



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

RONIS CLEY FONTES DA SILVA

**ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACAIUNAS
(BHRI): Subsídio ao Planejamento Ambiental**

**BELÉM – PA
2021**

RONIS CLEY FONTES DA SILVA

ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACAIUNAS

(BHRI): Subsídio ao Planejamento Ambiental

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal do Pará como requisito à obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Organização e Gestão do Território.

Linha de pesquisa: Dinâmicas Socioambientais e Recursos Naturais na Amazônia.

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Aparecida da Silva Pimentel

Coorientador: Prof. Dr. Alan Nunes Araújo

BELÉM – PA
2021

RONIS CLEY FONTES DA SILVA

**ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACAIUNAS
(BHRI): Subsídio ao Planejamento Ambiental**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal do Pará como requisito à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Organização e Gestão do Território. Linha de pesquisa: Dinâmicas Socioambientais e Recursos Naturais na Amazônia. Orientadora: Profa. Dra. Márcia Aparecida da Silva Pimentel; Coorientador: Prof. Dr. Alan Nunes Araújo.

Aprovado em: 22 / 02 / 2021

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Márcia Aparecida da Silva Pimentel
(Orientador – PPGeo/UFPA)

Prof. Dr. Alan Nunes Araújo
(Coorientador – FGC/UFPA)

Prof. Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo
(Examinador interno – PPGeo/UFPA)

Prof. Dr. Abraão Levi dos Santos Mascarenhas
(Examinador externo – UNIFESSPA)

Dedico este trabalho à
minha família.

AGRADECIMENTOS

Neste pequeno e valioso espaço quero dedicar meus agradecimentos às pessoas e instituições que foram muito importantes para realização dos meus sonhos e metas.

A Deus, primeiramente, por não me deixar fraquejar nos momentos difíceis da vida.

Aos meus familiares, dos quais, quando precisei, tive incontestavelmente o apoio de todos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Márcia Aparecida da Silva Pimentel, obrigado pela calma e paciência nas orientações, que, sobretudo, me ajudaram a manter o foco em fazer uma pesquisa aprofundada.

Agradeço ao meu coorientador, Prof. Dr. Alan Nunes Araújo, que tive grande satisfação de conhecer. O que nos aproximou foi a semelhança nas linhas de pesquisa e no conhecimento das geotecnologias. Agradeço a colaboração e atenção dos meus orientadores, pelos quais, quando necessitei sanar minhas dúvidas, fui muito bem atendido.

À Profa. Dra. Arlete Silva de Almeida, pela contribuição de seu tempo e atenção dada a mim. Obrigado!

Aos nossos professores do programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) na Universidade Federal do Pará (UFPA), em especial aos professores João Márcio Palheta da Silva, João Santos Nahum e Carlos Alexandre Leão Bordalo, que, ao longo de toda a trajetória do mestrado, buscaram ajudar-nos de maneira clara e objetiva, para que no futuro sejamos grandes profissionais em nossas áreas. Agradeço também a Cléo Ferreira, pela sua competência e disposição no atendimento dos alunos na Secretaria do PPGEO.

À Profa. Dra. Maria Rita Vidal e ao Prof. Dr. Abraão Levi dos Santos Mascarenhas, pelo suporte disponibilizado no Laboratório de Geografia Física, instalado na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA).

Ao Prof. Dr. Gustavo da Silva, por ser o primeiro professor com que trabalhei com bacia hidrográfica na UNIFESSPA, desenvolvendo o projeto PAPIM, que deu início ao TCC da graduação e ao pré-projeto desta dissertação.

Aos colegas do curso de Mestrado e Doutorado, que durante este tempo fizeram parte desta etapa de minha vida, em especial Jones, Silva Júnior, Dana, Letícia e Carlos;

não poderia esquecer o meu amigo de Marabá, que esteve comigo durante as viagens de ida e volta, Renan da Costa.

Agradeço a minha amiga de longas datas, Geóloga Lbyanka KLuck, pela imensa ajuda com o mapa de geologia, muito obrigado!

Ao Espaço de Acolhimento Provisório (EAP), instituição onde trabalhei e desenvolvi atividades recreativas com crianças e adolescentes, espaço que defino como local de aprendizagem significativa.

À Prefeitura Municipal de Marabá, casa em que fui servidor, mesmo não sendo na minha área de formação; ainda assim, ali pude participar em outros setores nos estágios docentes e do bacharelado durante a graduação, o que teve contribuição positiva na minha formação.

Às empresas Orcon/KRF Engenharia e Betonpoxi Engenharia, em que tive a oportunidade de ser colaborador durante parte de minha trajetória no mestrado e nas quais adquiri aprendizado e amizades importantes. Agradeço aos engenheiros Fabrício, Victor Augusto, Murilo Silva e Keila M. Valadares, profissionais responsáveis e amigos que a topografia me deu.

Aos técnicos João Alfredo Veloso de Sousa, Daniela da Silva Goiano e Clóvis Evangelista, responsáveis pelo setor fundiário e cartográfico da Superintendência de Desenvolvimento Urbano (SDU) da Prefeitura Municipal de Marabá (PMM), que ao longo da minha graduação e mestrado forneceram materiais para a continuidade deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Campus Marabá Industrial, que contribuiu com o meu desenvolvimento técnico e profissional diante dos projetos e parcerias, instituição de que tive a satisfação de fazer parte das turmas dos cursos técnicos em Edificações, em Agrimensura e, por um pequeno período, do curso Técnico em Química.

Aos meus companheiros da União Técnica Estudantil (UNITEC): David Kakoktyire, João da Rocha Neto, Jhon Kennedy e Athos César. Graças a nossa amizade elaboramos o projeto do desenvolvimento dessa empresa júnior que, um dia, ainda dará muitos frutos, dando oportunidades para o surgimento de novos talentos.

Agradeço à CPRM – Serviço Geológico do Brasil, onde fui efetivado em 2020, como técnico em Geociência-Hidrologia (Belém – PA). Agradeço a oportunidade de fazer parte dessa casa, para a qual pretendo contribuir com conhecimento, dedicação e aprender o máximo com os amigos de trabalho. Estendo os agradecimentos ao

superintendente, Jânio S. Nascimento; ao gerente de Hidrologia e Gestão Territorial, Homero R. de Melo Jr.; ao supervisor de Projetos, Mauro S. R. Batista; ao engenheiro Johelder E. F. de Souza; aos técnicos em Geociências, Alan Felipe P. A. Sousa, Marcos A. da S. Machado, Luanna C. Dias, Elivelton M. Araújo; e a todos os demais funcionários da CPRM.

À minha companheira, Joyce Lima, que teve paciência e compreensão nos momentos quando estava ausente; te amo muito por isso e mais.

E em especial aos meus tios, Natalina e Vicente, que me deram morada em Belém durante o curso das disciplinas do mestrado em 2019, fico grato pela cortesia de ambos.

Muito obrigado a todos!!!

*“Ninguém pode entrar duas vezes no mesmo rio,
pois quando nele se entra novamente, não se
encontram as mesmas águas, e o próprio ser já se
modificou”.*

(HERÁCLITO, 540 a.C)

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI) tem sua nascente do canal principal localizada na serra da Seringa, no município de Água Azul do Norte, estado do Pará. Grande parte dos recursos econômicos advém da exploração mineral e agropecuária; consequentemente, a bacia enfrenta também fortes impactos ambientais oriundos desta e de outras atividades ligadas ao aproveitamento econômico de seus recursos naturais. De posse de tais informações e de outras, esta dissertação tem como objetivo analisar a dinâmica da paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas, por meio de aplicação de metodologia de revisão bibliográfica, elaboração cartográfica, caracterização morfométrica, uso e ocupação da terra e diagnóstico, visando a subsidiar o planejamento ambiental. O embasamento teórico realizou-se a partir da discussão acerca da geoecologia da paisagem, destacando a paisagem como categoria de investigação geográfica, além da discussão sobre bacias hidrográficas na gestão ambiental. A pesquisa abrange três níveis de análise: caracterização dos aspectos socioambientais da BHRI; apuração de informações extraídas de dados vetoriais e matriciais para caracterização fisiográfica e fluviomorfológica da bacia, etapa em que se pretende aplicar os índices morfológicos e vegetativos; e a elaboração do diagnóstico e prognóstico para a BHRI. Os resultados da pesquisa apresentam dados importantes sobre esse recorte espacial, primeiramente sobre os elementos ambientais, além dos dados socioeconômicos. Posteriormente foram analisados os dados morfométricos de hipsometria, declividade, compartimentação em alto, médio e baixo curso, somando-se também os dados de hierarquia dos canais, constatando uma drenagem de quinta ordem, além dos dados morfométricos, que apresentam as condições de suscetibilidade a inundações. Sobre as classes de uso e ocupação da terra, por meio da análise das imagens Landsat 8 sensor Oli, adquiridas no dia 28/06/2020, nas órbitas 223, 224, 225, e os pontos 65, 64, foram identificadas 4 classes: água (0,228%), floresta ombrófila densa (41,934%), agropecuária (56,625%) e áreas antrópicas não agrícolas (1,147%), sendo possível a correlação desses dados com os índices vegetativos, apresentando os limiares espectrais para vegetação densa, pouca vegetação e sem vegetação os valores de NDVI, SAVI e IAF, respectivamente (0.6729715 / 1.009 / 1.609), (0.0189145 / 0.028 / -1.122), (-0.308115 / -1.492 / -2.949). Por fim, sobre o diagnóstico de identificação dos problemas ambientais na bacia, confirma-se um elevado grau de intervenção antrópica, devido ao caráter intensivo dos usos e ocupação da terra, agravados principalmente nas áreas de agropecuária, modificando a paisagem pela retirada da cobertura vegetal, além de provocar mudanças nos padrões hidrológicos da bacia. Por sua vez, as transformações da paisagem são resultado da interação do homem com a natureza, o que mostra a necessidade de executar um planejamento integrado, participativo, conforme o cenário atual na referida bacia, levantado por meio de dados consistentes e suficientes para propor soluções legais, por meio dos tipos de uso da terra, almejando um cenário ideal, com intuito de reverter o quadro atual da referida bacia.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas. Geotecnologia. Análise da Paisagem. Uso e Ocupação da Terra. Diagnóstico Ambiental.

ABSTRACT

The Itacaiunas River Basin (BHRI) has its source in the main channel located in the Serra da Seringa, in the municipality of Água Azul do Norte, state of Pará. Much of the economic resources come from mineral and agricultural exploration; consequently, the basin also faces strong environmental impacts arising from this and other activities linked to the economic use of its natural resources. With this information and others in mind, this dissertation aims to analyze the landscape dynamics in the Itacaiunas River Basin, through the application of bibliographic review methodology, cartographic elaboration, morphometric characterization, land use and occupation and diagnosis aiming subsidize environmental planning. The theoretical basis was based on the discussion about the geoecology of the landscape, highlighting the Landscape as a category of geographic research, in addition to the discussion on hydrographic basins in environmental management. The research covers three levels of analysis: characterization of the social and environmental aspects of BHRI; verification of information extracted from vector and matrix data for physiographic and fluviomorphological characterization of the basin, a stage in which it is intended to apply the morphological and vegetative indices; and the elaboration of the diagnosis and prognosis for BHRI. The research results present important data on this spatial cutout, primarily on environmental elements in addition to socioeconomic data. Subsequently, the morphometric data of hypsometry, slope, compartmentalization in high, medium and low course were analyzed, and also the hierarchy data of the channels, confirming a 5th order drainage, in addition to the morphometric data from which the conditions of susceptibility to floods. On the classes of land use and occupation, through the analysis of Landsat 8 Oli sensor images, acquired on 06/28/2020, in orbits 223, 224, 225 and points 65, 64, 4 classes were identified: Water (0.228%), Ombrophilous Dense Forest (41.934%), Agriculture (56.625%) and Non-Agricultural Anthropic Area (1.147%), making it possible to correlate these data with vegetative indices, presenting the spectral thresholds for dense vegetation, little vegetation and without vegetation the NDVI, SAVI and IAF values respectively (0.6729715 / 1,009 / 1,609), (0.0189145 / 0.028 / -1.122), (-0.308115 / -1.492 / -2.949). Finally, regarding the diagnosis of the identification of environmental problems in the basin, they confirm a high degree of anthropic intervention, due to the intensive nature of land use and occupation, aggravated mainly in agricultural areas, modifying the landscape by removing vegetation cover, in addition to cause changes in the hydrological patterns of the basin. In turn, the transformations of the landscape are the result of the interaction of man with nature, which shows the need to carry out an integrated, participatory planning, according to the current scenario in the referred basin, raised through consistent and sufficient data to propose solutions. legal, through the types of land use, aiming at an ideal scenario, with the intention of reversing the current situation of the referred basin.

Keywords: Hydrographic Basin of the Itacaiunas River. Geotechnology. Landscape Analysis. Land Use and Occupation. Environmental Diagnosis.

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Rede de Drenagem da BHRI	48
Mapa 2 – Pluviometria da BHRI	51
Mapa 3 – Contexto Geológico das Províncias Tectônicas da BHRI.....	54
Mapa 4 – Pedologia da BHRI.....	59
Mapa 5 – Geomorfologia da BHRI.....	62
Mapa 6 – Tipos de vegetação da BHRI.....	65
Mapa 7 – Municípios que compõem a BHRI e suas sedes municipais.....	67
Mapa 8 – Ordenamento dos canais na Bacia do Rio Itacaiunas.....	78
Mapa 9 – Hipsometria da BHRI.....	80
Mapa 10 - Declividade da BHRI.....	82
Mapa 11 – Setorização da BHRI.....	84
Mapa 12 – Uso e Cobertura da Terra na BHRI referente ao ano de 2020.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Carta Imagem de localização da BHRI.....	23
Figura 2 – Representação esquemática de um sistema, com elementos interligados e com fluxo de entrada e saída.	26
Figura 3 – Funcionamento do geossistema	27
Figura 4 – Representação gráfica de bacia hidrográfica	29
Figura 5 – Fluxograma da metodologia.....	34
Figura 6 – Perfil longitudinal do rio Itacaiunas.....	83
Figura 7 – Mapas: índice de vegetação NDVI, SAVI e IAF da BHRI.	94
Figura 8 – Margem direita do rio Itacaiunas, dentro do perímetro urbano do município de Marabá (PA).	97
Figura 9 – a) Agropecuária no município de Água Azul do Norte (alto curso); b) Mina do Sossego no município de Canaã dos Carajás (médio curso); c) Inundação na margem do rio Itacaiunas no município de Marabá (baixo curso).	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de sinuosidade.....	39
Tabela 2 – Classificação de declividade	40
Tabela 3 – Variáveis utilizadas na análise morfométrica	41
Tabela 4 – Descrição dos canais/bandas para Landsat 8 OLI/TIRS com comprimento de ondas e resolução espacial.....	42
Tabela 5 – Chave de interpretação utilizada no processo de classificação de imagens na BHRI.....	43
Tabela 6 – Área e população dos municípios da BHRI.....	69
Tabela 7 – População urbana e rural dos municípios que compõem a BHRI	72
Tabela 8 – PIB dos municípios da BRHI (2017).....	75
Tabela 9 – Sistema de drenagem e relação de bifurcação da BHRI	79
Tabela 10 – Dados morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas	86
Tabela 11 – Classe de uso e cobertura da terra e respectivos valores da BHRI (2020)	91

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Climograma de precipitação mensal de 2019 da BHRI.....	52
Gráfico 2 – Distribuição percentual da população da BHRI.....	70
Gráfico 3 – População dos municípios abrangidos pela BHRI.....	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cenários atual, tendencial e ideal para a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas	101
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Área de Proteção Ambiental

APP – Área de Preservação Permanente

BH – Bacia Hidrográfica

BHRI – Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas

°C – Graus Célsius

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DCSBCSP – Defesa civil de São Bernardo do Campo São Paulo

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EAP – Espaço de Acolhimento Provisório

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FLONA – Floresta Nacional

GIS – Geographic Information System

IAF – Índice de Área Foliar (Leaf area index)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFPA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Km² – Quilometro Quadrado

LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo Digital de Terreno

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NASA – National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada)

OLI – Operational Land Imager

PA – Pará

PC – Província Carajás

PIB – Produto Interno Bruto

PDM – Plano Diretor Municipal

PMM – Prefeitura Municipal de Marabá

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
PPGEO – Programa de pós-graduação em Geografia
PRAD – Projeto de Recuperação de Área Degradada
QGIS – Quantum Geographic Information System
RGB – Red (vermelho), Green (verde) e Blue (azul)
SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index (Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo)
SDU – Superintendência de Desenvolvimento Urbano
SHP – Shapefile
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS – Sistema Geocêntrico de Referência para as Américas
SR – Sensoriamento Remoto
SRTM – Shuttle Radar Topography Mission (Missão Topográfica Radar Shuttle)
SUDAM – Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia
RADAM – Projeto Radar da Amazônia
TGS – Teoria Geral do Sistema
TIRS – Thermal Infrared Sensor
UCs – Unidades de Conservação
UFPA – Universidade Federal do Pará
UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia
UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
UNITEC – União Técnica Estudantil
USGS – United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos)
ZEIA – Zona Especial de Interesse Ambiental
ZER – Zona de Erosão Recuante

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA.....	25
2.1 GEOSSISTEMA APLICADO NA ANÁLISE DE BACIA HIDROGRÁFICA	25
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	28
2.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
2.3.1 Levantamento bibliográfico.....	35
2.3.2 Caracterização da área de estudo.....	35
2.3.3 Uso de cenas SRTM na caracterização morfométrica de bacia hidrográfica	37
2.3.4 O uso de imagens orbitais utilizadas na definição de classes de uso da terra e cálculos de índices vegetativos.....	41
2.3.5 Diagnóstico, prognóstico e propostas.....	45
3 ASPECTOS GEOAMBIETAIS E SOCIOECONÔMICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACAIUNAS	46
3.1 ASPECTOS HIDROCLIMATOLÓGICOS DA BHRI.....	46
3.1.1 Hidrografia da BHRI	46
3.1.2 Climatologia da BHRI.....	49
3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS DA BHRI	53
3.3 ASPECTOS PEDOLÓGICOS DA BHRI	58
3.4 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DA BHRI	61
3.5 ASPECTOS VEGETATIVOS DA BHRI	64
3.6 BHRI: OS ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	66
3.6.1 Dados populacionais da BHRI	68
3.6.2 Produto Interno Bruto dos municípios na BHRI	74
4 ANÁLISE MORFOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACAIUNAS PARA ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES	76

4.1 COMPARTIMENTAÇÃO DA BHRI A PARTIR DA HIERARQUIA DOS CANAIS, HIPSOMETRIA E DECLIVIDADE	76
4.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BHRI	85
5 ANÁLISE DO USO E COBERTURA VEGETAL COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA BHRI	89
5.1 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NO CENÁRIO ATUAL DA BHRI	89
5.2 APLICAÇÃO DOS INDÍCES VEGETATIVOS NDVI, SAVI E IAF NA BHRI ..	92
5.3 DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO AMBIENTAL INTEGRADO: PROBLEMAS AMBIENTAIS E PROPOSTAS	96
5.3.1 Problemas ambientais	96
5.3.2 Prognóstico e propostas de planejamento ambiental	100
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
REFERÊNCIAS	106

1 INTRODUÇÃO

O tema do planejamento ambiental em bacias hidrográficas tem sido discutido por profissionais de áreas afins, pois as bacias hidrográficas que são ocupadas por pessoas necessitam, sobretudo, de um Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que tem como meta estudos que abordem fatores naturais e antrópicos dentro da bacia em questão. Na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI) não é diferente, pois ela também tem necessidade de estudos como esse, possibilitando análise dos fatores modificadores da paisagem.

