhecimento sobre a vulnerabilidade e os problemas ambientais identificados na área de pesquisa. Essas revisões associadas ao trabalho de campo e o emprego de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento utilizando-se o SIG, potencializaram o desenvolvimento do trabalho e são tidas como fundamentais para o alcance dos objetivos propostos, haja vista, que a área-objeto é ampla, dificultando e tornando bastante complicado um trabalho a campo analisando minuciosamente todos os municípios abrangidos pela bacia.

O método AHP e o de Crepani *et al.* (2001) aplicados em ambiente SIG com recursos das técnicas de geoprocessamento foram fundamentais para a produção do mapa de vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo que, por sua vez, subsidiou a análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Preto-MA. O estudo ancorado numa abordagem de paisagem integrada e sistêmica baseado no método estruturalista, em Tricart (1977) e Crepani *et al.* (2001) também foram úteis nesse estudo, pois evidenciam a importância de se estudar de forma integrada os componentes da paisagem sob a perspectiva geográfica.

O uso do método das oito bacias também mostrou-se como relevante ao subdividir a bacia em três unidades de planejamento, o que favoreceu a análise sistematizada da vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo da BHRP e ainda a intervenção planejada visando a mitigação das áreas em situação vulnerável, sendo imprescindível para a conservação desse importante recurso hídrico.

Através do mapeamento das áreas de vulnerabilidade e o enfoque aos problemas ambientais da bacia do rio Preto as medidas de prevenção e mitigação se tornam mais fáceis de serem vislumbradas devido à espacialização destes riscos, conseqüentemente, o planejamento da bacia se torna mais eficaz, e a resposta disto é a melhoria da qualidade de vida da população que se encontra nestas áreas e da própria gestão e conservação do meio ambiente e dos recursos naturais.

Esse diagnóstico apontando as implicações ambientais da bacia serve como subsídio para o poder público, em específico o comitê de bacia hidrográfica do rio Munim, tomar uma ação no sentido de conservar esse recurso natural tão essencial a vida. As populações dos municípios abrangidos pela bacia, por sua vez, não estão eximidas da conservação e devem em conjunto com os governantes de cada município se aliarem em defesa da conservação e proteção da bacia hidrográfica do rio Preto-MA.

O estudo da vulnerabilidade ambiental é de suma importância para o planejamento e gestão da bacia do rio Preto, no entanto, sugere-se o estudo sobre a vulnerabilidade socioambiental da bacia, pois os indicadores sociais que são utilizados para produzir um mapa de vulnerabilidade social são importantes, pois a resiliência de uma população é substancial no enfrentamento de implicações ambientais. Desta forma, a partir da integração entre o mapa de vulnerabilidade ambiental e social pode-se realizar um estudo mais acurado das relações antrópicas e o ambiente na perspectiva da vulnerabilidade.

REFERÊNCIAS

- AB 'SABER, A. N. **Os Domínios da Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ACADEMIA DO PLANTIO. **Plantio em nível**: conheça os benefícios e saiba quando é indicado. 18 de set. de 2019. Disponível em: <https://academiadoplantio.fertisystem.com.br/estender-500-palavras-plantio-em-nivel-conheca-os-beneficios-e-saiba-quando-e-indicado/> Acesso em: 4 fev. 2021.
- ADAMY, A. **Zoneamento geoambiental de Pimenta Bueno**. 2005. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Núcleo de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2005.
- ADGER, W. N. **Vulnerability**. *Global Environmental Change*, v. 16, p. 268-281, fev. 2006.
- ALBINET, M.; MARGAT, J. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. **Bulletin BRGM**, Orléans, FR, v. 3, n. 4, p. 13-22. 1970.
- ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J.; PETTY, R. **Drastic**: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1987. (Report EPA/600/2-87-035).
- ALMEIDA, E.; ZARONI, M.; SANTOS, H. **ÁRVORE DO CONHECIMENTO**. Solos Tropicais. **Plintossolos Pétricos**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn362ja202wx5ok0liq1mqrdmmd4k.html . Acesso em: 1 dez. 2019.
- AMORIM, R. R. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.13, n.41, p. 80–101, mar. 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Catálogo de Metadados da ANA. **Bacias Hidrográficas Ottocodificadas (Níveis Otto 1-7)**. Brasília, DF: ANA, 2012. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f> Acesso em: 1 fev. 2021.
- ANSCHAU, S. A.; NERES, J. C. I.; CARVALHO, A. V.; GUIMARÃES, A. P. M.; NERES, L. L. G. F.; CERQUEIRA, F. B. Vegetação ripária e métodos de estudo. **Natural Resources**, v.7, n.1, p.19-32, set. 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/SPC2237-9290.2017.001.0003>. Acesso em: 4 set. 2020.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA J. R. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.
- ARAÚJO, D. B. de. **BACIA DO PARNAÍBA: Sumário Geológico e Setores em Oferta**. Superintendência de Definição de Blocos. 14º Rodada de licitações de Petróleo e Gás. 2017. Disponível em: http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round14/Mapas/sumarios/Sumario_Geologico_R14_Parana.pdf. Acesso em: 23 set. 2019.