As paisagens são um conjunto de elementos que estão em constante transformação, pois a paisagem dinâmica ocorre de tal forma que é perceptível às configurações dos elementos no espaço, que podem ser percebidos pelos sentidos humanos (PAUNGARTTEN; BORDALO; LIMA, 2016; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). O estudo da dinâmica da paisagem, por sua vez, proporciona uma base teórica e metodológica para análise das modificações ocorridas nos elementos da paisagem formada pela interação de variáveis físicas, ecológicas e sociais (FREITAS, 2013).

Todos os tipos de levantamento de dados sobre bacias hidrográficas são necessários para o reconhecimento da tipologia da área a ser estudada, com intuito de agregar informações de suas características físicas e bióticas, cruciais para estudos de planejamento ambiental. Sendo assim, os estudos socioambientais em ambiente computacional (SIG) ampliam a obtenção de dados de geoinformação, que antes custavam longos e caros levantamentos de campo e laboratório, e na atualidade se realizam de forma rápida e com maior nível de detalhe e precisão ou acurácia.

O levantamento de dados primários e secundários mostrou-se relevante, com o objetivo de estudar a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas, por meio da aplicação da abordagem geoambiental com intuito de subsidiar ações de planejamento e gestão ambiental.

Isso é feito com base nos fatores de comportamento hidrológico e morfológico de uma bacia hidrográfica em função de suas características físicas e bióticas, que têm papel importante nos processos do ciclo hidrológico, infiltração, deflúvio, evapotranspiração, escoamento superficial, dentre outros (CARVALHO; SILVA, 2016; ABDON, 2004).

Além do mais, os índices obtidos na caracterização morfométrica de bacia hidrográfica constituem um importante procedimento em estudos hidrológicos e ambientais e têm como intuito o esclarecimento de fatores sobre o entendimento de problemas ambientais locais e regionais, além de serem importantes no desenvolvimento de planejamento ambiental de bacia (SANTOS, 2012).

A BHRI tem o seu curso principal nascente na serra da Seringa, dentro do município de Água Azul do Norte, estado do Pará, e tem grande importância na formação econômica da região Sudeste do Pará. Sofre, porém, com a intensa ocupação de atividades antrópicas próximo das nascentes, e o rio Itacaiunas sofre também com o crescimento urbano da cidade de Marabá, onde está situada a foz do Rio Itacaiunas, que deságua na margem esquerda do rio Tocantins (SILVA JÚNIOR, 2017; CRUZ, 2010).

As transformações ambientais ocorridas devido a ocupações na foz do Itacaiunas, no município de Marabá, iniciaram-se com maior intensidade a partir da década de 1970, através de um projeto de realocação da população do distrito Marabá Pioneira, local de confluência dos rios Tocantins e Itacaiunas, o qual sofria com o problemas das enchentes, o que levou ao remanejamento dessa população para os núcleos Nova Marabá e Cidade Nova, acelerando-se assim o processo de povoamento nas margens do rio Itacaiunas no perímetro urbano de Marabá, projeto desenvolvido pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) (ALMEIDA, 2008, 2011).

Em tempos mais recentes, a Fundação Casa da Cultura de Marabá (FCCM, 2015) realizou uma expedição, comandada pelo biólogo e presidente da instituição naquele ano, Noé Von Atzingen, em que o mesmo e sua equipe foram inspirados pela experiência expressa no livro *Viagem à Itaboca e ao Itacaiunas*, escrito pelo francês Henri Coudreau, que em 1897 teve a ideia de percorrer o canal do rio Itacaiunas com intuito de pesquisá-lo. Desse modo, Coudreau fez várias anotações de contribuição geográfica.

A BHRI vem sofrendo diversos impactos no seu comportamento hidrológico, o que foi constatado nas mudanças de uso da terra e cobertura vegetal que acarretaram a mudança do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Itacaiunas nos últimos 40 anos (1973-2013), valendo apontar que as principais mudanças de uso e cobertura do solo na bacia neste período foram as significativas reduções da floresta nativa e o aumento acentuado da área de pastagem e crescimento das áreas urbanas. Ainda que a BHRI não se enquadre em uma situação de baixa disponibilidade hídrica,

suas características pedológicas e de capacidade de armazenamento indicam tendência crescente nas taxas de escoamento e baixa capacidade de armazenar água (SILVA JÚNIOR, 2017; SOUZA-FILHO et al., 2016; CRUZ, 2010).

Considerando a necessidade de uma melhor análise dos fatores naturais e antrópicos para um planejamento ambiental, levando em consideração eventos ocorridos nessa localidade, seja em espaços urbanos ou rurais, constatou-se que as mudanças no uso da terra, associadas ao desenvolvimento da agropecuária – que utiliza grandes áreas, substituindo a floresta por pastagens –, além do aumento das áreas agricultáveis, podem resultar em desequilíbrio no regime hidrológico.

Esta dissertação tem como objetivo geral:

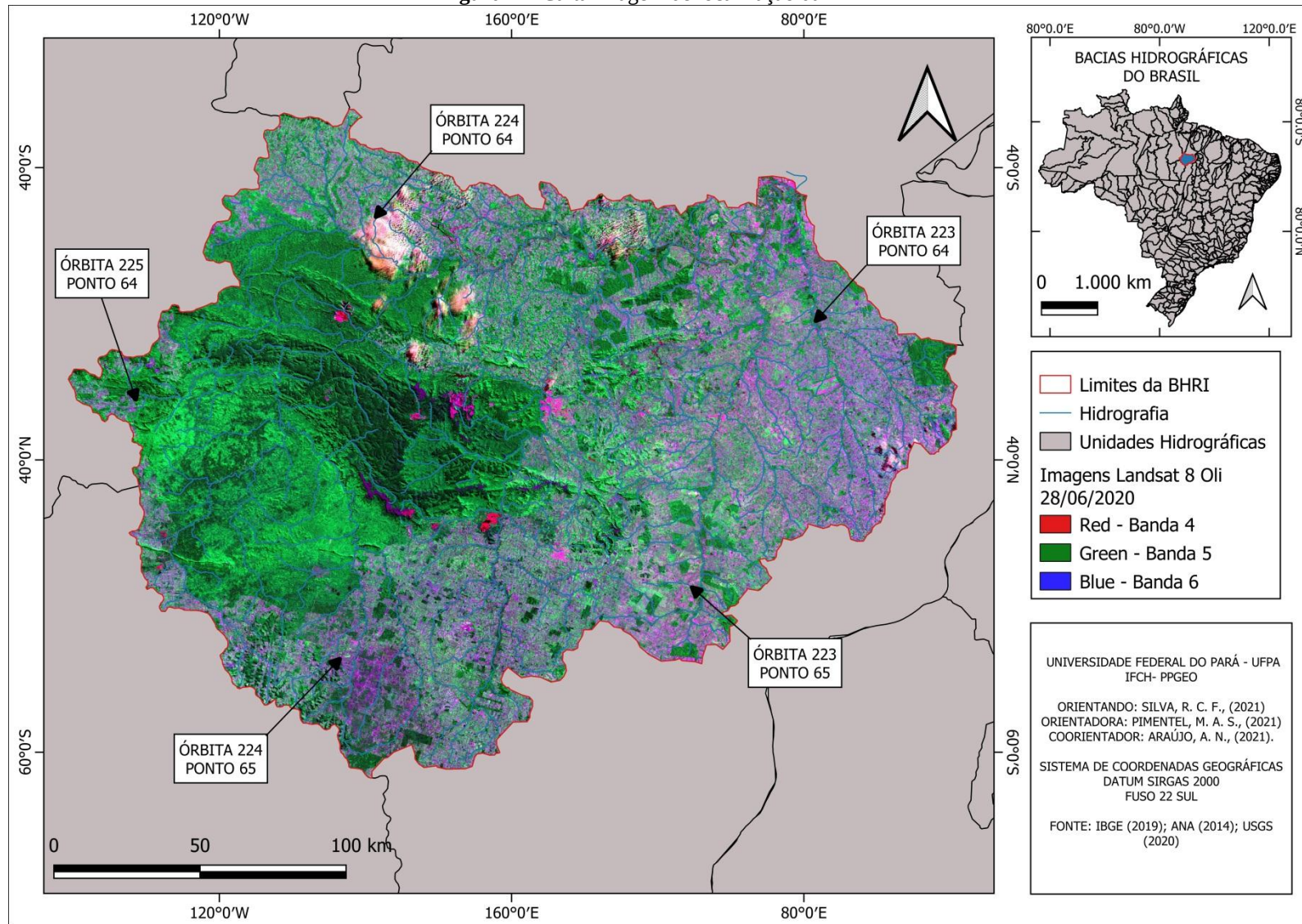
Estabelecer base teórico-metodológica que possibilite compreender a dinâmica da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas, localizada na Amazônia Oriental Brasileira, como fator de melhoria da qualidade socioambiental, em face de seus múltiplos usos e interferências antrópicas, visando a subsidiar o planejamento ambiental da bacia.

Seguem os objetivos específicos:

- a) Caracterizar os aspectos socioeconômicos e geoambientais atrelados à avaliação dos padrões morfogenéticos da BHRI na composição da paisagem.
- b) Aplicar os índices de vegetação (NDVI, SAVI, IAF) para caracterização das condições naturais e antrópicas de uso e cobertura do solo na BHRI.
- c) Realizar um diagnóstico ambiental da BHRI para identificação dos problemas e propor soluções conforme o cenário atual da área de estudo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI) é uma sub-bacia da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia; dessa forma, as condições naturais ou antrópicas de uma bacia variam conforme a latitude, o clima e o bioma onde se encontra a bacia. Nesse sentido, a BHRI está localizada na região Sul e Sudeste do estado do Pará, região Norte (Amazônica), Brasil. É georreferenciada pelo polígono envolvente, conforme as coordenadas geográficas longitude 52° W, latitude 5° S / longitude 48° W, latitude 8° S, e Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (Datum: SIRGAS-2000) Fuso 22 Sul.

Na figura 1, consta a carta imagem de localização da BHRI, construída a partir do mosaico de 5 imagens Landsat 8 sensor Oli, referente ao ano de 2020, conforme o processado, recorte e reprojeção na composição colorida RGB (Red-Green-Blue), sendo possível observar alguns dos elementos ambientais dentro dos limites da referida bacia.

Figura 1 – Carta Imagem de localização da BHRI

Fonte: Adaptado do IBGE (2015); ANA (2014); USGS (2014).

Elaborado Por: SILVA, R. C. F. (2021).

Para alcançar os objetivos descritos acima, conforme o recorte espacial, testar a hipótese de pesquisa e apresentar os resultados obtidos, este documento foi dividido da seguinte forma:

A seção 2 apresenta a fundamentação teórica e metodológica da pesquisa, fundamentada no geossistema aplicado na análise de bacias hidrográficas, de modo a contribuir na aplicação das geotecnologias para ações de planejamento ambiental.

Na seção 3 apresenta-se o levantamento dos aspectos geoambientais e socioeconômicos conforme o recorte espacial da bacia hidrográfica do rio Itacaiunas, com base nos dados secundários e oficiais do IBGE, ANA, CPRM, MMA, EMBRAPA, INPE e USGS, apresentados e analisados por meio de técnicas de SIG (Sistema de Informação Geográfica). A parte geoambiental corresponde aos elementos físicos e naturais (clima, hidrografia, geologia, pedologia, geomorfologia, vegetação,), somados aos aspectos socioeconômicos, para identificar e quantificar os tipos e potencialidades de usos no interior da bacia.

A seção 4 traça a caracterização morfométrica da bacia em questão para análise de suscetibilidade a inundações. Tem como base cartográfica as imagens SRTM e a rede de drenagem da BHRI, para cálculos dos índices morfométricos.

Por fim, na seção 5, são aplicados os índices vegetativos NDVI, SAVI e IAF para caracterização do uso e cobertura da terra na BHRI, com máxima de analisar as condições vegetativas existentes na área de estudo. Desse modo, sendo realizado o diagnóstico e prognóstico, identificar os problemas ambientais e apresentar as propostas para melhoria do cenário atual da BHRI.

A seção 6 apresenta as Considerações Finais.

Portanto, a pesquisa encaminha-se com o objetivo de subsidiar futuras ações de planejamento ambiental na BHRI, devido à identificação dos problemas ambientais, comuns na região amazônica. Segundo Ab'Saber (2003), essa região é conhecida por ter um macrodomínio de terras baixas florestadas que com o passar do tempo resultou no uso indiscriminado dos recursos naturais; esses problemas podem ser mitigados, diminuídos com a elaboração/efetivação de planos de usos adequados e suporte técnico-científico para tornar equilibrada a relação do homem com natureza.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA

Para realização desse trabalho de pesquisa acerca da discussão teórico-conceitual, foi muito importante destacar o geossistema aplicado na análise de bacia hidrográfica como unidade de planejamento, bem como as geotecnologias aplicadas à gestão ambiental e os procedimentos metodológicos.

2.1 GEOSSISTEMA APLICADO NA ANÁLISE DE BACIA HIDROGRÁFICA

Ao observar grande número de pesquisas geográficas que abraçam os pressupostos de estudos dos sistemas ambientais, categorizando a paisagem para análises sistêmicas, vale lembrar que, a priori, os estudos sobre Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foram aplicados a diversas áreas das ciências naturais; com o passar do tempo, começaram a surgir os estudos e métodos que originaram o termo *geossistema*, dando suporte para análise integrada da paisagem geográfica, em especial da Geografia Física (BERTRAND, 1971; SOTCHAVA, 1977; TRICART, 1977). Nota-se que a teoria geral dos sistemas não se resume à percepção convencional dos elementos físicos e biológicos, mas se estende a diferentes áreas do conhecimento (MENDONÇA, 2001).

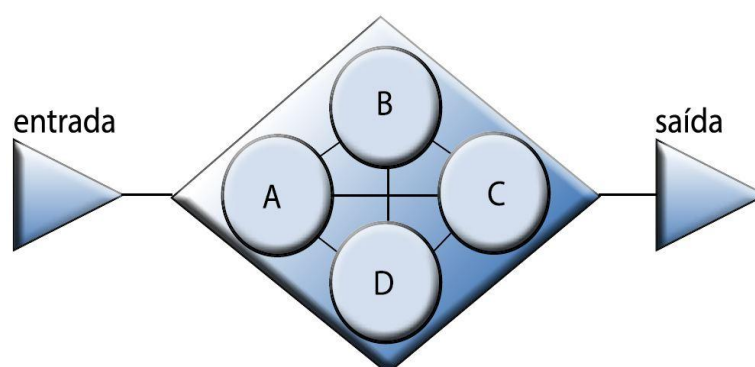
As teorias de forte apelo sistêmico podem ser vistas por geógrafos físicos nos anos 1970 e início dos anos 2000, destacando-se a abordagem ecodinâmica proposta por Tricart (1977), que representa possibilidades de aplicação do método sistêmico para o estudo da dinâmica das paisagens físicas, contribuindo na área da Geomorfologia. Sotchava (1977) define o geossistema como estando associado aos sistemas territoriais naturais. Por sua vez, Bertrand e Bertrand (2007) incorporam ao geossistema a dimensão da ação antrópica.

Considerando a análise do recorte espacial pelo método da teoria geral do sistema dialético, confronta-se a realidade cibernética, adicionando metodologias para analisar no campo holístico das ideias e contrapondo a ciência especializada (ZENKO et al., 2013). Além do mais, discutir sobre o propósito da TGS é de fundamental importância para acompanhar o desenvolvimento desse campo em diferentes domínios, apurando-se as diferenças entre sistema, estrutura e o lugar da TGS na Filosofia e Ciência (CAWS, 2015).

Assim, o conhecimento geográfico, junto com a Teoria Geral do Sistema, possui um histórico de correlações com o estudo da sociedade e natureza, em que a paisagem é

inserida com uma abordagem sistêmica, geossistêmica, sobretudo na biogeografia (VALE, 2012; FURLAN, 2009). Dessa forma, a Teoria Geral do Sistema deixa claro que o *sistema* é como um complexo de componentes interligados, conceituando as características das totalidades estruturadas e integradas, pois o sistema é a soma dos elementos, com a devida finalidade. Segundo Christofolletti (1979 apud VALE, 2012), um sistema (figura 2) é formado pelos elementos e pelas conexões entre eles e entre suas funções.

Figura 2 – Representação esquemática de um sistema, com elementos interligados e com fluxo de entrada e saída



Fonte: Christofolletti (1979).

Contudo, os estudos sistêmicos têm o sistema como objeto de estudo, analisando os elementos desse sistema dinâmico, pois é um sistema considerado aberto (CHRISTOFOLETTI, 1979). Dessa forma, dentro desse conceito, o sistema controla um determinado lapso de tempo em que recebe a entrada (*input*) e a transforma em saída (*output*).