AUGE, M. Vulnerabilidad de acuíferos. **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, n. 4, p. 85-103, 2004.

BARBOSA, F. M.; LACERDA, A. V.; NORDI, N.; WATANABE, T. Levantamento florístico do componente arbustivo arbóreo da vegetação ciliar na bacia do rio Taperoá. **Acta Botânica Brasileira**, Pampulha, v.19, n.3, 2005.

BARBOSA, L. G. **Análise de sistemas em Biogeografia**: estudo diagnóstico da cobertura vegetal da Floresta Nacional de Palmares, Altos, Piauí /Brasil. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

BARBOSA, L.G.; GONÇALVES, D. L. A paisagem em geografia: diferentes escolas e abordagens. **Élisée, Revista de Geografia da UEG**, Anápolis, v.3, n.2, p.92-110, jul./dez. 2014. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/3122>. Acesso em: 6 abr. 2020.

BARROS, A. de; BACANI, V. M.; BORGES, T. A. ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GUANANDY, AQUIDAUANA – MS. **Revista da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Seção Três Lagoas/MS, v.1, n.26, p.18-33, nov. 2017.

BATISTA, R. O. S. Disciplina Teoria e Método da Geografia. **Estruturalismo, Pós-Modernismo e Teorizações sobre Lugar e Território**. Centro de Educação Superior à Distância/UAB/UFS, São Cristóvão-SE, 2015. (Material didático), p.66-70. Disponível em: https://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/08291223032015Teoria_e_Metodo_da_Geografia_Aula_8.pdf. Acesso em: 29 set. 2020.

BELTRAME, A. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas**: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço metodológico. **RA´e GA – O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 8, p. 141-152, 2004.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. São Paulo, n.13, 27p. 1971.

BERTRAND, G. **Une géographie traversière. L´environnement à travers territoires et temporalites**. Paris: Éditions Arguments, 2002, 311p.

BEZERRA, J. P. P. **Planejamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santo Antonio – Mirante do Paranapanema (SP)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

BOTELHO, A. C.; ALMEIDA, J. G.; FERREIRA, M. G. R. O avanço dos “eucaliptais”: análise dos impactos socioambientais em territórios camponeses no Leste Maranhense, **Revista Percursos**, Maringá, v.4, n.2, p. 79-94, dez. 2012. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Percursos/article/view/17776/10213>. Acesso em: 22 jan. 2018.

BOTELHO, A. C.; DINIZ, J. S. A produção da soja em territórios tradicionais da agricultura familiar na Microrregião de Chapadinha maranhão. *In: ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA*. 21., 2012, Uberlândia, **Anais eletrônico [...]**. Minas Gerais: LAGEA, 2012, p.1-12. Disponível em: http://www.lagea.ig.ufu.br/xx1enga/anais_enga_2012/eixos/999_2.pdf. Acesso em: 22 jan. 2018.

BRITTO; M. C. de; FERREIRA, C. de C. M. Paisagem e as diferentes abordagens geográficas. Rio de Janeiro. **Revista de Geografia - PPGeo/UFRJ**, v.2, n.1, p.1-10, abr. 2011.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

CAMPBELL, D.F. **Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão Basin**. Belém: Petrobras, 1949. (Rept. 7).

CAPUTO, M. V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V. M. M. da. **Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Parnaíba**. ano 7, n. 81, set. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317551866_Bacia_do_Parnaiba. Acesso em: 23 set. 2020.

CARVALHO, M. S.; PINA, M. F. de; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília: OPAS, 2000. Disponível em: http://www.bvsde.paho.org/cursode/fulltext/Livro_cartog_SIG_saude.pdf. Acesso em: 1 jan. 2018.

CASTRO, C. M. de; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. do. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2. sem. 2005. Disponível em: http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf. Acesso em: 14 set. 2020.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. **Applied hydrology**. New York. McGrawHill, 1988. 570 p.

CIVITA, M.; DE MAIO, M. **SINTACS: un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento**. Metodologia e automazione. Bologna: Pitagora, 1997.

CLAVAL, P. **A geografia cultural**. Florianópolis: UFSC, 1999.

COELHO, A. L. N. Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 13., 2007, Florianópolis, **Anais eletrônico [...]**. São Paulo: INPE, 2007. p. 2437-2445.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Luís SW/NW, Folhas SA.23-V e SA.23-Y. Estados do Pará e Maranhão. Escala 1:500.000**. (org.). ALMEIDA, H. G. de. - Brasília: CPRM, 2000.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM. **Downloads**. Mapas geológicos estaduais. Maranhão. Brasília, DF: CPRM, 2012. Disponível em: [http:// geosgb.cprm.gov.br/downloads/#](http://geosgb.cprm.gov.br/downloads/#). Acesso em: 25 jun. 2019.

CORREIA FILHO, F. L. GOMES, É. R.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de São Benedito do Rio Preto. Teresina: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2011.