Por sua vez, os sistemas são isolados e não isolados: nos isolados ocorrem trocas de energia e matéria com outros sistemas, já os isolados podem ser divididos em fechados (troca de energia) e abertos (troca de energia e matéria) (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Considerando os fatos apurados, pode-se notar que a contribuição da Teoria Geral dos Sistemas, junto com a ciência geográfica, tem como base ideias e métodos que objetivam análise da paisagem. Pode-se concluir que a paisagem não pode ser definida como uma porção do espaço composta de elementos externos, visíveis e estáticos, pois, para Bertrand (1971), a paisagem materializa as relações entre o homem e o meio e consolida a estrutura dos elementos no espaço geográfico, utilizando o

conceito de geossistema para estruturar a interação entre o potencial ecológico, a exploração biológica e a ação humana (figura 3).

Figura 3 – Funcionamento do geossistema



Fonte: Bertrand (1971).

Percebe-se que a paisagem é o resultado da combinação local dos fatores atuantes em um determinado lugar, como, por exemplo, os elementos físicos naturais do sistema de declividade, clima, rede de drenagem, vegetação, rocha, manto de decomposição, e todos estes estão associados a uma dinâmica comum combinada a fatores químicos, físicos e antrópicos (RODRIGUEZ; SILVA, 2017).

Para Bertrand (1971), o geossistema diz respeito aos elementos distintos, formados por paisagens desiguais, pois são sistemas de modelos de paisagens. Dessa forma, Bertrand e Bertrand (2007) definem paisagem como sendo uma porção do espaço, proveniente de uma combinação dinâmica e hierárquica, que é composta de elementos físicos, biológicos e antrópicos que reagem dialeticamente, em constante mudança.

Assim sendo, a paisagem abrange não somente o visível, que são os elementos naturais e antrópicos concretos, mas considera também a construção cultural e econômica no campo subjetivo do espaço geográfico, além da existência do território, composto pela organização espacial e sua funcionalidade, onde todos esses elementos produzem e reproduzem o geossistema.

Dessa forma, as bases conceituais procuram consolidar a integração da análise sistêmica, que dentro da Geografia Física busca uma análise complexa, holística e integrada do espaço geográfico, bem como a compreensão das relações e correlações

das dinâmicas dos elementos, com fluxos de entradas e saídas de energia e matéria do sistema ambiental (LIMA; SILVA, 2015).

Portanto, as reflexões acerca dos estudos geossistêmicos, como método aplicado principalmente na Geografia Física, proporcionam uma conexão entre os aspectos físicos naturais com os aspectos sociais e econômicos. Assim, existem bases por meio desse método sobre bacias hidrográficas como modelos de gestão e planejamento. Para análise de bacias hidrográficas esse método torna-se adequado, pois as trocas de energia e matéria que movimentam os elementos presentes no sistema aberto são intensas, devido ao escoamento superficial das águas e ao transporte dos sedimentos, além da presença humana, que interfere no sistema.

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A Bacia Hidrográfica (BH), segundo a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, é uma unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), objetivando o planejamento da gestão hídrica no Brasil.

Para melhor entendimento, ressalta-se a definição do conceito de bacia hidrográfica como parte de um sistema, entendendo-se que, de acordo com Tucci (2004), bacia hidrográfica pode ser definida como sistema físico/natural em que a entrada (*input*) é a pluviométrica, com relação à saída (*output*), que é o volume de água escoado pelo exutório, levando-se em consideração os efeitos do balanço hídrico presente na movimentação de água, formando-se as perdas de volumes evapotranspirados e infiltrados no solo. Em determinados eventos, podem-se considerar essas perdas e analisar a transformação de chuva em vazão com a ajuda do hietograma (chuva) e do hidrograma (vazão) (figura 4).

Figura 4 – Representação gráfica de bacia hidrográfica

Fonte: Disponível em: <<http://www.abagrp.org.br/.../hidrografia/hidro1.jpg>>.

Para tanto, todo curso d'água possui uma área de drenagem que recebe a precipitação e direciona esse fluxo de água para um canal maior, conforme a topografia. Então, com a representação espacial, através dos caminhos da análise de bacias hidrográficas, visa-se a compreender melhor os processos morfológicos e hidrológicos relacionados à dinâmica socioambiental em cada segmento da bacia de alto, médio e baixo curso¹, e para isso torna-se necessário pesquisar profundamente sobre a temática, em vista de que a análise de BH permite desfrutar de uma variedade de linhas de estudos e métodos de pesquisa acerca do processo de ocupação desse espaço geográfico.

As sub-bacias hidrográficas possuem bacias menores ou microbacias, subdividindo-se até chegar aos rios e córregos dentro das áreas urbanas, sendo fontes de abastecimento das residências e indústrias, exigindo um conjunto de serviços públicos essenciais para manutenção da qualidade de vida dos habitantes, dentre os quais o saneamento básico, segundo Tucci (2005), consiste na distribuição de água potável, coleta e tratamento de esgoto, drenagem urbana e coleta de resíduos sólidos.

Desse modo, as bacias hidrográficas, como uma unidade do espaço geográfico, são adequadas para uma gestão ambiental, necessitando de planejamento e preservação sustentável dos elementos naturais, consequentemente objetivando melhorar a qualidade de vida da população humana da bacia.

Além dos aspectos físicos, podemos levar em consideração a definição de bacia hidrográfica como unidade de planejamento, e é de fundamental importância pensar sobre sua gestão a partir de suas características naturais (LEAL, 2012), de modo que,

¹ “A denominação de alto, médio e baixo curso de bacia hidrográfica são utilizados para auxiliar nas pesquisas relacionadas aos processos hidrológicos” e de ocupação de bacia (FRANÇA, 2019, p. 6).

segundo ANA (2020b), o comportamento da bacia com o passar do tempo ocorre de duas formas: a) ordem natural, responsável pela predisposição do meio à degradação ambiental; e b) antrópico, em que as ações do homem prejudicam o sistema natural da bacia.

Com relação aos problemas ambientais e à falta de planejamento, observados nas bacias hidrográficas, em especial naquilo que diz respeito às enchentes e inundações, CPRM (2017), Tucci (2005) e Abdon (2004) mostram-nos que, quanto aos problemas complexos e graves do planejamento urbano, as zonas de áreas inundáveis devem ser analisadas através de restrições à ocupação das áreas de maior risco de inundações, erosão e assoreamento, que provocam a devastação das matas ciliares², visando a evitar perdas humanas e materiais. Além do mais, as estratégias de auxílio à gestão dessas áreas são necessárias para compreender sua dinâmica e, conseqüentemente, os impactos gerados a partir de sua ocorrência.

Para Oliveira (2013), os conceitos de *enchente*, *inundação* e *alagamento* são distintos, pois envolvem dimensões diferentes devido a mudanças de vazão. Porém, esses conceitos são comumente generalizados ou considerados erroneamente como sinônimos. Conforme Kobiyama et al. (2006), a inundação é o processo de aumento do vazão normal que provoca as inundáveis (planícies de inundação); quando não acontece o transbordamento do leito do rio, este processo é caracterizado como enchente. Ainda para Tucci (2005, p. 28), “os rios geralmente possuem dois leitos [...] as inundações ocorrem quando o escoamento atinge nível superior ao leito menor, atingindo o leito maior”. Quanto às áreas de alagamento, CPRM (2017) e São Bernardo do Campo (2011) alagamento é o acúmulo de água no determinado espaço urbano, por problemas acarretados por falta de drenagem, ou seja, ocorre alagamento onde há pouca ou nenhuma vazão no escoamento superficial da água.

Esse planejamento pode prever diversas situações, como os desastres ambientais, de modo que, para Silva Júnior (2018), existem indicadores de vulnerabilidade em áreas de risco em bacia hidrográfica que podem ser mitigados por meio de gestão e educação ambiental. Fazem parte desse planejamento as peças técnicas nas representações gráficas, como mapas e perfis topográficos, para compor subsídios às políticas públicas sobre o uso adequado dos espaços na cidade.

² “Entende-se por vegetação ciliar ou ripária, aquela que margeia as nascentes e os cursos de água” (CHAVES, 2009, p. 4).

Os problemas urbanos definidos por habitação em locais impróprios para moradia são diversos, algo que a legislação contempla para o trabalho de gestores municipais, pois o Estatuto da Cidade (Lei nº 10257/2001) diz que o PDM - Plano Diretor Municipal é como um regulamentador dos municípios para o ordenamento do espaço urbano. Ou seja, a lei supracitada, conforme o artigo 1º, diz que o “Estatuto da Cidade, estabelece normas de ordem públicas e interesse social que regulem o uso da propriedade urbana em prol do bem estar coletivo, bem como do equilíbrio ambiental” (BRASIL, 2001, p. 15).

Conforme estipula a legislação vigente nos Planos Diretores e Estatuto da Cidade, para buscar uma melhor qualidade de vida da população citadina, e além do uso da legislação para proteção e conservação dos recursos naturais em diferentes ambientes urbanos ou rurais, ressalta-se que as bacias hidrográficas necessitam de um Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), pois é um organismo colegiado que tem um interesse em comum – discutir sobre o uso da água na bacia. Esse tipo de grupo existe no Brasil desde 1988, tendo como intuito de contribuir para que a sociedade tenha representação e poder de decisão sobre a gestão da bacia hidrográfica que habitam (ANA, 2011).

O equilíbrio ambiental é um desafio para a gestão urbana; para isso o planejamento ambiental visa a ter maior controle sobre os desequilíbrios ambientais que ocorrem comumente. Assim, na discussão sobre o ordenamento territorial dos municípios que podem gerar subsídios para uma melhor aplicabilidade do uso de técnicas em trabalho com solo urbano, segundo o entendimento de Lacaze (1995), a infraestrutura urbana é pensada para privilegiar o setor econômico, por isso é necessário um olhar cuidadoso para que o território também realize a função social da cidade.

Portanto, esses fatores nos chamam a atenção para os aspectos do planejamento, com o intuito de nos ajudar a compreender a forma da paisagem atual e nos dar capacidade de vislumbrar cenários para um determinado espaço usando a representação cartográfica (LEAL, 2012), pois as diversas modificações existentes no espaço temporal podem resultar em diversos fatores naturais e antrópicos que estão interconectados e podem ser analisados por meio das geotecnologias.

Atualmente, as geotecnologias são utilizadas no gerenciamento de informações geoambientais, atreladas ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), muito importante no armazenamento, organização e tratamento de dados geoespaciais, utilizando-se também das técnicas de geoprocessamento aplicadas à análise dos recursos

hídricos (FLORENZANO et al., 2002, 2005; CÂMARA; MONTEIRO, 2001; MATIAS, 2001; MENDONÇA et al., 2011).

Nessa parte são apuradas as bases teóricas e técnicas utilizadas como ferramentas nesta pesquisa, tais como sensoriamento remoto, morfometria e altimetria, tendo como meta a discussão acerca do conceito de planejamento ambiental e o uso das geotecnologias para estudo socioambiental, tendo como recorte espacial uma bacia hidrográfica.

Ainda sobre geotecnologias, vale ressaltar sua importância e crescente aplicação na realização de análises completas e dinâmicas no planejamento e gerenciamento ambiental. Segundo Souza (2006), o planejamento visa a planejar as ações futuras, que, a partir de organizações teórico-metodológicas, são propostas de planejamento ambiental. Estas ações são programadas e exigem aprovação de ideias delineadas e pensadas anteriormente.

Sobre o planejamento ambiental, Rodriguez e Silva (2016) afirmam:

O planejamento Ambiental é um processo intelectual no qual são projetados os instrumentos de controle baseados em uma base técnico-científica, instrumental e participativa, o que deve facilitar a implementação de um conjunto de ações e processos de gestão e de desempenho. Isso envolve a tomada de decisões sobre questões tais como concessões, permissões, subsídios e créditos. O ponto de partida do Planejamento Ambiental deve ser o espaço físico-ambiental fazendo ênfase na base ou no meio natural. (RODRIGUEZ; SILVA, 2016, p. 133).

O planejamento ambiental almeja a possibilidade de definir e projetar ações, no sentido de mobilizar instrumentos, políticas públicas que venham a acarretar condições de equilíbrio ambiental entre o homem e a natureza. Considerando as políticas de natureza regulatória para compreender as medidas para a proteção dos recursos hídricos no Brasil, destaca-se o Código das Águas (Lei Federal nº 9.433), juntamente com os códigos de Minas (Lei nº 1.985), Florestal (Lei nº 12.651) e Estatuto das Cidades (Lei nº 10.257).

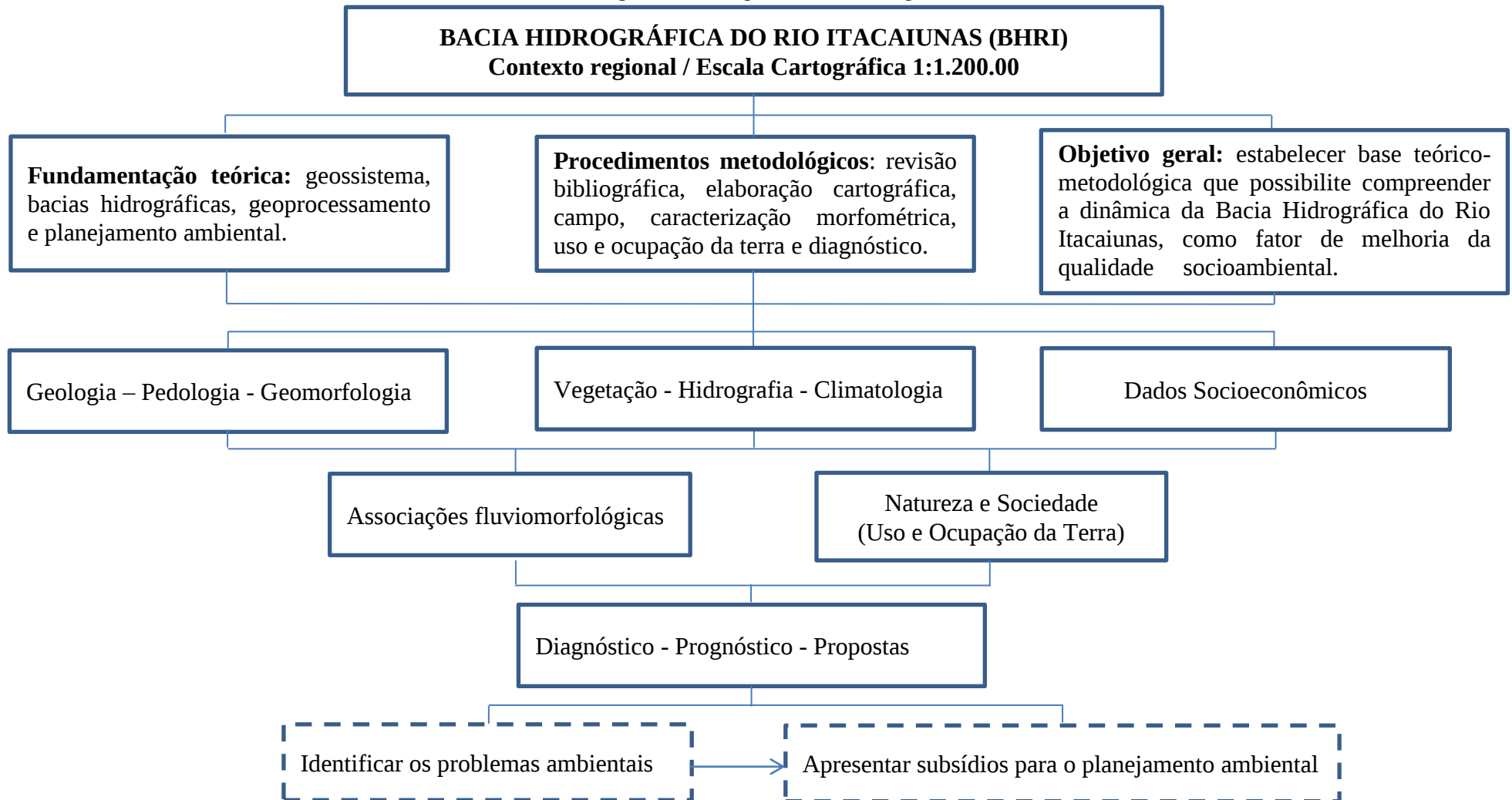
2.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento teórico e metodológico desta dissertação está estruturado em subseções de fundamentação teórica e metodológica, que mostram detalhadamente os procedimentos, materiais e métodos que subsidiaram a base da construção desta

pesquisa.

Dessa forma, optou-se por levantamentos de dados secundários oficiais sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI) disponibilizados por órgãos especializados no assunto. Neste trabalho, utilizam-se técnicas de geoprocessamento, pois, conforme Rocha (2000), o geoprocessamento visa a lapidar as informações e gerar dados confiáveis para ser analisados, possibilitando vislumbrar cenários condizentes com a realidade. Para a elaboração deste trabalho, as seguintes etapas foram necessárias, dispostas no fluxograma da figura 5.

Figura 5 – Fluxograma da Metodologia



Fonte: Adaptado de Bertand (1971); Christofolletti (1980; 1981); Cruz (2010); Silva Júnior (2017); Santos (2018); Nunes Araújo (2019); ANA 2020b.

Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2020).

Desse modo, a metodologia consiste de cinco partes:

2.3.1 Levantamento bibliográfico

Esta parte tem como intuito criar uma bagagem teórica que se aplique às diversas questões que envolvem o processo prático de levantamento de dados sobre a BHRI como apoio para avaliação de uso e ocupação da terra, da potencialidade de recargas de aquíferos, dados censitários e planejamento ambiental.

Vale citar que, dentre os principais autores pesquisados que fundamentam teoricamente as bases conceituais sobre a temática bacia hidrográfica, tem-se como base os pressupostos de Cristofolletti (1979, 1980, 1981), além de material clássico de Riccomini et al. (2009), Press et al. (2006), Ross (1992) como base para o entendimento de solo e relevo; já sobre o planejamento e gestão ambiental, temos autores como Tucci (2005, 2006), Lacaze (1995), Santos (2007), Leal (2012), IBGE (2013) e outros.

Dessa forma, os estudos de bacias hidrográficas e as geotecnologias estão interligados, possibilitando trabalhos sobre levantamento de campo e prática em laboratório. Essas técnicas ajudam em desenvolvimentos de pesquisas socioambientais, tendo como suporte autores como Fitz (2008), Venturi (2009, 2011), Silva, Paula e Silva (2019), não podendo esquecer ainda os dados espaciais (vetoriais/raster) e alfanuméricos, desenvolvimentos por empresas públicas especializadas.

2.3.2 Caracterização da área de estudo

Por conseguinte, será necessário listar os equipamentos que foram utilizados nesta pesquisa, dando ênfase aos softwares Qgis 3.16 Hannover (versão atualizada) – Quantum Geographic Information System, o Qgis é um programa livre (gratuito) de tratamento de Informação Geográfica (QGIS, 2017). As extensões de arquivos utilizados neste trabalho por esse programa foram GeoTIFF³ (raster) e formatos Shapefile⁴ (vetores); eCognition Developer 64 e Excel, que são fundamentais para a elaboração do material cartográfico, desenhos, reconhecimento de área e tabulação dos dados.

³ *GeoTIFF* (Tagged Image Format File) é um arquivo no formato que armazena imagens de localização sobre a superfície terrestre (VASCONCELLOS, 2002).

⁴ *Shapefile* é um formato popular de arquivo contendo dados geoespaciais, em forma de vetores, usado por sistemas de informação geográfica (ESRI, 1998).

Hidroclimatologia

Os dados hidroclimatológicos em bacia hidrográfica têm como meta identificar vários elementos de rede de drenagem pela análise, recorte e classificação dos dados vetoriais no formato Shapefile (shp) da hidrologia da bacia, estes disponibilizados pelo Portal da HidroWeb, escala 1:250.000. Sobre a análise das variações climáticas, foram utilizados os dados hidroclimatológicos de 15 anos (2005-2019) disponibilizados pela CPRM/Serviço Geológico do Brasil e Agência Nacional de Águas (ANA).

Para compreensão dos dados pluviométricos na BHRI, criados no software Qgis, pelo método de interpolação dos dados que foram separados por virgulas (Excel), com a localização e precipitação anual de cada estação hidrometeorológica (Marabá, Fazenda Surubim, Fazenda Elisa, e Fazenda Caiçara) dentro e próximo do perímetro da bacia do rio Itacaiunas. O método de interpolação utilizado foi o IDW (Peso pelo Inverso da Distância), com extensão .tif para imagem raster, utilizada nos programas de SIG.

Geologia

O suporte dos dados vetoriais no formato Shapefile (shp) da Geologia da área de estudo, carta na escala 1:250.000, disponibilizados pela CPRM e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As unidades foram descritas com base em Vasquez e Rosa-Costa (2008).

Pedologia

Foram utilizados os dados vetoriais no formato Shapefile (shp) de solo (Pedologia), carta na escala 1:250.000, além da utilização dos manuais do IBGE (2007) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Geomorfologia

As unidades geomorfológicas foram obtidas por meio de análise e interpretação do mosaico de imagens de satélites SRTM, disponibilizadas pela USGS (United States Geological Survey). Dessa forma, almeja-se o levantamento e análise da morfometria conforme o mosaico de 8 (oito) imagens interferométricas da SRTM, *resolução de 30m*,

com 1 Arc-Second Global. Foi utilizado como base de dados o mapa geomorfológico do estado do Pará (1:1.800.000).

Vegetação

Foi utilizado o suporte de dados vetoriais (shp) da vegetação disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente, na escala de 1:2.500.000, para classificação dos tipos de vegetação dentro da bacia. Para caracterização da vegetação na BHRI foram utilizados como base Veloso (1991), Cruz (2010), IBGE (2012), MMA (2014).

Socioeconômico

Os dados socioeconômicos disponibilizados pelo IBGE foram analisados e relacionados com as condições socioeconômicas e populacionais (censo 2010, estimativas 2017, 2019) que habita nos municípios abrangidos pela Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas.

2.3.3 Uso de cenas SRTM na caracterização morfométrica de bacia hidrográfica

Existem várias técnicas para mensurar as formas do relevo, como por exemplo as imagens de radar, em especial as SRTM (Missão Topográfica de Radar Shuttle), que contemplam cenas em escala regional, utilizadas para aplicar variáveis morfométricas em mapeamentos (VALERIANO, 2004).

Essas cenas são obtidas por intermédio do sensoriamento remoto (SR) ou detecção remota de informações geoespaciais, que são conjuntos de técnicas que possibilitam a obtenção de dados sobre a superfície terrestre (solo, vegetação, água etc.), permitindo o uso de dados geoespaciais para produção da cartografia temática; porém, até se chegar ao nível tecnológico de hoje, o SR teve muito que contar com inovação tecnológica. Novo (2008) destaca que a chegada das técnicas de sensoriamento remoto (SR) ao Brasil deu-se em meados da década de 1960, com sua evolução de sensores, tais como MSS para TM (Thematic Mapper), e posteriormente essas técnicas passaram a ser mais utilizadas em larga escala por instituições e empresas em busca de soluções de problemas socioambientais.

Vale destacar que, conforme Trevett (1986), a radiação de micro-ondas foi conhecida desde o início do século XX, mas apenas na década de 1960 o uso de sistemas radares como sensoriamento remoto passou a ser operacional. Já no Brasil, a utilização de dados de radar para o levantamento de recursos naturais teve início em 1970 com o Projeto Radar na Amazônia (RADAM), que permitiu o levantamento de extensas áreas da Amazônia; com o sucesso do projeto, os levantamentos se estenderam para todo o território nacional.

O projeto RADAM desenvolveu as imagens de radar SRTM, que serão muito utilizadas nesta pesquisa para coletas de dados altimétricos – que, junto com a base cartográfica, podem agregar novas camadas de informações topológicas, como a modelagem do MDE (Modelo Digital de Elevação), MDT (Modelo Digital de Terreno) para estudo da caracterização morfométrica, drenagem, identificação das unidades geomorfológicas, declividades e escoamento superficial de corpos hídricos. Sendo assim, é evidente a evolução das tecnológicas no SR, de que houve como resultado a construção de sensores específicos para cada elemento da superfície terrestre, pois cada objeto emite diferentes ondas espectrais capitadas pelos métodos radiométricos.

Desse modo, são de extrema importância as técnicas para mesurar e descrever os lugares, as formas, os relevos e as paisagens, representando graficamente, assim, cada unidade conforme as características que agrupam seus conjuntos de elementos naturais e antrópicos.

Assim, diante das tecnologias aplicadas na Geografia para representação gráfica da superfície terrestre, além das curvas de nível expressas nos mapas que unem os pontos de igual atitude de uma região representada, existe ainda a hipsometria, pela qual os mapas hipsométricos representam a variação de altitude rebaixada (cotas menores) para topos dos relevos ondulados (cotas maiores) por meio da variação de luminosidade ou valores de cores inicialmente frias (azul), tendo cores (verde e amarelo) como intermediárias até chegar às cores quentes (vermelho) para representar altas elevações topográficas como topos de morros, serras ou colinas (FITZ, 2008; JOLY, 2001; MARTINELLI, 2003).

Morfometria, por sua vez, é uma palavra polissêmica, com vários significados que derivam da mensuração de diferentes superfícies, mas neste caso me refiro à superfície terrestre para representação gráfica das formas do relevo terrestre.

Para EMBRAPA (2012, p. 5), a análise morfométrica objetiva fornece subsídios para a gestão territorial, pois o relevo é um dos aspectos mais importantes de estudo,

“pois permite compreender a disposição da drenagem e tem aplicação direta para a gestão territorial”.

Com os dados secundários, vetoriais de drenagem e topográfica, será possível aplicar a metodologia para caracterização morfométrica de bacia hidrográfica, sendo necessários os cálculos de áreas, dos perímetros e dos comprimentos da bacia. Segundo Bossle (2014), com as camadas de dados ajustados, é possível realizar as classificações de cores falsas para representação dos elementos físicos, como também cálculos de área e extensão da rede de drenagem.

Para Vidal e Mascarenhas (2017), com as imagens SRTM é possível gerar o Modelo Digital de Elevação, criar das cores-falsas a diferenciação dos tipos de morfologia, obtendo informações diversas sobre relevo, neste caso, importantes para a avaliação dos processos de escoamento da bacia, como declividades e capacidade de armazenamento de água.

Os parâmetros para definição das classes de sinuosidade são exemplificados por Marcuzzo (2012 apud ARAÚJO et al., 2017), classificados em 5 classes, conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de sinuosidade

Classe	Descrição	%
I	Muito reto	<20
II	Reto	20><29
III	Divagante	30><40
IV	Sinuoso	40><50
V	Muito sinuoso	50>

Fonte: Adaptado de Araújo et al. (2017).

Para a obtenção da declividade foram consideradas as metodologias de Carvalho e Silva (2016) e de Olaya (2012), em que as informações são geradas com dados do tipo contínuo, para que assim se possam apresentar conforme a realidade. As classes de declividade foram organizadas segundo EMBRAPA (1979), conforme o exposto pela tabela 2.

Tabela 2 – Classificação de declividade

Declividade (%)	Discriminação
0 - 3	Relevo plano ou suave
3 - 8	Relevo suavemente ondulado
8 - 20	Relevo ondulado
20 - 45	Relevo fortemente ondulado
45 - 75	Relevo montanhoso
>75	Relevo fortemente ondulado ou escarpado

Fonte: EMBRAPA (1979).

A determinação da ordem dos cursos de escoamento foi classificada conforme os critérios de Strahler (1952), segundo os quais os canais sem tributários são classificados como de primeira ordem. O canal de segunda ordem é aquele que se origina do encontro de dois de primeira ordem, e os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim por diante (CARVALHO; SILVA, 2016).

Assim, será possível a obtenção das dimensões da bacia e dos seus tributários de escoamento para realização dos cálculos (tabela 3) de coeficiente de compacidade (K_c); fator de forma (K_f); índice de circularidade (I_c); altitude, amplitude da bacia, declividade (%), ordem, densidade de drenagem (D_d), bifurcação, rugosidade, coeficiente de manutenção e densidade de hidrografia (D_h) (ANDRADE et al., 2009; CHRISTOFOLETTI, 1969, 1980; CARVALHO; SILVA, 2016; SILVA et al., 2018).

Tabela 3 – Variáveis utilizadas na análise morfométrica

Características Geométricas		
Variável	Símbolo	Fórmula
Área da Bacia	A	-
Perímetro da bacia	P	-
Densidade de hidrologia	Dr	$Dr = N/A$
Índice de circularidade	Ic	$Ic = 12,57 \times A/P^2$
Fator de forma	Kf	$Kf = A / L^2$
Coeficiente de capacidade	Kc	$Kc = 0,28 \times P / \sqrt{A}$
Características de Relevo		
Amplitude altimétrica máxima da bacia	Hm	$Hm = Hmax - Hmin$
Relação de relevo	Rr	$Rr = Hm / Lh$
Índice de rugosidade	Ir	$Ir = Hm \times Dd$
Índice de sinuosidade	Is	$Is = 100 (L - Ev) / L^2$
Características de Rede de Drenagem		
Comprimento total dos canais	Lt	-
Comprimento do canal principal	L	-
Comprimento vetorial do canal principal	Ev	-
Densidade de drenagem	Dd	$Dd = Lt / A$
Relação de bifurcação	Rb	$Rb = Nu / Nu + 1$
Coeficiente de manutenção	Cm	$Cm = (1 / Dd) \times 1000$

Fonte: Adaptado de Araújo et al. (2017).

Conforme as orientações de Lollo (1995 apud ARAÚJO et al., 2017), podemos definir que a densidade de drenagem é o índice que utiliza o comprimento total dos cursos d'água dividido pela área total da bacia (Lt/A). Desta forma, a bacia pode ser classificada como de baixa densidade, quando menor que 3 km²; de média densidade, quando entre 3 e 7 km²; considera-se de alta densidade, entre 7 e 15 km²; e se maior que 15 km², é de densidade alta.

2.3.4 O uso de imagens orbitais utilizadas na definição de classes de uso da terra e cálculos de índices vegetativos

Nessa etapa, foram de grande importância as imagens do satélite Landsat, pois o mesmo é um projeto de satélite de observação da Terra de origem norte-americana, desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), esse uso

voltado exclusivamente para a observação dos elementos na superfície terrestre (USGS, 2020; INPE, 2018; EMBRAPA, 2018).

O levantamento de uso e cobertura da terra pode ser realizado a partir da interpretação de imagens de satélite ou aerofotogramétricas, além do trabalho de campo. Nesse caso será utilizado o geoprocessamento dos elementos físicos, como solo, vegetação e água, e foi utilizado mosaico de 5 cenas de imagens Landsat 8 (*Land Remote Sensing Satellite*), sensor OLI (*Operational Terra Imager*), obtidas gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (tabela 4). As imagens foram adquiridas no dia 28/06/2020, nas órbitas 223, 224, 225 e os pontos 65, 64 – realizada a filtragem no site para diminuir a quantidade de nuvens. Utilizou-se o software Qgis 3.16 para mosaico, corte, reprojeção e composição das bandas 2-7, 10 em tons de cinza para coloridas RGB (Red – vermelho, Green – verde e Blue – azul), cor falsa destacando a vegetação da bacia.

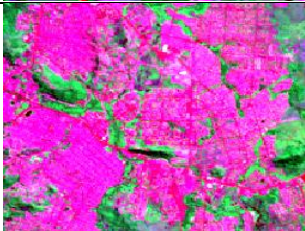
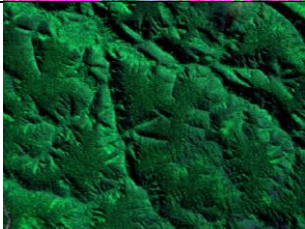
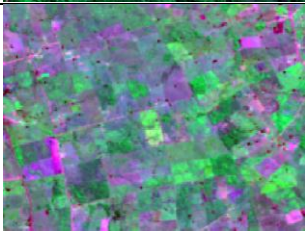
Tabela 4 – Descrição dos canais/bandas para Landsat 8 OLI/TIRS com comprimento de ondas e resolução espacial

Bandas	Características	Comprimentos de onda (micrometros)	Resolução Espacial (m)
2	Azul	0.450 – 0.51	30
3	Visível Verde	0.53 – 0.59	30
4	Visível Vermelho	0.64 – 0.67	30
5	Infravermelho Próximo	0.85 – 0.88	30
6	Infravermelho Médio/SWIR	1.57 – 1.65	30
7	Infravermelho Médio/SWIR	2.11 – 2.19	30
10	Infravermelho Termal (TIRS) ¹	10.60 – 11.19	100

Fonte: Serviço Geológico dos Estados Unidos.

A classificação de uso e ocupação da terra foi realizada por meio do programa eCognition 9.0, com reconhecimento em campo da topologia, e pelo processo de segmentação da imagem mosaico de 5 cenas da Landsat 8 OLI, correspondente à área da BHRI, com resolução espacial de 30 metros. Para tanto, foi utilizada a classificação supervisionada ao objeto, através de amostras coletadas de segmentação que representa as classes de uso e ocupação da terra, com base na área, forma e tonalidade, textura dos alvos (NUNES ARAÚJO, 2019). Com o intuito de agrupar os dados obtidos em cinco categorias, foram definidas as seguintes classes: Água, Área Antrópica não Agrícola, Floresta Ombrófila Densa e Agropecuária (tabela 5).

Tabela 5 – Chave de interpretação utilizada no processo de classificação de imagens na BHRI

CLASSES	IMAGEM (RGB)	FOTOGRAFIA
Água		
Área Antrópica não Agrícola		
Floresta Ombrófila Densa		
Agropecuária		

Fonte: Adaptado do USGS (2020); IBGE (2013). Fotos do autor.

Posteriormente, para análise da cobertura vegetal serão processados os índices de vegetação, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF).

A modelagem dos índices de vegetação baseia-se no comportamento oposto da refletância da vegetação na região do visível, ou seja, quanto maior a densidade vegetal, menor é a refletância em função da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes e quanto maior densidade vegetal, maior a refletância devido ao espalhamento nas diferentes camadas das folhas. (BORATO; GOMIDE, 2013, p. 2).

Com relação ao Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), esse funciona da seguinte forma, pois é a diferença das refletividades presentes nas bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela somatória dessas mesmas refletividades. Por sua vez, o NDVI é um indicador sensível que quantifica a condição da vegetação, em que os valores variam no intervalo de -1 a 1. Já nas superfícies que

contêm água ou nuvens, as quais absorvem radiação, esta variação é sempre menor do que 0 (BORATO; GOMIDE, 2013, equação 1):

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad \text{Eq.1}$$

Onde: P_3 e P_4 são os valores da refletância das bandas 4 e 5 do Landsat 8 OLI.

Com relação ao Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), esse é definido como um índice pela equação 2, que considera os efeitos do solo exposto nas imagens em questão, para ajuste do NDVI quando a superfície não está completamente coberta pela vegetação (FERREIRA et al., 2016, equação 2):

$$SAVI = \frac{(1+L_s)(\rho_4 - \rho_3)}{(L_s + \rho_4 + \rho_3)} \quad \text{Eq.2}$$

Onde L_s é uma constante do fator de ajuste do índice SAVI, assumindo valores de 0,25 a 1, conforme a cobertura do solo (FERREIRA et al., 2016). Para Borato e Gomide (2013) e Gameiro et al. (2017), um valor para L_s de 0,25 será indicado para vegetação arbórea e de 0,5 para vegetação com densidade média, quando o valor de L_s for 1 para vegetação com pouca densidade. Por outro lado, quando o valor do SAVI é igual a 0, os valores tornam-se iguais aos valores do NDVI. Desse modo, o valor de L_s mais utilizado é 0,5.

O Índice de Área Foliar (IAF), destacado por Allen; Tasumi; Trezza (2002 apud BORATO; GOMIDE, 2013), “é um índice biofísico definido pela razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação, sendo um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, computado pela seguinte equação empírica” (3):

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right)}{0.91} \quad \text{Eq.3}$$

Desse modo, os índices NDVI, SAVI e IAF servirão como base para análise das condições da cobertura vegetal dentro da área da BHRI.

2.3.5 Diagnóstico, prognóstico e propostas

O planejamento ambiental de bacia hidrográfica constitui um importante instrumento de gerenciamento dos recostos hídricos, sendo necessários diagnóstico, prognóstico e propostas para gestão da bacia (LEAL, 2012). O diagnóstico ambiental faz parte do plano de bacias e compreende uma etapa da pesquisa que visa a identificar os problemas ambientais, limitações e as potencialidades naturais e culturais, obtendo informações da situação atual dos recursos hídricos, análise dos padrões de uso e ocupação do solo e da terra (ANA, 2020b; SANTOS, 2018).