CORRÊA, R. L. Carl Sauer e Denis Cosgrove: a Paisagem e o Passado. **Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, v. 4, n.1, p. 37-46, jan./jun. 2014.

COSTA, F. A. **Formação agropecuária da Amazônia**: os desafios do desenvolvimento sustentável. Belém: Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, 2000.

COSTA, F. A.; CARVALHO, H. M. de. Campesinato. *In*: CALDART, R. S. (org.). **Dicionário da Educação do Campo**. Rio de Janeiro, São Paulo: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Expressão Popular, 2012. Verbete.

COSTA, F. R. da. **Análise da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (RN)**. 2018. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; L.G.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento Ecológico- Econômico**. São José dos Campos. INPE, 1996, 18p.

CUNHA, P. D. da; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. de. Vulnerabilidade ambiental e áreas de infiltração máxima de água. **Remoa**, v. 13, edição especial LPMA/UFSM, p. 3761-3776, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/14413/pdf>. Acesso em: 15 ago. 2020.

CUTTER, S. L. **Vulnerability to environmental hazards**. *Progress in Human Geography*, v. 20, n. 4, p. 529-539, 1996.

CUTTER, S.; BORUFF, B.; SHIRLEY, L. **Social Vulnerability to Environmental Hazards**. *Social Quarterly*. v. 84, n.1, p.242-261, 2003.

DANTAS, A.; MEDEIROS, T. H. L. **Introdução à ciência geográfica**: geografia. Natal: EDUFRN, 2008. 176 p.

DANTAS, M.; E. SHINZATO, E.; BANDEIRA, I. C. N.; SOUZA, L. V. de.; RENK, J. F. C. **Compartimentação Geomorfológica**. *In*: BANDEIRA, I. C. N. (org.). **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

DIAS, V. S. B. **Análise Hierárquica Processual (AHP) na Modelagem da Vulnerabilidade Ambiental do Microcorredor Ecológico Serra das Onças (BA)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

DOERFLIGER, N.; ZWAHLEN, F. EPIK: a new method for outlining of protection areas in karstic environment. *In*: GUNAY, G.; JOHNSON, A. I. (ed.). **On karst water and environmental impacts**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1997. p. 117-223.

DOS SANTOS, C. C. M. Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados - PRODECER: um espectro ronda os cerrados brasileiros. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p.385-416, out. 2016.

EFFGEN, J. F.; MARCHIORO, E. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no município de Vila Velha-ES, com o uso de Análise de Processos Hierarquizados (AHP). **Revista Geociências - UNESP**, São Paulo, v. 36, n. 4, p.731-742, 2017. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/12541/12102> Acesso em: 11 jun. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Relatório do diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão**. Campinas, São Paulo: EMBRAPA, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *In*: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. **Súmula...** Rio de Janeiro, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema de Produção. Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2005**. Londrina: EMBRAPA Soja, n.6, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54357/1/Sistemas-de-Producao-5.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2018.

FERREIRA, C. C. **Proposta de zoneamento ambiental das paisagens para o alto curso da bacia hidrográfica do rio Sucuriú, Mato Grosso do Sul-Brasil**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2016.

FERREIRA, C. W. S.; LIMA, C. S.; CAVALCANTI, L. C. S.; SANTOS, A. H. O. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Açude Cachoeira II, no município de Serra Talhada - PE, Brasil. *In*: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., 2010, Coimbra, **Anais eletrônico [...]**. Coimbra: UC, 2010. p. 1-10. Disponível em: <https://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema2/clarisse> Acesso em: 8 fev. 2021.

FERREIRA, I. L. 2011. **Geoprocessamento na gestão de Recursos Hídricos: a análise espacial na proposta de enquadramento dos corpos de água**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011. Disponível em: http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/Igor_L_Ferreira.pdf. Acesso em: 13 abr. 2020.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. de.; VIEIRA, V. P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M. F.; MIRANDA, S. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010.

Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/33965/1/DO10002.pdf>. Acesso em: 18 maio 2018.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. **Avaliação do risco de poluição das águas subterrâneas: uma metodologia baseada em dados existentes**. Lima: Organização Mundial de Saúde, Organização Pan-americana de Saúde, Centro Pan-americano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais, 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Protección de la calidad del agua subterránea. Guia para empresas de água, autoridades municipales y agencias ambientales**. Edición en español. 2003.

FRANCISCO, R. F. **Contribuição metodológica à estimativa da vulnerabilidade natural e perigo de contaminação de aquíferos livres granulares**. 2018. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2018.

FREIRE, C. C. **Curso de Aperfeiçoamento em Gestão de Recursos Hídricos. Modalidade a distância. Princípios de hidrologia ambiental**. UFSC/UFAL. 2005. (Apostila), 197p.

FREITAS, J. R. B. **Distribuição Espacial de *Pratylenchus Brachyurus* em Soja no Leste do Maranhão**. 2013. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, 2013.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares de parte dos municípios de Marabá Paulista-SP e Presidente Epitácio-SP**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente - SP**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2012.

GASPAR, R. B. **O ELDORADO DOS GAÚCHOS: Deslocamento de agricultores do Sul do país e seu estabelecimento no Leste Maranhense**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais com concentração em Antropologia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2010.