Para andamento da pesquisa, nesta etapa de elaboração do inventário e diagnóstico, destaca-se a confirmação dos dados de levantamentos cartográficos e documentais dos aspectos físico-sociais, conforme suas respectivas formas de uso e ocupação na área da bacia em questão (LEAL, 2012).

Sobre o prognóstico:

O prognóstico é realizado a partir do inventário e diagnóstico da bacia hidrográfica e corresponde a uma pré-visualização de possíveis cenários. Nesse contexto, os cenários das bacias hidrográficas podem ser definidos a partir de sua situação atual, considerando seus aspectos físicos e sociais (SANTOS, 2018).

Para a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas, a definição destes cenários foi realizada com base em estudos, observações a partir da situação atual em que se encontra para implantação e programas necessários à mitigação dos impactos decorrentes da modificação das paisagens.

As propostas são apresentadas com o intuito de aplicar medidas mitigadoras e compensatórias para contribuir em algumas questões referentes à situação investigada, compreensível a partir do inventário e diagnóstico. Portanto, a compreensão das características da BHRI torna possível realizar a apresentação das propostas a fim de subsidiar ações de planejamento e gestão menos agressivas aos recursos naturais presentes na bacia.

3 ASPECTOS GEOAMBIETAIS E SOCIOECONÔMICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACAIUNAS

A caracterização da área de estudo (BHRI) consiste na análise dos dados geoespaciais com os aspectos hidroclimatológicos, geológicos, pedológicos, geomorfológicos, vegetativos e socioeconômicos. Todos esses dados serão compilados e tratados para um melhor reconhecimento da BHRI, utilizando como ferramenta principal para tratamento dos dados geoespaciais o Sistema de Informação Geográfica (SIG), e com isso a bacia contém uma área de drenagem de 41.732 km² e 1.782,138 km de perímetro, caracterizando aplicações específicas para cada unidade e tamanho.

3.1 ASPECTOS HIDROCLIMATOLÓGICOS DA BHRI

Os aspectos hidroclimatológicos em bacia hidrográfica têm como meta identificar vários elementos e, dentre eles, os potenciais hídricos de precipitação e rede de drenagem, como também as variações climáticas.

3.1.1 Hidrografia da BHRI

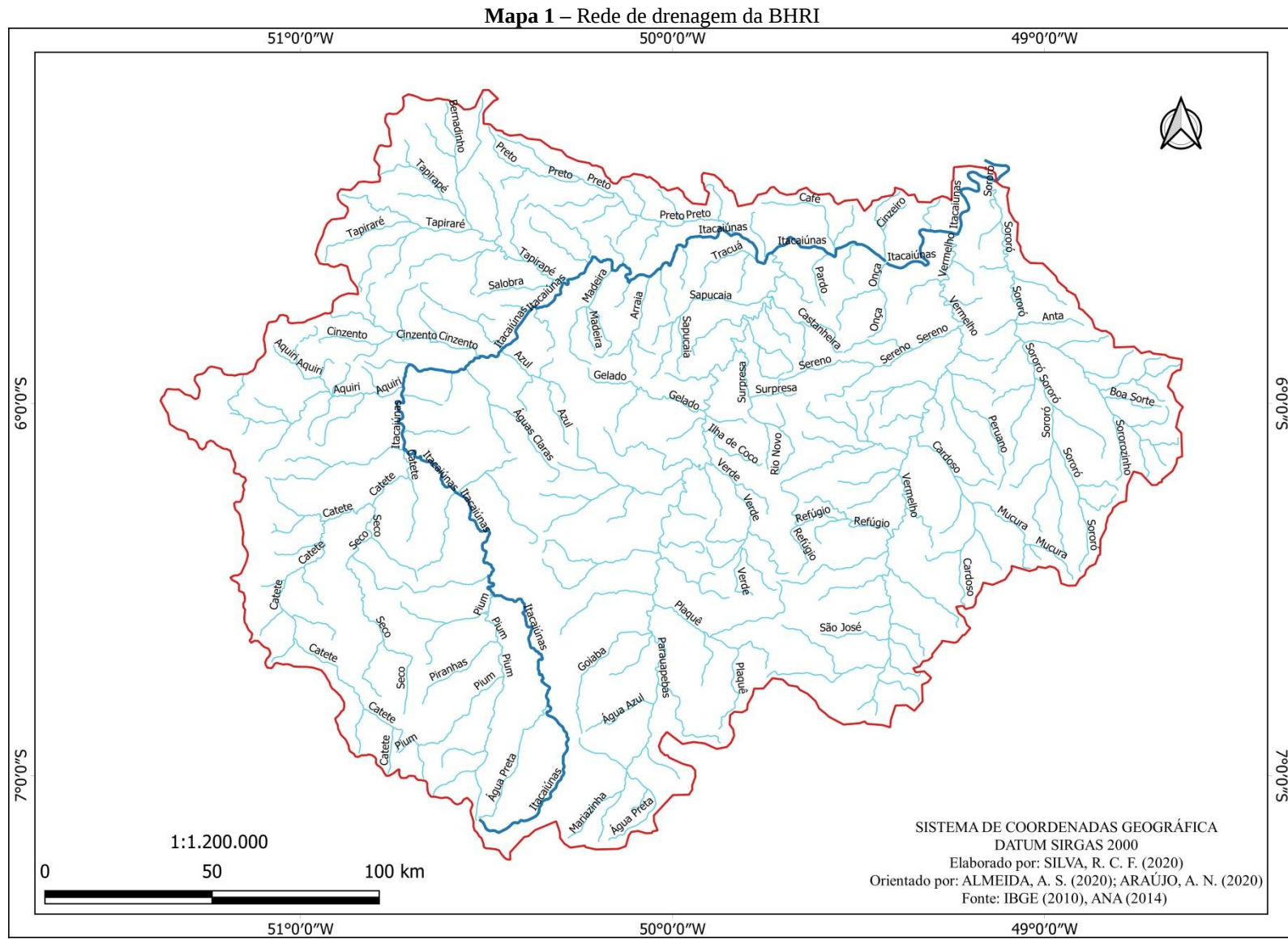
Segundo Montarroyos (2013), Cruz (2010) e Silva Júnior (2017), o rio Itacaiunas nasce na serra da Seringa, no município de Água Azul do Norte, com foz ou exutório na margem esquerda do rio Tocantins, no município de Marabá (PA).

A área bacia hidrográfica do rio Itacaiunas, localizada na região hidrográfica estadual Tocantins-Araguaia. A BHRI representa cerca de 31,11% da região hidrográfica estadual Tocantins-Araguaia (129.102,79 km²) e 3,21% da área do estado do Pará.

Conforme os dados cartográficos da ANA (2014) e USGS (2014), o canal principal tem uma extensão de 479,90 km, com altitude da nascente em 470 m, e segue com uma vazão caudal média de 600 m³/s. Os afluentes principais do rio Itacaiunas são: rio Madeira, rio Parauapebas, rio Oneã, rio Aquiri, rio Vermelho, rio Sororó, rio Tapirapé e rio Preto.

No mapa 1 consta a rede de drenagem na BHRI com o canal principal e todos os seus afluentes. São dados disponibilizados pela ANA, na escala de 1:250.000, muito

importantes para reconhecimento geral das ramificações hídricas presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas.



Fonte: IBGE (2010); ANA (2014).

Elaborado Por: SILVA, R. C. F. (2020).

O rio Itacaiunas tem 39 afluentes, apresentando grande variedade de canais dentro da bacia; percebe-se então que o estudo da rede de drenagem é muito importante para a análise do comportamento hidrológico, fundamental para o estudo da morfometria, topologia, somados os componentes geológicos e geomorfológicos.

3.1.2 Climatologia da BHRI

Dentro dos diagnósticos de bacia hidrográfica, o clima tem aspectos importantes para avaliação da disponibilidade hídrica, principalmente com relação à distribuição das chuvas ao longo do ano; entre outras avaliações, deve-se levar em consideração, segundo Ab'Saber (2003), que, devido à posição geográfica, essa localidade da Amazônia Oriental, próxima ao extremo norte de Tocantins (Bico do Papagaio), recebe precipitação de 1.700 a 1.800 mm anuais e tem temperatura média de 25,5 a 26,5°C.

Levando-se em consideração a variabilidade dos fatores climáticos, e pela pavimentação do solo, verifica-se intensificação das ilhas de calor na zona urbana, mais especificamente na região da bacia, que tem um clima equatorial tropical, quente e úmido. A classificação climática, segundo Köppen e Geiger (1939), se ajusta aos tipos Aw (5, 4, 3).

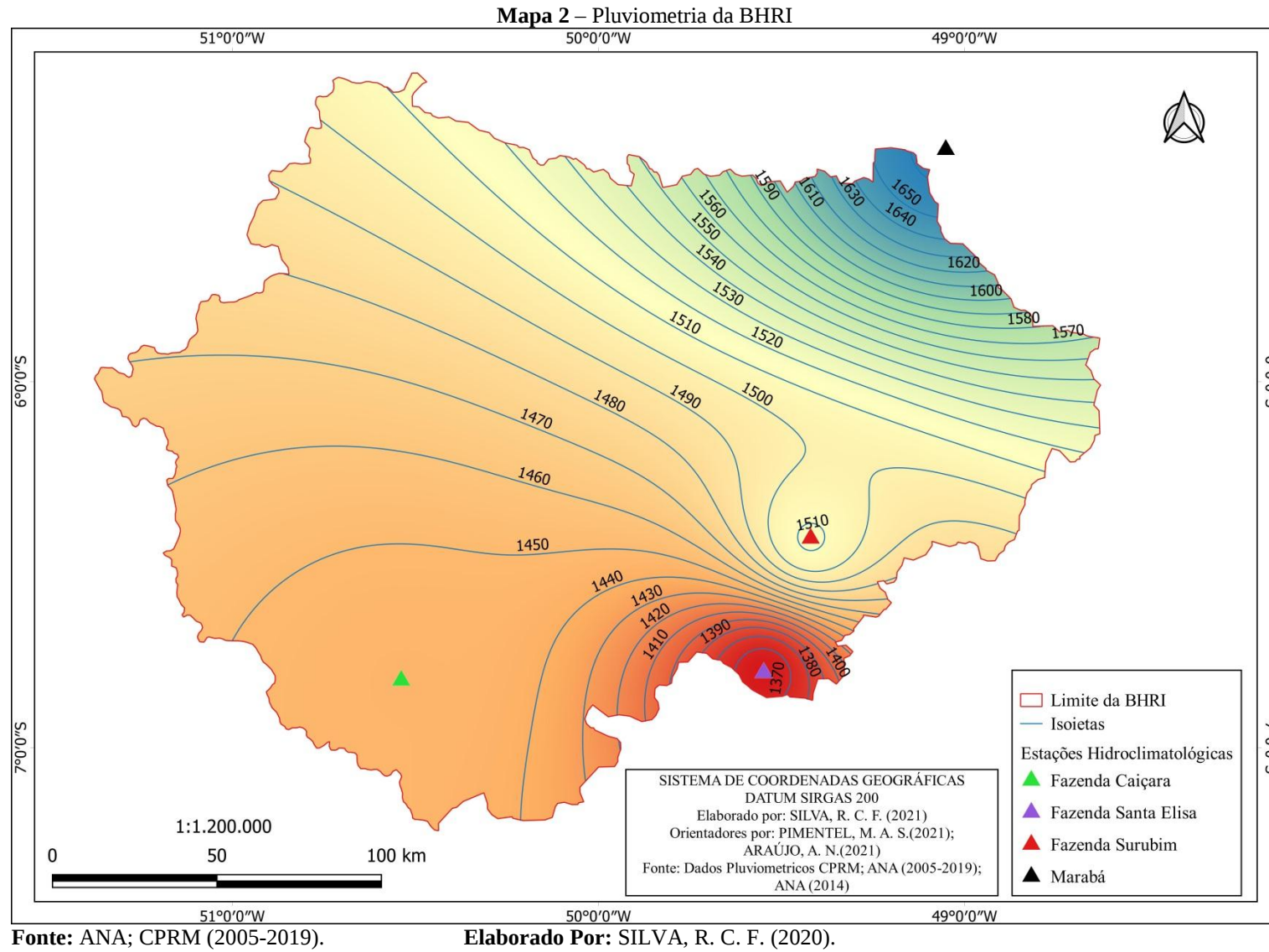
Vale destacar que a precipitação está relacionada ao tipo de clima presente na região e, conseqüentemente, às condições meteorológicas, por sua vez ligadas às massas de ar presentes no local (FINOTTI et al., 2009). Na região Sudeste da Amazônia paraense, especificamente nas bacias dos rios Xingu e Araguaia-Tocantins, tem sido observado, nas últimas décadas, um aumento de temperatura, que pode causar mudanças no regime hídrico nessa mesma área, por meio de alterações no padrão das chuvas (HOFFMANN et al., 2018).

Para Oliveira e Araújo (2013), os dados de precipitação são importantes para entender as descargas hídricas na área de estudo; no caso da BHRI, a precipitação se apresenta diferente entre os períodos de 1986-1989, com 6,15 mm/dia, e 2006-2010, com 5,02 mm/dia. No que diz respeito à precipitação na área, não ocorre alteração de sazonalidade, com meses chuvosos em fevereiro-março-abril e secos em junho-julho-agosto. Conforme Silva Júnior et al. (2017), a precipitação na BHRI mostrou-se compatível com o comportamento sazonal definido da região, pois as estações

meteorológicas mostraram uma tendência de incremento na precipitação de leste para oeste, associada à densa cobertura da Floresta Nacional de Carajás.

Esses dados também são determinantes para a composição estrutural da geologia, pedologia e geomorfologia. Sendo assim, devido às condições normais de lixiviação, temperatura e pressão, entende-se que as paisagens são modeladas por meio de agentes naturais internos e externos.

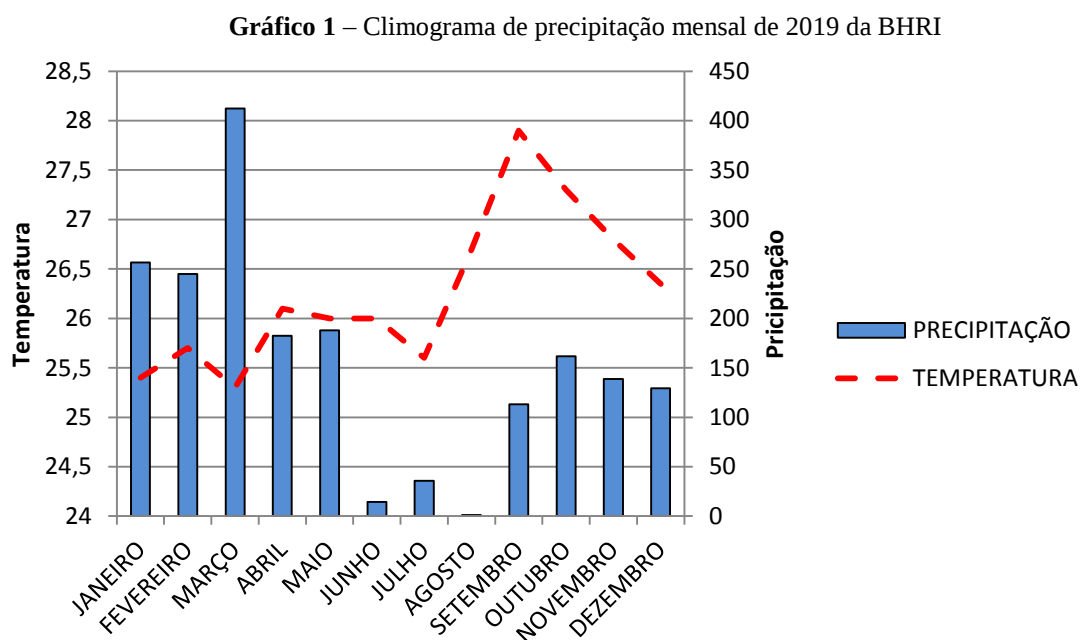
Para compreensão dos dados pluviométricos na BHRI, o mapa 2 consta os dados de precipitação média anual do período de 2005 a 2019, além do climograma com dados mensais de chuva e temperatura.



Com relação à análise da interpolação do mapa de precipitação média anual (2005-2019) da BHRI, ela foi possível graças à rede pluviométrica da Agência Nacional de Águas, atrelada ao uso do SIG (Sistema de Informação Geográfica) aplicado os algoritmos de IDW, como importante ferramenta na análise de estimativa dos dados pluviométricos. Para Tieppo et al. (2010, p. 3), “o estudo da variabilidade da precipitação utilizando método de interpolação, a principal preocupação é com a extensão da área e a delimitação da rede pluviométrica”. Na BHRI, percebe-se que a variabilidade da precipitação ocorreu de leste para oeste, ou seja, as maiores médias de precipitação ocorreram no exutório da bacia (1.650 mm), diminuindo gradativamente até a região da cabeceira da bacia (1.450 mm a 1.370 mm).

Podemos perceber que o volume de precipitação depende de três fatores: a duração da chuva, que equivale ao tempo entre o início e o final da precipitação; a intensidade, que é quantidade de chuva por unidade de tempo; e a frequência, que está relacionada à probabilidade de uma chuva ser igual ou superior, podendo ser estimada por meio de estudos estatísticos (ANA, 2020a, 2020b).

O gráfico 1 apresenta o climograma com a variação de médias mensais de precipitação e temperatura na BHRI.



Fonte: ANA; CPRM (2019).

Elaborado Por: SILVA, R. C. F. (2021).