GASPAR, R. B.; REGO, J. L.; ANDRADE, M. P. **Mobilização e justiça ambiental: Resistência camponesa e as transformações agrárias no Médio Mearim e Leste Maranhense**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE ANTROPOLOGIA, 26., 2008, Porto Seguro, Bahia, **Anais eletrônico [...]**. Brasília: ABA, 2008. p.1-11.

GASTÃO, F. G. C. **Caracterização dos Lençóis Maranhenses e Dunas Inativas (fósseis): implicações paleoambientais**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

GERÊNCIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - GEPLAN. **Atlas do Maranhão**. Laboratório de Geoprocessamento-UEMA. São Luís: GEPLAN. 2002.

GIMENES, F. B. Q.; AUGUSTO FILHO, O. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu, PR, **Anais eletrônico [...]**. São Paulo: INPE, 2013. p. 6564- 6571.

GOMES, A. R.; CREPANI, E.; CARVALHO, V. C. de; MEDEIROS, J. S. de. Aplicação da metodologia ZEE para a análise da vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais eletrônico [...]**. São Paulo: INPE, 2005, p. 3519-3526.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guimarães (RN):** simulação de risco às atividades da indústria petrolífera. 2003. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

HORTON R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology, in Chow, Ven Te; Maidment, D. R; Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Banco de Dados de Informações Ambientais – BdiA. 2019. Base de dados: escala 1:250.000. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#!/consulta/pedologia>. Acesso em: 7 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: [https:// biblioteca. ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf). Acesso em: 25 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA– IBGE. **Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão:** diretrizes gerais para ordenação territorial. Salvador: IBGE, 1997. Disponível em: <https://biblioteca. ibge.gov. br/visualizacao/ livros/ liv95885.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2018.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS - IMESC. Zoneamento Econômico Ecológico do Estado do Maranhão. **Base de dados:** escala 1:1.000.000. 2013. Disponível em: <http:// www. zee.ma. gov.br/ Portal/basededados>. Acesso em: 28 mar. 2019.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC. Plano Mais IDH. **Diagnóstico Avançado:** Belágua. São Luís, 2016. Disponível em: [http://imesc.ma.gov.br/src/upload/diagnosticoavancado/pdf%20\(7\).pdf](http://imesc.ma.gov.br/src/upload/diagnosticoavancado/pdf%20(7).pdf). Acesso em: 18 jan. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais climatológicas do Brasil (1981-2010)**. Brasília – DF. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 30 jul. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TOPODATA**: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 30 mar. 2019.

JORDÃO, C. O. **Análise da vulnerabilidade ambiental no planejamento espacial do cultivo de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

JORDÃO, C. O.; MORETTO, E. M. A vulnerabilidade ambiental e o planejamento territorial do cultivo de cana-de-açúcar. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 81-98, jan./mar. 2015.

JULIÃO, P.; NERY, F.; RIBEIRO, J.; BRANCO, M.; ZÊZERE, J. **Guia metodológico para a criação de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal**. Autoridade Nacional de Proteção Civil. p. 20-65. 2009.

JÚNIOR, J. F. P.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v.23, p.4-26, jul. 2012.

KASPERSON, R. E.; DOW, K.; ARCHER, E. R. M.; CÁCERES, D.; DOWNING, T. E.; ELMQVIST, T.; ERIKSEN, S.; FOLKE, C.; HAN, G.; IYENGAR, K. VOGEL, C.; WILSON, K. A.; ZIERVOGEL, G. Vulnerable Peoples and Places. *In*: HASSAN, R.; SCHOLLES, R.; ASH, N. 9 (ed.). *Ecosystems and human well-being: current state and trends. Millennium Ecosystem Assessment*. Washington, DC: Island Press, 2005.

KLAIS, T. B. A.; DALMAS, F. B.; MORAIS, R. P; ATIQUE, G.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A. C. Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, SP, v. 7, n. 2, p. 277-290, 2012.

LE GRAND, H. System for evaluating contamination potential of some waste sites. **American Water Work Association Journal**, Denver, CO, v. 56, n. 8, p. 959-974, 1964.

LEMOS, J. J. S. O Cultivo da Soja no Sul do Maranhão. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 39, Recife, 2001. **Anais eletrônico [...]**. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2001.

LI, A.; WANG, A.; LIANG, S.; ZHOU, W. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS – a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. **Ecological Modeling**, v. 192, p. 175–187, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380005003388>. Acesso em: 16 set. 2020.

LIMA, D. M. D. F.; SOUZA-HIGA, T. C. C. A Geografia Regional sob o enfoque do método estruturalista: Analisando a região do Pantanal Mato-Grossense, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, v. 2, n. 47e, p. 1-15, jan./jun. 2011.

LIMA, L. C.; MORAIS, J. O. de; SOUZA, M. J. N. de. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: Fundação Universidade Estadual do Ceará, 2000.

LOBO FERREIRA, J. P. C.; CHACHADI, A. G. Sea water intrusion vulnerability mapping of aquifers using the GALDIT method. **Coastin – a coastal policy research newsletter**, n. 4, 12 p, 2001.

LOPES, E. C. S; TEIXEIRA, S. G. Contexto Geológico. *In*: BANDEIRA, I. C. N. (org.). **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14761/1/livro_geodiversidade_MA.pdf. Acesso em: 20 mar. 2018.

LUCHIARI, M. T. P. A(re)significação da paisagem no período contemporâneo. *In*: ROSENDAHL, Z.; CORRÊA, R. L. **Paisagem, imaginário e espaço**. Rio de Janeiro: ed. UERJ, 2001.

LUIZ, S.; SANTOS, A. R. S.; BRENNER, T. L. Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, **Anais eletrônico [...]**. São Paulo: INPE, 2007. p. 581-587.

MACHADO, P. L. O. A.; WADT, P. G. S. **ÁRVORE DO CONHECIMENTO**. Arroz. **Terraceamento**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fohgb6cq02wyiv8065610dfrst1ws.html>. Acesso em: 3 fev. 2021.

MARANHÃO. Decreto nº 12.428 de 05 de junho de 1992. Cria no Estado do Maranhão, a Área de Proteção Ambiental de Upaon-Açú/Miritiba/Alto Preguiças com os limites que especifica e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Maranhão**: São Luís, MA, ano 86, n. 113, 12 jun. 1992. Disponível em: <http://www.oads.org.br/leis/2195.pdf>. Acesso em: 3 out. 2020.

MARANHÃO. Decreto nº 25.087 de 31 de dezembro de 2008. Cria a Área de Proteção Ambiental dos Morros Garapenses, com limites que especifica, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Maranhão**: São Luís, MA, ano 102, n. 255, p. 17-18, 31 dez. 2008. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/6458369/pg-17-executivo-diario-oficial-do-estado-do-maranhao-doema-de-31-12-2008/pdfView>. Acesso em: 3 out. 2020.

MARANHÃO. Lei ordinária nº 9.956 de 21 de novembro de 2013. Dispõe sobre a instituição do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Munim, de acordo com art. 43, V, da Constituição do Estado do Maranhão, c/c art. 29, III, da Política Estadual de Recursos Hídricos - Lei nº 8.149, de 15 de junho de 2004. **Diário Oficial do Estado do Maranhão**: São Luís, MA, ano 107, n. 227, p. 1-36, 21 nov. 2013.

MARINHO, T. R. S.; ANDRADE, J. B. de; CARVALHO, A. O. de; MORAES REGO, C. A. R. de. USO DE SIG'S NO ESTUDO DA EXPANSÃO AGRÍCOLA E MUDANÇA DA

COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE MATA ROMA – MA. *In*: CASTRO, C. E. de; BERNAT, I. G.; SILVA, Q. D. da; SODRÉ, R. B. (org.). **Território, Paisagens e suas Dinâmicas**. 1. ed. São Luís: EDUEMA, 2014. p. 394-403.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. O Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais: Um Estudo de Caso. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41., 2009, Porto Seguro – BA, **Anais eletrônico [...]**. Porto Seguro: UNIFACS, 2009. p. 1778-1788.

MARQUES NETO, R. Considerações sobre a paisagem enquanto recurso metodológico para a Geografia Física. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.9, n.26, p. 243-255, jun. 2008.

MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. **RA'E GA**, Curitiba, v. 8, p. 83-91, 2004. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3391/2719> Acesso em: 12 jun. 2020.

MEDEIROS, M. D.; PEREIRA, V. H. C.; ALMEIDA, L. Q. Áreas de vulnerabilidade ambiental na zona Oeste de Natal/ RN/ Brasil. **Revista GEONORTE**, Manaus, Edição Especial, v.1, n.4, p.474-486, 2012.

MEDEIROS, R. B.; PINTO, A. L.; SÃO MIGUEL, A. E.; OLIVEIRA, G. H. de. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental na Área do Assentamento São Joaquim, Selvíria/MS. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 49, p. 126-137, mar. 2014.

MENDES, M. S.; BORGHI, L. Análise Faciológica da Formação Codó (Cretáceo, Bacia do Parnaíba) em Testemunhos de Sondagem. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador, **Anais eletrônico [...]**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. p. 1-6.

MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M.; RIBEIRO, M. B. P.; MENEZES, M. D. Análise Empírica de Fragilidade Ambiental Utilizando Técnicas de Geoprocessamento: O Caso da Área de Influência da Hidrelétrica do Funil-MG. **Revista GEONORTE**, Manaus, Edição Especial, v.3, n.5, p.112-125, jun. 2012.

MILANEZI, C. H. S.; PEREIRA, J. G. Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia do Córrego Azul, Ivinhema – MS. **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 25. n. 1. p. 43-63, jan./jun. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado**: Projeto TerraClass Cerrado 2013, Brasília: MMA, 2015. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/Metodologia_TCCerrado_2013.pdf. Acesso em: 24 abr. 2020.