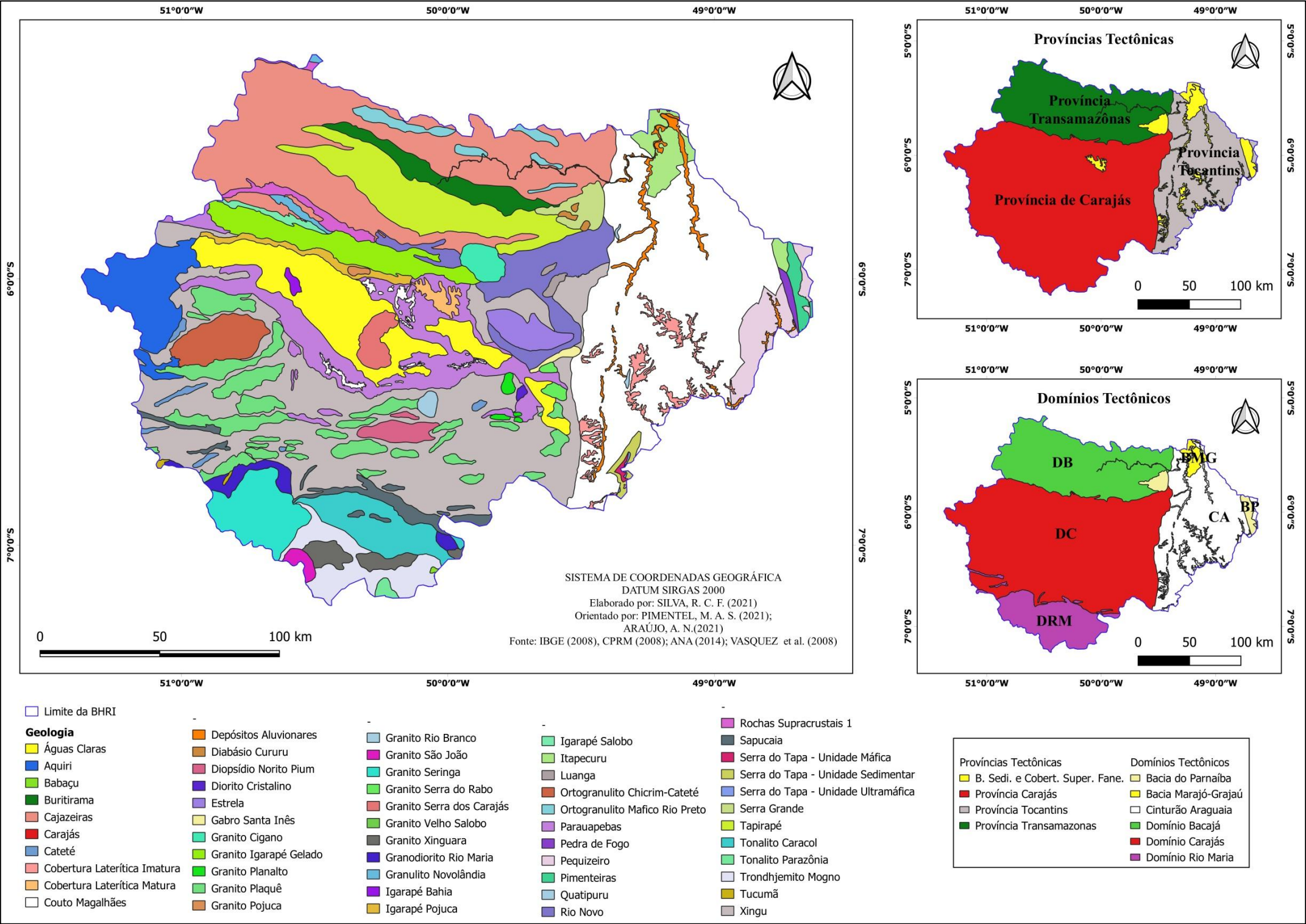
A pluviometria média mensal na BHRI gira em torno de 150 mm de chuva, tendo os meses de junho, julho e agosto uma média de 14 mm. Em contrapartida, os meses de janeiro, fevereiro e março evidenciam maior precipitação, com média de 256,6 mm, tendo como destaque o mês de março, com 412,4 mm, ocorrendo nesse período as cheias nos principais canais da BHRI.

3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS DA BHRI

Sobre os aspectos do estudo da Geologia, ressalta-se a importância da compreensão das interações da evolução das paisagens na bacia em análise, com os fatores antrópicos, determinantes na modificação da paisagem, atrelados a constante exploração dos recursos minerais, que por sua vez provocam a dinamização dos fluxos nessa região. Para Silva (2011), a caracterização geológica de bacia hidrográfica permite conhecer a estrutura que é responsável pela reestruturação do relevo, e essas informações são importantes para identificação de rochas, análise do relevo e compreensão dos tipos de solo.

A Bacia hidrográfica do rio Itacaiunas (BHRI) está inserida no contexto geológico regional do Cráton Amazônico, considerando-se o modelo proposto por Santos et al. (2006) e por Vasquez e Rosa-Costa (2008), o qual revisou a geologia do estado do Pará, então adaptando-se para os limites da bacia em questão, formada por cinco províncias tectono-estruturais ou geocronológicas e seus domínios: a província Carajás ao sul (Domínio Carajás e Rio Maria), província Transamazonas na porção norte (Domínio Bacajá), província Tocantins na porção norte e sul (Cinturão Araguaia), província Parnaíba (Bacia do Parnaíba/Marajó-Grajaú), distribuída ao longo desta bacia hidrográfica (mapa 3).

Mapa 3 – Contexto geológico das províncias tectônicas da BHRI



Fonte: Adaptado do Vasquez e Rosa-Costa (2008); ANA (2014). Elaborado Por: SILVA, R. C. F. (2021).

Assim sendo, a bacia em questão possui suas províncias estruturais distribuídas entre as coberturas detriticas e depósitos aluvionares, províncias Parnaíba, Transamazonas, Tocantins e Carajás.

Na BHRI encontra-se Bacia Sedimentares (Paranaíba e Marajó-Grajaú) e Coberturas Superficiais Fanerozóica com 2.005 km², 4,804% da bacia: as coberturas detrito-laterítica neogênica de zona basal com rochas subjacentes alteradas, areia, argilas e níveis conglomeráticos, parcialmente laterizadas. A porção paleogênica constitui-se da base para topo de: zona argilosa caulinítica; zona bauxítica com concreções e lentes gipsíticas; zona ferruginosa concrecionária; zona pisolítica nodular. O neopleistocênica contém sedimentos argilo-arenoso amarelos, cauliníticos, alóctones e autóctones, parcial a totalmente pedogeneizados. Os depósitos aluvionares holocênicos contém depósitos de areias grossas e conglomeráticas, representando residuais de canal, no caso do rio Itacaiunas e de alguns de seus afluentes. Dessa forma, ainda muito presentes na área da bacia as rochas máficas de posicionamento duvidoso, que podem ser qualquer mineral, magma ou rocha ígnea que seja rico em elementos químicos pesados, em compostos ferromagnesianos, e pobre em sílica (CPRM, 2008; VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

A Província Tocantins está situada pelo Cinturão Araguaia, com uma área de 7.513 km², com 18,003% da área da bacia. Contém ofiolitos e rochas relacionadas, além do Complexo Serra do Tapa, com rochas da unidade ultramáfica, Já as sequências supracrustais de Formação Couto de Magalhães (metargilitos e subordinados quartzitos, cherts e metacalcários. Anquimetamórficos ou com metamorfismo em fácies xisto verde. Deposição em margem continental passiva. A Formação Pequizeiro contém xistos micáceos e quartzosos, com intercalações de filitos, quartzitos, talcos xistos e calcoxistos. Metamorfismo em fácies xisto verde. Deposição em margem continental passiva (CPRM, 2008; VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

Entende-se também, que o Cinturão de Cisalhamento do Araguaia-Tocantins é uma unidade geotectônica de formação por rochas neoproterozoica (1.000 Ma – 541 Ma) de baixo grau metamórfico do setor central setentrional da Província Tocantins situada na borda oriental do Cráton Amazônico e representa importantes eventos orogênicos que resultaram na edificação do supercontinente Gondwana no fim do Neoproterozoico (CPRM, 2001; ALMEIDA, 1974).

A Província Transamazonas, no Domínio Bacajá, dentro da BHRI tem uma área de 8.383 km² (20.088%). Esse domínio contém o magmatismo orogênico *sin* a tardi-

colisional (Ciclo Transamazônico), composto pelos complexos Bacajaí, Já na faixa Greenstones Belts, pertence à Formação Buritirama, com rochas de quartzitos micáceos e ferruginosos e mármores, metamorfisados, com depósito de *Mn* (manganês). Com relação a Formação Tapirapé contém ortoanfibolitos, xistos máficos e ultramáficos, metamorfisados em fácies xisto verde e anfibolito baixo (CPRM, 2008; VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

Nos complexos metamórficos dessa mesma província está presente o Metatonalito Rio Bacajá e o Grupo Misteriosa – “Unidade Metavulcanossedimentar, representada por associações bimodais, formações ferríferas bandadas e rochas metassedimentares clásticas” (PERICO, 2010, p. 33).

A Província Carajás (PC) é a mais presente na bacia, com uma de área de 23.796 km², representa cerca de 57,021% da área de estudo, situada principalmente dentro dos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás, Curionópolis, Água Azul do Norte e Marabá. Esta representa o núcleo arqueano da região sudeste do Cratón Amazônico no qual se localizam os depósitos minerais mais importantes dentre as províncias tectônicas deste Cratón, sendo conhecida como a Província Mineral de Carajás. Localizada nas proximidades da região do distrito mineral da Serra dos Carajás, abrangendo as áreas com maior diversidade metalogenética e potencialidade econômica por quilômetro quadrado do sudeste do Cratón Amazônico (SOUZA, 2019). No estado do Pará, concentra –se algumas das maiores reservas minerais brasileiras (VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

De acordo com Tassinari e Macambira (2004) a PC está situada dentro da Província Amazônia Central, ou é considerada como uma província tectônica independente (SANTOS et al., 2000). Sendo subdividida em dois domínios (Mapa 02), Domínio Carajás localizada na porção norte e o Domínio Rio Maria situa-se no setor sul desta província (SOUZA et al., 1996; SANTOS, 2003; VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

O Domínio Carajás (meso a neoarqueano) é subdividido em Subdomínio de Transição, devido ser distinto em termos de evolução geológica e tectônica, dividindo-se em três subdomínios, Bacia Carajás, Canaã dos Carajás localizado ao norte e Sapucaia situado ao sul, esta subdivisão em subdomínios é uma proposta nova de modelo evolutivo publicada no 13º Simpósio de Geologia da Amazônia (DALL’AGNOL et al., 2013; DALL’AGNOL; OLIVEIRA; LAMARÃO, (2013).

Dentre elas, a Formação Águas Claras, sendo que, para Silva e Villas (1998), essa unidade de depósito de sulfeto de *Fe-Cu* (Ferro e Cobre), a Formação Águas Claras, segundo CPRM (2008), é composta por pelitos e quartzo-arenitos de ambiente marinho plataformar, e arenitos, conglomerados e pelitos de ambiente litorâneo e fluvial, com depósitos de *Mn* (manganês) e *Au* (ouro).

Com relação ao magmatismo máfico-ultramáfico presente na Província Carajás, é composta por Suíte Intrusiva de Cateté, com rochas, segundo Riccomini et al. (2009) são compostas por um agregado de sólidos compostas por um ou mais minerais: periodotitos, serpentinitos, piroxonitos, dunitos, noritos e gabros acamadados. Por último, CPRM (2008); Vasquez; Rosa-Costa (2008) afirma que na Província Carajás contém as *Greenstone Belts*, formadas por grupos e formações rochosas. Em especial temos o Grupo Rio Novo que contém depósitos de *Au* (ouro), *Cu-Au* (cobre e ouro) e *Mn* (manganês).

A região de Serra Pelada contém o depósito de *Au-PGE* (*Au* – ouro, *Pt* – platina e *Pd* – paládio) e está localizada no Cráton Amazônico, na porção sudoeste da província mineral de Carajás, dentro dos limites municipais de Curionópolis (PA). “O depósito é hospedado por uma sequência metassedimentar arqueana discordantemente sobreposta a sericita xistos indivisos e rochas metavulcanossedimentares do Grupo Rio Novo” (BERNI, 2009, p. 19).

Com relação ao grupo e formações geológicas, temos o Grupo Igarapé Bahia, contém depósitos de *Cu-Au*. E na Formação Carajás (formação ferrífera bandada), contém depósitos de *Fe*. Na Formação Parauapebas, contém depósitos de *Cu-Au*. No Grupo Igarapé Salobo (Subgrupo Itacaiunas), contém depósitos de *Cu-Au-Mo-Ag* (Cobre, Ouro, Monzonito, Prata). No Grupo Aquiri, contém ocorrência de *Fe* e *Au* (CPRM, 2008). O Grupo Alto Bonito, segundo Costa (2007), contém rochas supracrustais de sequências metavulcanossedimentares. Essa província contém ainda assembleia de embasamento, além do Complexo Xingu (CPRM, 2008).

O Domínio Rio Maria tem presentes em seus granitoides de Alto K as rochas granito Xinguara, além das faixas de *Greenstone Belts* pertence ao Grupo Sapucaia, o Grupo Tucumã contém serpentinitos, rochas metavulcânicas máficas e félsicas, filitos, xistos, contém depósitos de *Au* (CPRM, 2008). Conforme Almeida et al. (2007), o Subgrupo Andorinhas – localizado na porção leste do Cráton Amazônico – é uma das unidades mais antigas da região. Pertence aos grupos Lagoa Seca e Babaçu. É formado

dominantemente por komatilitos e basaltos toleíticos, com idades que variam de 2,97 a 2,9 Ga (Bilhão de anos).

3.3 ASPECTOS PEDOLÓGICOS DA BHRI

Os aspectos pedológicos proporcionam análise física da composição tipológica dos solos, por isso vários pesquisadores estudam os tipos de solos para diversos fins, pois o solo é um material inconsolidado que cobre parte da superfície terrestre, entre a litosfera e atmosfera, notadamente; além disso, a definição de pedologia abrange a compreensão dos suportes dos ecossistemas e das ações humanas sobre a terra, e seu estudo é imprescindível para o planejamento ambiental.

Para Queiroz Neto (1984), existe grande importância no estudo de solo na ciência geográfica, pois há relação com o ambiente social. Para Vidal-Torrado, Lepsch e Castro (2005), deve ser considerada ainda a importante aplicação do conhecimento integrado a outras disciplinas, como a ecologia, a agronomia, a economia.

Sobre a caracterização do solo, podemos perceber que ocorre uma interdisciplinaridade sobre o estudo dos solos, pois, em se tratando da pedologia como ciência que visa ao estudo do solo, sendo um sistema dinâmico, integrado aos aspectos geomorfológicos e geológicos.

Em bacia hidrográfica, é na porosidade do solo que acontece o processo de infiltração da água, dependendo fundamentalmente do tipo do solo, da cobertura vegetal, do estado de umidade, e dessa forma a granulometria das partículas sólidas determinam o espaço disponível para a percolação da água, bem como a movimentação do próprio solo (PAIVA; PAIVA, 2001).

O mapa 4 apresenta as unidades pedológicas, levantamentos elaborados pelo projeto RADAMBRASIL e EMBRAPA/Solos, permitindo dessa forma as respectivas avaliações das características na BHRI.

Os tipos de solos e suas características existentes na BHRI, segundo Santos et al. (2018) e IBGE (2015), são:

O Plintossolo contém 0.019 km², com 0,046% da área da bacia, com características de horizonte ou camada concrecionária ou litoplíntica. Com restrições ao uso agrícola. As pastagens constituem o uso mais comum.

O Latossolo contém 1.268 km², com 3,038% da área da bacia, com características que desenvolvem materiais argilosos ou areno-argilosos nos baixos platôs da região amazônica, de cor amarelada, com o teor de argila. Na Amazônia, esse tipo de solo é utilizado principalmente no cultivo de pastagem. Tem forte ocorrência no relevo plano ou suavemente ondulado, facilitando a mecanização agrícola. É distrófico por ser de baixa fertilidade, o solo é muito duro ou extremamente duro no estado seco.

O Nitossolo contém 0.697 km², com 1,687% da área da bacia; as características de solo com estrutura muito argilosa, derivados de rochas básicas e ultrabásicas. Denominava-se anteriormente de terra roxa estruturada, com baixa fertilidade para os distróficos e alta fertilidade para os eutróficos.

O Argissolo contém 30.613 km², com 73,356% da área da bacia, e vale ressaltar que esse solo está distribuído em todo o território nacional. Lembra-se que as principais restrições são relacionadas a fertilidade, pois em alguns casos, predomina a ocorrência de erosão. São solos de baixa fertilidade. Esse solo tem características devido a teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material de origem, em ambientes com boa declividade. Ocorre geralmente em áreas de relevo ondulado.

O Neossolo soma-se 9.101 km², com 21,808% da área da bacia, e as características compreendem solos rasos, com relevos mais declivosos, pouca profundidade; o uso de máquinas eleva o risco de erosão. Sua fertilidade está relacionada a presença de alumínio, sendo maior nos eutróficos e menos nos distróficos, e os teores de fósforo são baixos em condições naturais. Por fim, o Neossolo quando ocorre em relevo plano ou pouco ondulado, apresenta com textura arenosa de cor amarelada, abaixo do horizonte A, pouco escuro. Os teores (%) de matéria orgânica, fósforo e micronutrientes são poucas. A lixiviação de nitrato é constante. São solos mais apropriados a reflorestamento. Órticos não apresentam restrições ao uso e manejo.

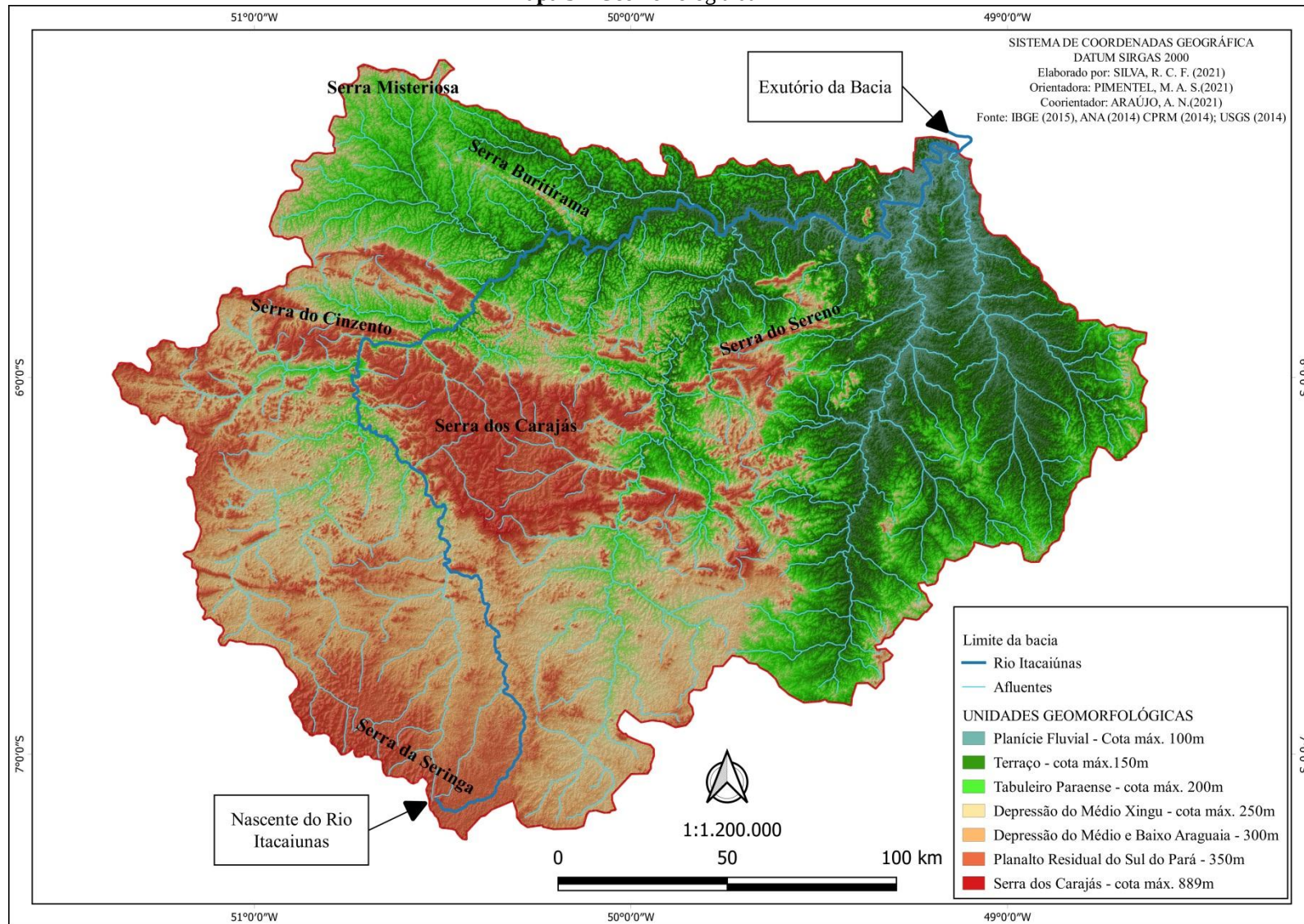
3.4 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DA BHRI

A caracterização geomorfológica das bacias hidrográficas é importante para avaliar a evolução da formação dos solos, pois com tais estudos é possível entender a formação atual do terreno, permitindo a dedução da tipologia, a intensidade dos processos erosivos, deposicionais, a distribuição e, também, a capacidade de uso do solo, associado com as características hidrometeorológicas; os dados geomorfológicos podem contribuir no entendimento dos processos de infiltração e inundações (SANTOS, 2004).

O mapa geomorfológico representa, no primeiro momento, as formas do relevo que definem as unidades mapeadas. No segundo momento, para cada uma das unidades, costuma-se descrever detalhadamente as características relativas à formação, tamanho da unidade, dinâmica atual, distribuição das vertentes, entre outras análises. Essa análise do terreno permite descrevê-lo quanto às suas fragilidades e suas potencialidades naturais, bem como quanto aos impactos das atividades humanas sobre cada unidade (SANTOS, 2004).

No mapa 5, constam as unidades geomorfológicas na área da BHRI, conforme o manual técnico de Geomorfologia do IBGE (2009) para identificação e denominação das unidades, de acordo com o mapa geomorfológicos do Pará (IBGE, 2008) e com os padrões de tipo de relevo (ROSS, 1992), com referência à hipsometria, desse recorte espacial.

Mapa 5 – Geomorfologia da BHRI



Considerando a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas, foram identificadas (mapa 4) sete unidades geomorfológicas, denominadas Planície Fluvial, Terraço, Tabuleiro Paraense, Depressão do Médio Xingu, Depressão do Médio e Baixo Araguaia, PRSP Planalto Residual do Sul do Pará e Serra dos Carajás.

A topografia que apresenta as maiores altitudes da região Sudeste do Pará tem destaque através das serras dos Carajás, Sereno, Buritirama, Cinzento e Misteriosa. Vale ressaltar que as serras dos Carajás, Cinzento e Buritirana estão localizadas nas áreas de conservação, a saber, a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, a Reserva Biológica do Tapirapé e o recém-criado Parque Nacional dos Campos Ferruginosos. Vale ressaltar que em toda essa região há aproximadamente 2.300 cavernas (HOFFMANN et al., 2018; BRASIL, 2017; SCHERER, 2017).

Nas regiões mais elevadas do canal principal da bacia, onde estão as principais nascentes, associadas à Serra da Seringa, as unidades geomorfológicas Planalto Residual do Sul do Pará (350 m), Depressão do Médio e Baixo Araguaia (300 m), Médio Xingu (250 m) e Tabuleiro Paraense (200 m) indicam forte tendência à erosão.

No médio curso da bacia, onde há maior presença da unidade com maiores altitudes, Serra dos Carajás (889 m), além dos planaltos (350 m) e depressões (300 m), ocorrem Zonas de Erosão Recuante (ZER), marcadas por reentrâncias e forte dissecação e associadas a morros e colinas pertencentes à bacia sedimentar Parnaíba.

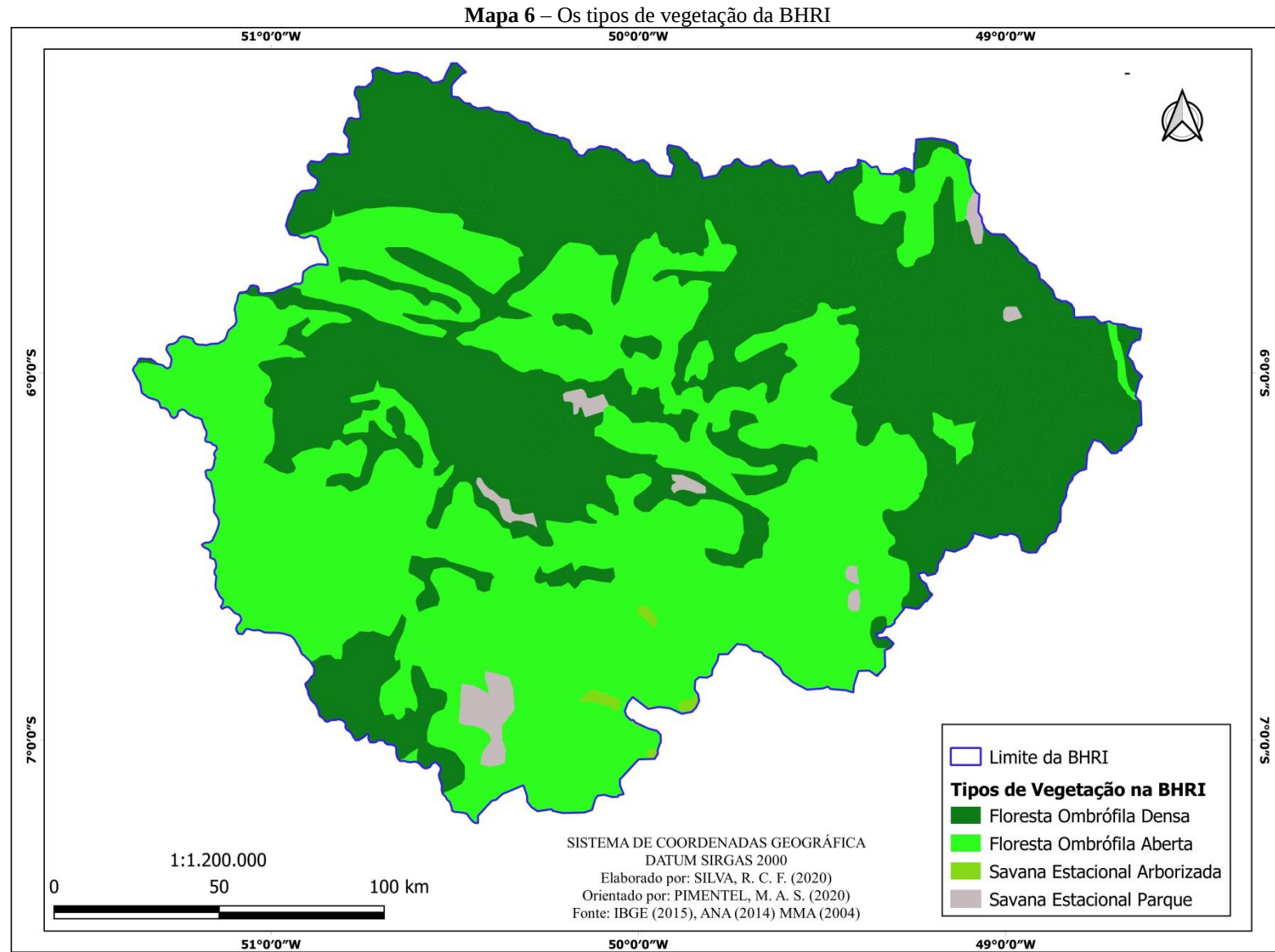
Para Castro e Carvalho (2009), quando a ZER possui agente modificador do relevo e drenagem, com o passar do tempo geológico evolui por erosão recuante, que força a dissecação das superfícies de aplainamento e gera outras superfícies aplainadas em cotas baixas. E quando uma zona de erosão recuante está associada a grandes bacias de drenagem (o caso da BHRI), pode estender-se por amplas áreas, com recuo significativo e vales com vertentes que apresentam depósitos coluviais, frequentemente com fragmentos de lateritas erodidas que foram acomodadas em porções do relevo rebaixado, modificando a paisagem naturalmente.

Nas partes mais rebaixadas da bacia encontram-se as planícies fluviais, terraço e tabuleiro paraense, com variação de 80 a 200 metros de altitude, e essas áreas contribuem topograficamente para a intensificação dos processos hidrossedimentológicos: de infiltração, acúmulos de sedimentos e inundações.

3.5 ASPECTOS VEGETATIVOS DA BHRI

Com relação à vegetação, essa tem como função defender as unidades ecodinâmicas, resistindo aos processos modificadores do relevo e evitando o impacto direto das gotas de chuva no terreno, provocando o efeito *splash*, que resulta na ruptura dos agregados de solo pelas gotas d'água da chuva. Desse modo, a vegetação permite maior capacidade de infiltração nos solos, menor energia potencial da precipitação pluviométrica e energia cinética sob a forma de escoamento d'água superficial (CREPANI, 2001 apud ARAÚJO, 2019).

O mapa 6 apresenta o tipo de vegetação na BHRI, com dados vetoriais do Ministério do Meio Ambiente na escala de 1:2.500.000, provenientes do projeto de levantamento do ano de 2004. O perímetro da bacia está contido no domínio amazônico, e sua vegetação predominante é a floresta de terra firme, representada por quatro tipos de vegetação: floresta ombrófila aberta, ombrófila densa, savana estacional arborizada e savana estacional parque.



Segundo Veloso (1991), Cruz (2010), IBGE (2012) e MMA (2014), as características da vegetação na área da bacia, conforme cada tipologia, são:

A floresta ombrófila densa possui 20.142 km², referentes a 48,26% da bacia. Essa densa vegetação arbustiva tem tipologia vegetal que varia conforme a latitude, clima e ambiente, nas áreas de montana, submontana e terras baixas, com tipos de vegetação caracterizados sempre de cor verde, com dossel das árvores de até 50 metros de altura na Amazônia.

Por sua vez, a floresta ombrófila aberta, com 20.980 km² (50.27%), muitas vezes presente nas áreas de transição da floresta Amazônica, com sua principal faciação florística na região da bacia pelas matas de cocaís e cipó, está presente na maior parte da bacia, nas serras, terraços e planícies.

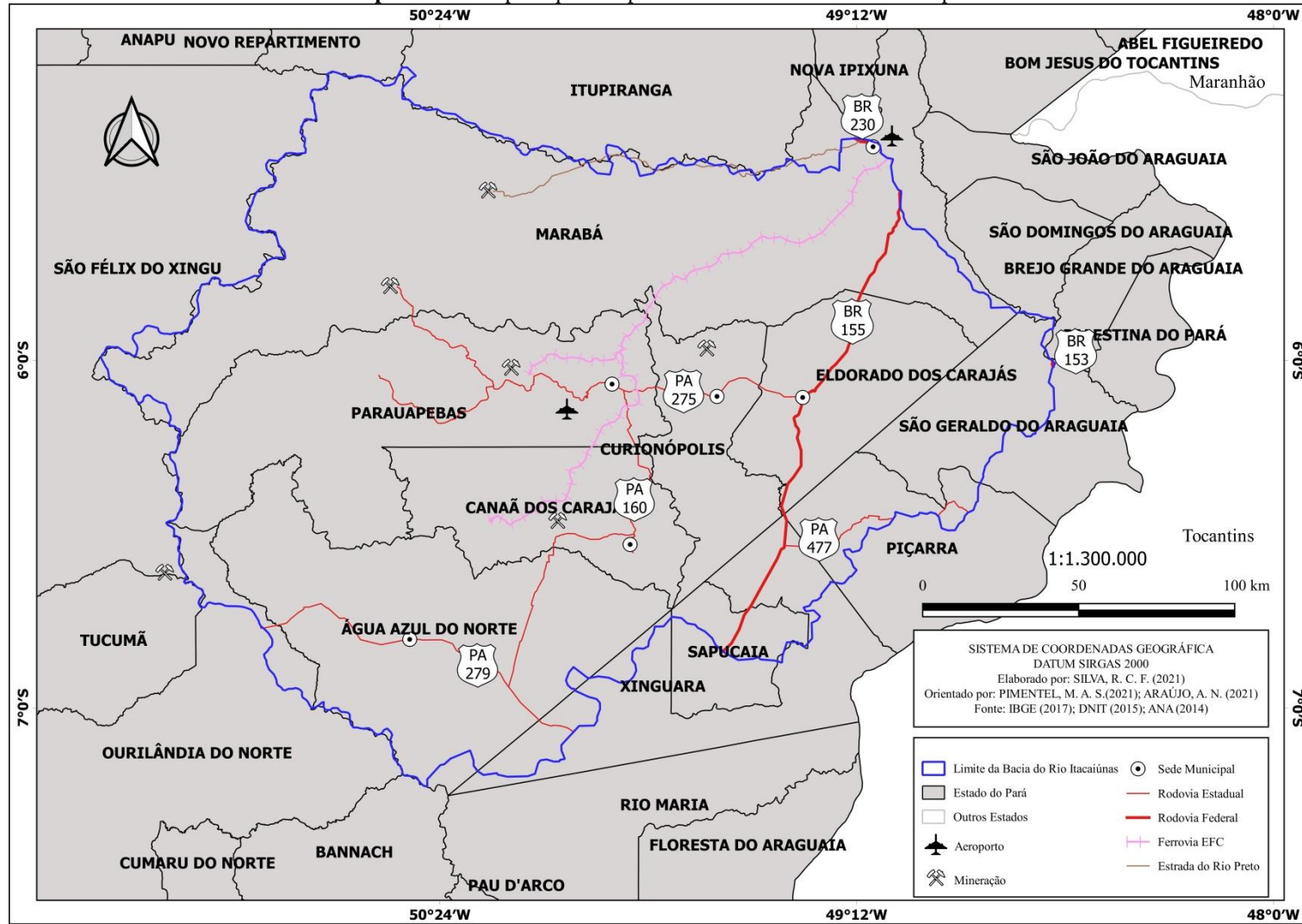
A savana estacional arborizada de 0.090 km² (0,216%) é caracterizada pelo campo/serrado. Essa vegetação é definida como xeromorfa de clima estacional (aproximadamente 6 meses secos), também em clima ombrófilo, com ocorrência por toda a Zona Neotropical.

A savana parque de 0.519 km² (1,244%) é formada de subgrupos de formação constituída por estratos de gramínoídes, integrados por hemícriptófitos e geófitos de florística natural ou antropizada.

3.6 BHRI: OS ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

A bacia hidrográfica em questão abrange 18 municípios (mapa 7) do estado do Pará (Bannach, Brejo Grande do Araguaia, Itupiranga, Novo Repartimento, São Domingos do Araguaia, São Félix do Xingu, Tucumã, Marabá, Parauapebas, Curionópolis, Canaã dos Carajás, Água Azul do Norte, Eldorado dos Carajás, São Geraldo do Araguaia, Piçarra, Ourilândia do Norte, Xinguara, Sapucaia).

Mapa 7 – Municípios que compõem a BHRI e suas sedes municipais



Fonte: Adaptado do IBGE (2017); DNIT (2015); ANA (2014).

Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2021).

Conforme visto no mapa 7, apenas uma pequena parte de alguns municípios citados está dentro da BHRI, já que nos de menor extensão territorial estão as cabeceiras dos canais de primeira ordem; também se pode perceber que, dos 18 municípios, apenas 6 têm suas sedes municipais dentro do perímetro da bacia. Para mais detalhes, serão analisadas as tabelas e gráficos no próximo tópico.

Com relação à infraestrutura, na área da bacia nota-se a existência de dois aeroportos (Aeroporto de Marabá “João Correa da Rocha” e Aeroporto de Parauapebas) e a ferrovia EFC, que faz o escoamento do minério pela empresa Vale S.A. do complexo Mineral de Carajás para o porto de Itaqui, em São Luís, no estado do Maranhão, abastecendo navios para exportação. Além disso, pela área da bacia também passam duas estradas federais (BR-230, Rodovia Transamazônica) e quatro rodovias estaduais que ligam os municípios da região.

Vale ressaltar que a ferrovia é administrada pelo grupo VALE, que um dia foi uma empresa estatal (CVRD) e agora é uma multinacional brasileira e uma das maiores mineradoras do mundo, tendo a mineração como atividade principal, que também extrai minério de ferro, cobre e níquel no estado do Pará (SILVA, 2001; VALE, 2015).

3.6.1 Dados populacionais da BHRI

Nesta seção são utilizados os dados demográficos do censo realizado pelo IBGE, possibilitando análise qualiquantitativa dos aspectos populacionais e socioeconômicos presentes na área da BHRI.

Mediante a análise dos dados populacionais, nota-se a grande importância no entendimento sobre as populações, sua distribuição, atividades econômicas e modos de ocupação do espaço, e dessa forma as fontes de dados demográficos são de igual importância como instrumentos de pesquisa, objetivando tomadas de ação de políticas públicas para melhorar a qualidade de vida dos povos (MAGALHÃES, 2015).