MIYAZAKI, L. C. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de Presidente Prudente/SP e Marília/SP**. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

MONTEIRO, C. A. F. 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.

MORAES, A. C. R.; COSTA, W. M. **O ponto de partida: o Método.** *In: A valorização do espaço.* São Paulo: Hucitec, 1984. p. 26-34.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 2.ed. Viçosa: UFV, 2003.

MOTTA, M. Posseiro. *In: MOTTA, M. (org.). Dicionário da terra.* Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2005. 373p. Verbete.

NASCIMENTO, S. M. V. Mulheres rurais e agroecologia: perdas e ganhos de um aprendizado cotidiano nas chapadas do Leste Maranhense frente à expansão da monocultura de soja. **Revista Gênero**, Niterói, v.15, n.1, p.81-102, 2. sem. 2014.

NASCIMENTO, S. M. V. Perda e (ganhos?): a memória feminina reconstruindo a história, antes e depois da implantação da monocultura de soja no município de Brejo no Maranhão. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SOCIOLOGIA DA REGIÃO NORTE*, 2., 2010, Belém, **Anais eletrônico [...]**. Belém: SBS norte, 2010. p.3-20.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** 3. ed. rev. amp. São Paulo: Blucher, 2008.

OLIVEIRA, A.M.M.; PINTO, S.A.F.; LOMBARDI NETO, F. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v.5, p.63-86, 2007.

OLIVEIRA, U. C.; OLIVEIRA, P. S. de. Mapas de *Kernel* como Subsídio à Gestão Ambiental: Análise dos Focos de Calor na Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nos Anos 2010 a 2015. **Revista Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, v.7, n.1, p.87-99, jan./jun. 2017.

PADILHA, D. G. **Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Grande, RS.** 2008. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2008.

PADILHA, R. M.; SOUZA, C. A. de. Características morfométricas do relevo e drenagem da bacia hidrográfica do Rio Carapá nos municípios de Colíder e Nova Canaã do Norte – MT. *In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org.). Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento.* Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017. p. 52-63.

PASSOS, M. M. dos. **Biogeografia e Paisagem.** 2. ed. Maringá: UEM, 2003.

PAULA ANDRADE, M. de. A produção de carvão vegetal e o plantio de eucalipto no Leste Maranhense. *In: Carajás: desenvolvimento ou destruição? Relatórios de pesquisa.* São Luís: CPT, 1995, p.15–65.

PAULA ANDRADE, M. de. A Suzana – o cerco das terras camponesas e a destruição dos recursos naturais pela Suzano Papel e Celulose. *In: ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS*, 35., 2011, Caxambu – MG, **Anais eletrônico [...]**. Caxambu: ANPOCS, 2011. p.1-19.

PAULA ANDRADE, M. de. **Os gaúchos descobrem o Brasil: projetos agropecuários contra a agricultura camponesa**. São Luís: EDUFMA, 2008.

PEREIRA, E. D.; QUERNER, E. Aspectos fisiográficos da bacia do Rio Pindaré-MA: Uma ferramenta para o planejamento geoambiental. *In: FERREIRA, A. J. de A.; LIMA, R. M. B. de F. (org.). Estudos de Geografia do Maranhão*. 1ed. São Luís: EDUFMA, 2013, v. 1, p. 298-317.

PEREIRA, L. E.; PEREIRA, J. G. Identificação e análise das áreas de vulnerabilidade ambiental da cidade de Corumbá (MS). **Geografia (Londrina)**, Londrina, v.21, n.1, p. 85-101, jan./abr. 2012.

PEREIRA, P. R. M. **As transformações históricas e a dinâmica atual da paisagem do município de Pedro do Rosário, Baixada Maranhense - MA**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

PEREIRA, V. L. G.; ROCHA, V. P. S.; BONACIM, C. A. G. Corredor de Exportação Norte e a viabilidade pela logística de transporte. **Nucleus**, São Paulo, v.5, n.2, p.161-172, out. 2008.

PESSOA, V. C. O.; BORGHI, L. Análise Faciológica da Formação Itapecuru (Cretáceo, Bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS*, 3., 2005, Salvador, **Anais eletrônico [...]**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. p. 1-6.

PINHEIRO, K. S. F.; SOUSA, C. J. S. de.; MENEZES, R. H. N. de. Caracterização espaço-temporal da precipitação efetiva e do índice de aridez da bacia hidrográfica do Riacho Boa Hora, Urbano Santos - MA. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12., 2005, Goiânia, **Anais eletrônico [...]**. São Paulo: INPE, 2005. p.2535-2542.

PINHEIRO, M. R. C.; WERNECK, B. R.; OLIVEIRA, A. F. de; MOTÉ, F.; MARÇAL, M. S.; SILVA, J. A. F. da; FERREIRA, M. I. P. Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal, **Anais eletrônico [...]**. São Paulo: INPE, 2009. p. 4247-4254.

PINHEIRO, M. V. A.; MOURA-FÉ, M. M.; FREITAS, E. M. N. Os Ecossistemas Dunares e a Legislação Ambiental Brasileira. **Revista Geo UERJ**, Rio de Janeiro, ano 15, n. 24, v.2, 2º semestre, 2013.

PRESOTI, A. E. P. **Avaliação de impactos ambientais da sojicultura em um ecossistema aquático da Microrregião de Chapadinha, MA**. 2008. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2008.

PROTACIO, A. P. B. **ENTRE A ENXADA E O PAPEL: impactos socioambientais de atividades de produção de eucaliptos nas comunidades de pequenos produtores no município**

de Urbano Santos. 2016. Monografia (Graduação em História) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2016.

PYZDEK, T. Instituto. **Folha de cálculo AHP**. (2019). Disponível em: <https://www.pyzdekinstitute.com/blog/six-sigma/ahp-spreadsheet.html>. Acesso em: 8 fev. 2021.

RABELO, T. O.; SOUZA, U. D.V.; FEITOSA, A. C. A análise da Vulnerabilidade Ambiental como subsídio para a gestão da Lagoa do Bacuri, Maranhão – Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, Rio Grande do Norte, v. 2, n. Especial. p. 1088- 1098, out. 2016.

RIBEIRO, G. F.; PEREIRA, S. Y. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. **Terræ**, São Paulo, v. 10, n. 1-2, p. 15-20, 2013.

RIBEIRO JÚNIOR, J. A. S. R.; OLIVEIRA, D. M. V.; COSTA, S. B. da. Desenvolvimento, conflitos e impactos ambientais: a territorialização da Suzano e a resistência camponesa na Mesorregião Leste Maranhense. **Revista Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v.1, n.2, p.11-33, jul./dez. 2014.

ROCHA, J. V. O Sistema de Informações Geográficas no Contexto do Planejamento Integrado de Bacias Hidrográficas. *In*: ORTEGA, E. (org.). **Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável: Uma introdução à metodologia energética**. [s.n.]. Campinas, São Paulo: UNICAMP, 2003. p.1-13.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. (org.). **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 5. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017.

ROGER, A. La Naissance Du Paysage en Occident. *In*: SALQUEIRO, H. A. **Paisagem e arte: a invenção da natureza, a evolução do olhar**. São Paulo: Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro, 2000.

ROSA, R. Análise Espacial em Geografia. **Revista da ANPEGE**, Campo Grande, v.7, n.1, número especial, p.275-289, out. 2011.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6. ed. Uberlândia: EDUFU, 2007.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 63-74, 1994.

SAATY, T. L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures**. Journal of Mathematical Psychology, New York, v. 15, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron, 1991. Tradução e Revisão Técnica Wainer da Silveira e Silva.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: Mcgraw-hill, 1980.

SANTANA, N. S. **Análise da vulnerabilidade ambiental de Salvador**: um subsídio ao planejamento e à gestão territorial da cidade. 2014. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SANTOS, A. M. dos; SCHOTT, E. F. C. S.; SOARES, D. O. VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLOS NA FLONA BOM FUTURO E SEU ENTORNO PRÓXIMO/ESTADO DE RONDÔNIA. **Revista GEONORTE**, Manaus, v.9, n.32, p.24-44, jan./jun. 2018.

SANTOS, A.; TARGA, M.; BATISTA, G.; DIAS, N. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas perdizes e fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

SANTOS, B. A. Q. dos. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA BALEIA FRANCA ENTRE AS PONTAS DE ITAPIRUBÁ E DO GI, LAGUNA, SC. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Florianópolis, 2015.

SANTOS, F. B. dos; NETO, C. A. A.; FERREIRA, L. A. A expansão da soja no Maranhão e algumas consequências socioambientais: questões preliminares (1990-2005). *In*: JORNADA INTERNACIONAL DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 4., 2009, São Luís, MA, **Anais eletrônico [...]**. Maranhão: UFMA, 2009. p.1-10.

SANTOS, L. C. A. dos. **Gestão das águas da sub-bacia hidrográfica do Rio Cacau – Maranhão**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SANTOS, L. C. A. dos; SOARES, I. G. Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Preto, Maranhão – Brasil. **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 29, n. 1. p. 85-105, jan. 2020.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: técnica e tempo. Razão e emoção**. 4. ed. 2 reimpr, São Paulo: Edusp, 2006.

SANTOS, M. F. S. **Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade ambiental na Serra da Calçada-MG**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SANTOS, N. A. dos. A divisão sexual do trabalho na agricultura familiar: entre a invisibilidade e a desvalorização do trabalho (re)produtivo de mulheres trabalhadoras rurais do município de Brejo/MA frente à expansão da monocultura de soja. **Revista de Políticas Públicas**, São Luís, v.20, Número Especial, p.331-337, nov. 2016.

SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **RA'E GA**, Curitiba, v. 7, p. 79-85, 2003.

SCHUMANN, L. R. M. A. **A multidimensionalidade da construção teórica da vulnerabilidade**: análise histórico-conceitual e uma proposta de índice sintético. 2014.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Sociedade e Cooperação Internacional) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. (org)., 2008. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais: componentes geofísicos e bióticos.** Lavras: UFLA, 161p.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v.10, n.2, p.137-148, 2007.

SILVA, G. C.; ALMEIDA, F. P.; ALMEIDA, R. T. S.; MESQUITA, M.; JUNIOR, J. A. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15, n.28, p. 244-258, 2018.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; FREIRE, A. T. G.; RODRIGUES, T. C. S.; VIEGAS, J. C.; BEZERRA, D. S. Dinâmica das queimadas na Baixada Maranhense. **Inter Espaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, São Luís, UFMA, v.2, n.5, jan./abr. 2016.

SILVA, C. A. da; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14.*, Natal, **Anais eletrônico [...]**. São Paulo: INPE, 2009. p. 5435-5442.

SILVA, D. M. R. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, K. R. **Uso do solo e cobertura vegetal como fatores para análise do desenvolvimento socioeconômico do município de Anapurus (MA) no período de 1985 – 2015.** 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2016.

SILVA, S. L. O.; ANDRADE, J. B. de; SILVA, F. B. CONCEIÇÃO FILHO, J. F. da. Levantamento dos remanescentes da cobertura vegetal no município de Brejo, MA: comparação de imagens CCD/CBERS-2 e MODIS/TERRA. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14.*, 2009, Natal, **Anais eletrônico [...]**. São Paulo: INPE, 2009, p. 6233-6240.

SIMÕES, M.; BECKER, B.; EGLER, C.; ORLEANS, P.C.; SANTOS, U.; CAMPOS, M.L. **Metodologia para elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico em áreas com grande influência antrópica.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

SOARES, I. G. **A dinâmica do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Preto-MA.** 2018. Monografia (Graduação em Geografia Bacharelado) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais artificiais.** 2007. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Taquara – Uma contribuição para o estudo das Ciências Ambientais. **Portal da Cartografia**, Londrina, v. 3, n. 1, p. 105-124, 2010.

STRAHLER A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, section 4 – II, in Chow, Ven Te; Maidment, D. R; Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta Nova: Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, Universidade de Barcelona, v.5, n. 79-104, p.1-10, jul. 2001.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Ambientes Costeiros Utilizando um Sistema Geográfico de Informação. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 11., 2003, Belo Horizonte, **Anais eletrônico [...]**. São Paulo: INPE, 2003. p. 1657-1664.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico Físico-Ambiental para a determinação da fragilidade potencial e emergente da bacia do baixo curso do Rio Passaúna em Araucária - Paraná**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TEODORO, V.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D.; FULLER, B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica local. **Revista UNIARA**, Araraquara-SP, v.11, n.1, p.137-156, 2007.

THIRY-CHERQUES, H. R. O Primeiro Estruturalismo: Método de Pesquisa para as Ciências da Gestão. **RAC**, Maringá/PR, v. 10, n. 2, p.137-156, abr./jun. 2006.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, v.38, 1948.

TRAJANO, S.; SPADOTTO, C.; HOLLER, W.; DALCIO, J.; MARTINHO, P.; FOIS, N.; SANTOS, B.; TOSCHI, H.; LISBOA, F. **Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsídio à gestão territorial estudo de caso no alto e médio Mamanguape**. Campinas, SP, 2012. 33 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Gestão Territorial, 2).

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977.

TURNER, B. L.; KASPERSON, R. E.; MATSON, P. A.; MCCARTHY, J. J.; CORELL, R. W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J. X.; LUERS, A.; MARTELLO, M. L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. **A framework for vulnerability analysis in sustainability science**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 100, n. 14, p. 8074-8079, 2003. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/pnas/100/14/8074.full.pdf>. Acesso em: 14 set. 2020.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USG. Earth Resources Observation and Science. Earth Explorer. Imagem de satélite. Canal 6, 5, 4. Órbita 220 Ponto 062 e 063. Washington, DC: USGS, 2017. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 27 jul. 2019.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos, São Paulo: INPE, 2008.

VALLES, G. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados à Geração de uma Carta de Vulnerabilidade Natural à Perda do Solo**. 1999. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1999.

VAN STEMPVOORT, D.; EWERT, L. WASSENAAR, L. **AVI**: a method for groundwater protection mapping in the prairie provinces of Canada. Prairie Provinces Water Board, 1992. Ottawa, CAN: Prairie Provinces Water Board, 1992.

VARGAS, T. de; GOMES, M. G.; BELLADONA, R.; ADAMI, M. V. D. Aplicação do Interpolador IDW para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos Paramétricos na Região da Serra Gaúcha. Caxias do Sul - RS. **Scientia Cum Industria**, v. 6, n. 3, p. 38-43, 2018.

VEYRET, Y. **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.

VÍAS, J. M.; ANDREO, B.; PERLES, M. J.; CARRASCO, F.; VADILLO, I.; JIMÉNEZ, P. Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifer: the COP method. Application in two pilot sites in Southern Spain. **Hydrogeology Journal**, v. 33, p. 23-33, 2006.

VITTE, A. C. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v.6, n. 11, p.71-78, jan./jun. 2007.

WINCANDER, R.; MONROE, J. S. **Essentials of geology**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.