Os dados populacionais são apresentados na tabela 6, em que constam municípios, área dos municípios, área dos municípios dentro da BHRI, população total dos municípios, densidade demográfica e estimativa da população dentro da bacia, o que possibilita analisar da seguinte maneira essa população:

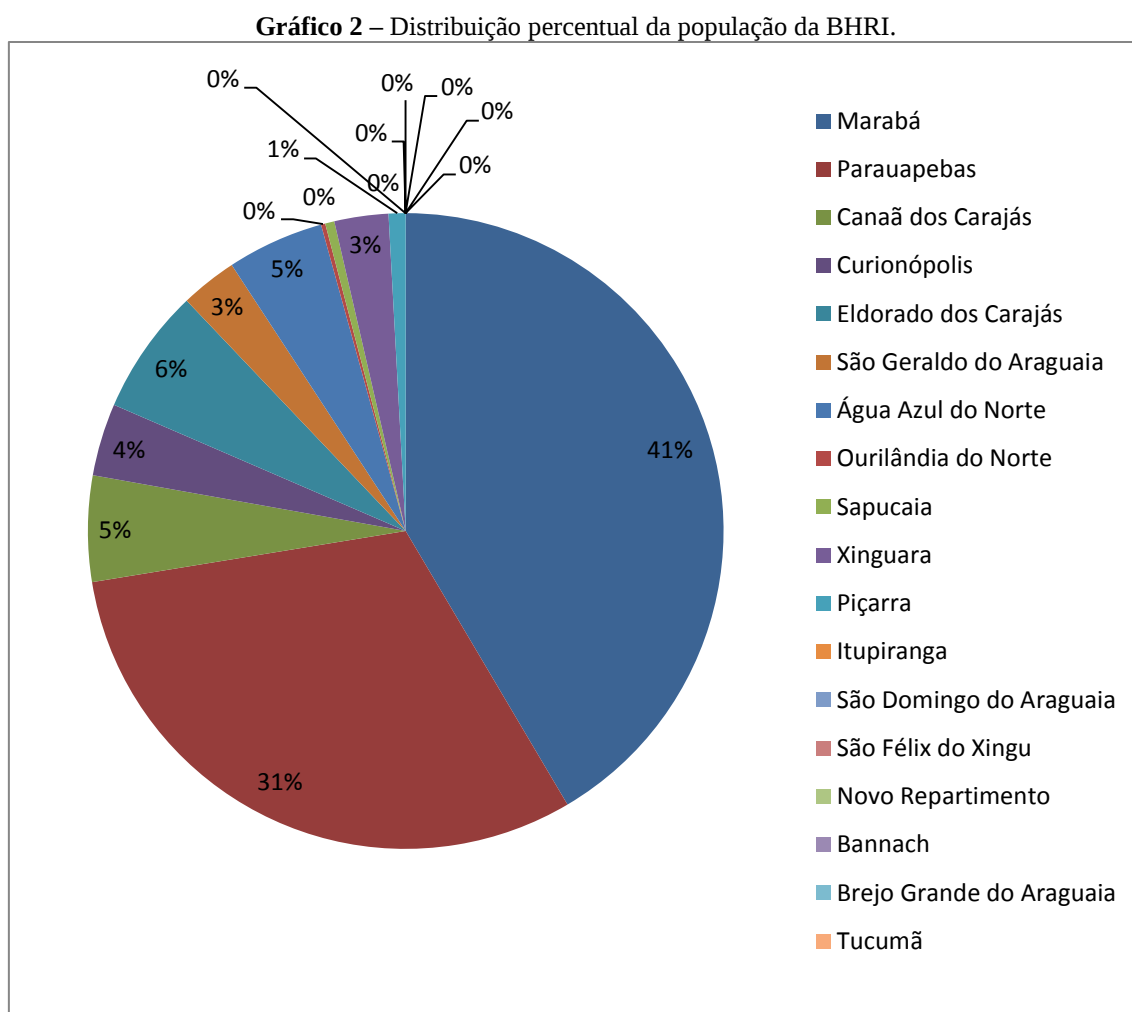
Tabela 6 – Área e população dos municípios da BHRI

Municípios	Área do Município (km ²)	Área do Município na BHRI (km ²)	População Total do Município 2010 ⁵ /2019 ⁶	População ⁷ 2010 – 2019 hab/km ²	Estimativa da população na BHRI/Hab 2010 / 2019
Marabá	15.302	13.486,0	233.669 / 279.349	15,27 / 18,25	205.940 / 246.200
Parauapebas	6.971	6.952,0	153.908 / 208.273	22,07 / 29,87	153.490 / 207.71
Canaã dos Carajás	3.188	3.188,0	26.716 / 37.085	8,38 / 11,63	26.716 / 37.085
Curionópolis	2.398	2.398,0	18.288 / 17.929	7,62 / 7,47	18.288 / 17.929
Eldorado dos Carajás	2.993	2.993,0	31.786 / 33.808	10,62 / 11,29	31.786 / 33.808
São Geraldo do Araguaia	3.208	1.793,0	25.587 / 24.847	7,97 / 7,74	14.300 / 13.890
Água Azul do Norte	7.211	7.037,0	25.057 / 27.430	3,47 / 3,80	24.450 / 26.770
Ourilândia do Norte	14.681	0.575,0	27.359 / 32.832	1,86 / 2,23	1.070 / 1.290
Sapucaia	1.316	0.605,0	5.047/ 5.930	3,83 / 4,50	2.320 / 2.730
Xinguara	3.832	1.287,0	40.573 / 44.751	10,57 / 11,67	13.630/ 15.030
Piçarra	3.356	1.131,0	12.697/ 12.981	3,78 / 3,86	4.280 / 4.370
Itupiranga	7.964	0.110,0	51.220/ 53.355	6,43 / 6,70	0.707/ 0.737
São Domingos do Araguaia	1.409	0.009,0	23.130/ 25.753	16,42 / 18,28	0.148/ 0.164
São Félix do Xingu	85.465	0.158,0	91.340/ 132.138	1,07 / 1,55	0.169/ 0.244
Novo Repartimento	15.549	0.003,0	62.050/ 77.214	3,99 / 4,96	0.012/ 0.015
Bannach	3.001	0.000,4	3.431/ 3.262	1,14 / 1.09	0.000/ 0.000
Brejo Grande do Araguaia	1.303	0.003,0	7.317/ 7.368	5,62 / 5,66	0.017/ 0.017
Tucumã	2.547	0.004,0	33.651/ 38.508	13,22 / 15,12	0.053/ 0.060
Total	181.694	41.732	872.826 / 1.062.813	4,80 / 5,85	497.376 / 608.049

Fonte: Adaptado do IBGE (2010, 2019).**Elaborado por:** SILVA, R. C. F. (2021).⁵ Censo do IBGE 2010.⁶ Estimativa do IBGE 2019.⁷ Densidade demográfica – IBGE 2010.

Do total dos habitantes dos municípios que envolvem a BHRI, 57,21% estão na área da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas.

A distribuição da população na BHRI está apresentada, percentualmente, no gráfico 2, que mostra o percentual de cada município que compõe a bacia em questão.



Fonte: IBGE (2010)

Elaborado Por: SILVA, R. C. F. (2021).

Conforme se pode observar no gráfico 2, o maior número de habitantes encontra-se nos municípios de Marabá e Parauapebas, com 41% e 31% dos habitantes, respectivamente. O fato de esses municípios estarem no baixo e médio curso da bacia, além de outros fatores, define a consolidação da localização geográficas desses municípios.

Para Rodrigues (2010), o município de Marabá possui uma centralidade urbana na região Sudeste paraense, pois é uma característica de cidade média, que tem como função atender às demandas por comércio e serviços procurados pelos municípios

menores circunvizinhos. Por outro lado o município de Parauapebas, conforme IBGE (2020) e Silva e Lima (2017), nasceu de um conturbado processo de ocupação na década de 1980, pois de um lado havia a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), explorando o ferro na região, e por outro lado havia a exploração de ouro na Serra Pelada pelos garimpeiros, o que, dessa forma, acelerou o fluxo migratório que deu origem ao município de Parauapebas, que atualmente tem como base econômica o comércio e, principalmente, a mineração, exercida pela empresa Vale S.A.

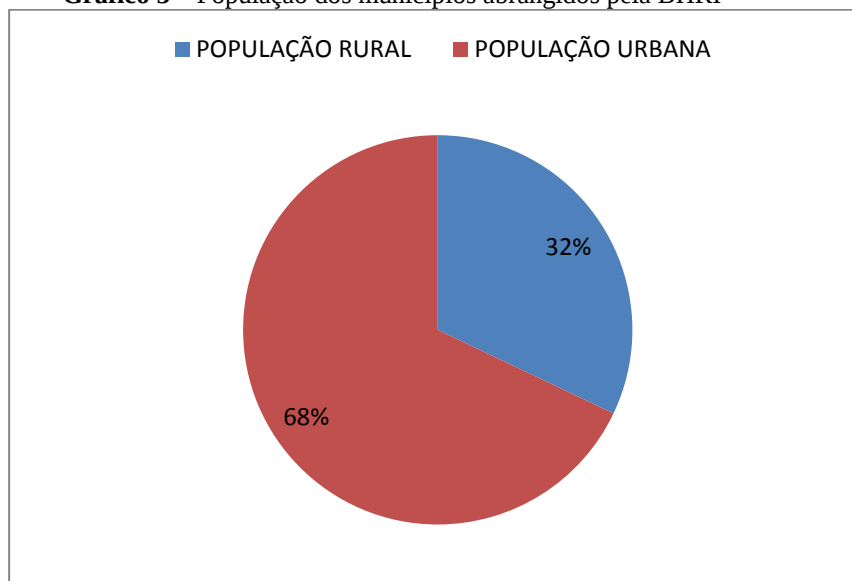
Algo que esses dois municípios têm em comum é a especulação de progresso promovida pelos projetos de grandes empresas, que especulam muitos postos de trabalho e, com isso, atraem diversos migrantes para a região, provocando a expansão urbana, acelerando as ocupações, ora planejadas, em loteamentos pouco acessíveis economicamente, ora desordenadas, quando ocorrem as ocupações em áreas não destinadas a moradia, por exemplo, próximo dos rios, em áreas susceptíveis a inundações e alagamentos.

Os dados do IBGE, Censo de 2010, organizados na tabela 7 e gráfico 3, mostram a diferença de distribuição populacional urbana e rural na BHRI, indicando menor percentagem para habitações tradicionais de regiões agrícolas.

Tabela 7 – População Urbana e Rural dos municípios que compõem a BHRI

Municípios	Total de Habitantes	População Urbana	População Rural	Percentagem População Urbano (%)	Percentagem População Rural (%)
Marabá	233.669	186.270	47.399	79,00%	21,00%
Parauapebas	153.908	138.690	15.218	90,00%	10,00%
Canaã dos Carajás	26.716	20.727	5.989	77,00%	23,00
Curionópolis	18.288	12.530	5.758	68,00%	32,00%
Eldorado dos Carajás	31.786	16.578	15.208	52,00%	48,00%
São Geraldo do Araguaia	25.587	13.590	11.997	90,00%	10,00%
Água Azul do Norte	25.057	4.876	20.181	19,00%	81,00%
Ourilândia do Norte	27.359	19.913	7.446	72,00%	28,00%
Sapucaia	5.047	3.325	1.722	65,00%	35,00%
Xinguara	40.573	31.492	9.081	77,00%	23,00%
Piçarra	12.697	3.581	9.116	28,00%	72,00%
Itupiranga	51,220	20.478	30.742	40,00%	60,00%
São Domingos do Araguaia	23.130	15.262	7.868	66,00%	34,00%
São Félix do Xingu	91.340	45.134	46.206	49,00%	51,00%
Novo Repartimento	62.050	28.065	33.985	45,00%	55,00%
Bannach	3.431	1.284	2.147	37,00%	63,00%
Brejo Grande do Araguaia	7.317	4.320	2.997	59,00%	41,00%
Tucumã	33.651	26.862	6.789	80,00%	20,00%
Total	872.826	592.977	279.849	68,00%	32,00%

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).**Elaborado por:** SILVA, R. C. F. (2020).

Gráfico 3 – População dos municípios abrangidos pela BHRI

Fonte: Adaptado do IBGE (2010).

Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2021).

Duas questões normalmente explicam esse fenômeno: primeiramente, a maior quantidade de oportunidades de prosperar nos centros urbanos, com expectativas de melhorar as condições de vida; por outro lado, a queda de produtividade agrícola e a falta de instabilidade das condições de trabalho e economia no campo.

Nota-se ainda que a BHRI abrange áreas urbanas e rurais, que, conforme o IBGE (2017), utilizando conceitos centrais da geografia para caracterizar os espaços urbanos e rurais, possuem características diversas, com funções socioespaciais heterogêneas que se interligam, indo além da delimitação e função econômica de espaços até a difusão do modo de vida urbano e rural. Portanto, além dos critérios de números populacionais, os espaços urbanos são definidos conforme a integração de atividades econômicas, sociais e culturais desempenhadas nas sedes dos municípios, enquanto os espaços rurais são as áreas não ocupadas pelas cidades ou adensamentos populacionais, onde as maiores partes das atividades produtivas estão relacionadas com o extrativismo, pecuária e agricultura.

Dessa forma, as bacias hidrográficas situadas em áreas rurais apresentam extensas áreas de cultivo ou pastagens, de que podem resultar alterações no comportamento hidrológico em função da alteração da cobertura vegetal; por sua vez, o solo exposto aumenta as perdas devido à evaporação direta, gerando perda de umidade dos solos (TUNDISI, 2006).

Enquanto as bacias hidrográficas em área urbana sofrem com o crescimento desordenado e sem planejamento da populacional, com novas áreas sendo ocupadas,

aumentando a impermeabilização do solo pela pavimentação das ruas e lotes, na mesma proporção ocorre o crescimento de geração de esgotos domésticos, de efluentes industriais, de resíduos sólidos e emissão de poluentes atmosféricos (FINOTTI et al., 2009).

3.6.2 Produto Interno Bruto dos municípios na BHRI

O Produto Interno Bruto (PIB) é obtido pela somatória dos valores dos bens e serviços produzidos (país, estado ou município). Dessa forma, o PIB pode ser um indicador utilizado na economia com o intuito de quantificar a economia gerada pelos seguimentos econômicos principais, setor produtivo, setor de indústria, comércio e serviços em um dado período de tempo. Dessa forma, o PIB per capita corresponde à soma dessa produção dividida pela quantidade de habitantes dessa região (IBGE, 2020).

Arelado ao crescimento econômico das regiões Sul e Sudeste do Pará, alguns dos municípios que compõem a BHRI têm participação no crescimento econômico do interior do estado. Destaca-se, primeiramente, o município de Parauapebas, que, conforme a tabela 8 apresenta os maiores valores, principalmente, em relação ao PIB arrecadado (R\$ 18.431.904,40), PIB industrial (R\$ 13.038.687,57), seguido por seu PIB de serviços (R\$ 3.418.148,69); somente é superado pelos municípios de Canaã dos Carajás com PIB Per capita (R\$ 113.457,46) e Marabá com PIB Agropecuário (R\$ 376.519,42).

A tabela 8 apresenta os dados do PIB dos municípios abrangidos pela BHRI.

Tabela 8 – PIB dos municípios da BRHI (2017)

Municípios	PIB (2017) (x 1000) R\$	PIB Per capita (R\$)	PIB Agropecuário (x 1000) R\$	PIB Industrial (x 1000) R\$	PIB Serviços (x 1000) R\$
Parauapebas	18.431.904,40	91.086,52	195.210,98	13.038.687,57	3.418.148,69
Marabá	8.596.000,28	31.650,18	376.519,42	3.559.115,24	2.725.807,47
Canaã dos Carajás	4.087.531,91	113.457,46	65.250,27	2.841.821,97	722.988,21
Xinguara	1.217.202,50	27.962,38	119.681,90	342.926,62	392.758,70
Curionópolis	859.809,18	49.264,26	65.819,18	546.174,28	138.798,66
Ourilândia do Norte	540.247,22	16.924,51	49.930,62	96.580,77	177.147,48
Água Azul do Norte	442.902,06	16.599,28	147.164,65	101.880,71	51.210,84
São Geraldo do Araguaia	441.431,19	18.250,01	112.091,31	65.341,25	121.101,91
Eldorado dos Carajás	359.313,28	10.924,03	92.792,85	30.119,08	88.532,51
Piçarra	200.749,38	15.892,13	100.441,09	11.776,83	29.532,63
Sapucaia	107.989,94	18.728,74	34.450,54	6.213,72	29.862,62
Itupiranga	560.443,38	10.812,06	211.096,56	39.666,88	106.998,73
São Domingos do Araguaia	272.450,23	10.959,82	71.637,24	16.054,61	77.258,05
São Félix do Xingu	1.392.878,26	11.160,00	514.908,87	156.082,87	260.161,42
Novo Repartimento	839.945,57	11.381,07	271.565,13	31.847,06	201.277,67
Bannach	76.464,94	23.895,29	47.504,47	1.400,26	8.218,16
Brejo Grande do Araguaia	80.573,12	11.218,76	27.151,65	3.651,51	16.833,66
Tucumã	757.450,02	19.669,94	92.515,13	135.289,87	286.500,60

Fonte: Adaptado do IBGE (2017)

Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2020).

Analizando os dados, percebe-se que o PIB não é o total de riqueza dos municípios, pois, além dos valores arrecadados e produzidos em um determinado lugar e tempo, muitas vezes esses não são os mesmos indicadores de desenvolvimento e distribuição adequada dos recursos e serviços essenciais para uma melhor qualidade de vida da população.

4 ANÁLISE MORFOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITACAIUNAS PARA ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

O estudo de bacia hidrográfica, em especial sobre as dimensões da bacia na superfície terrestre, vem sendo mais prático e preciso, graças ao avanço das geotecnologias no campo do sensoriamento remoto, sem dispensar as coletas de dados em campo. Para Souza et al. (2002), Silva et al. (2018) e Silva (2018), a análise de bacia hidrográfica é de fundamental importância para o entendimento do comportamento hidrológico em função de suas características ambientais, além da ação antrópica de uso e ocupação do solo e da terra.

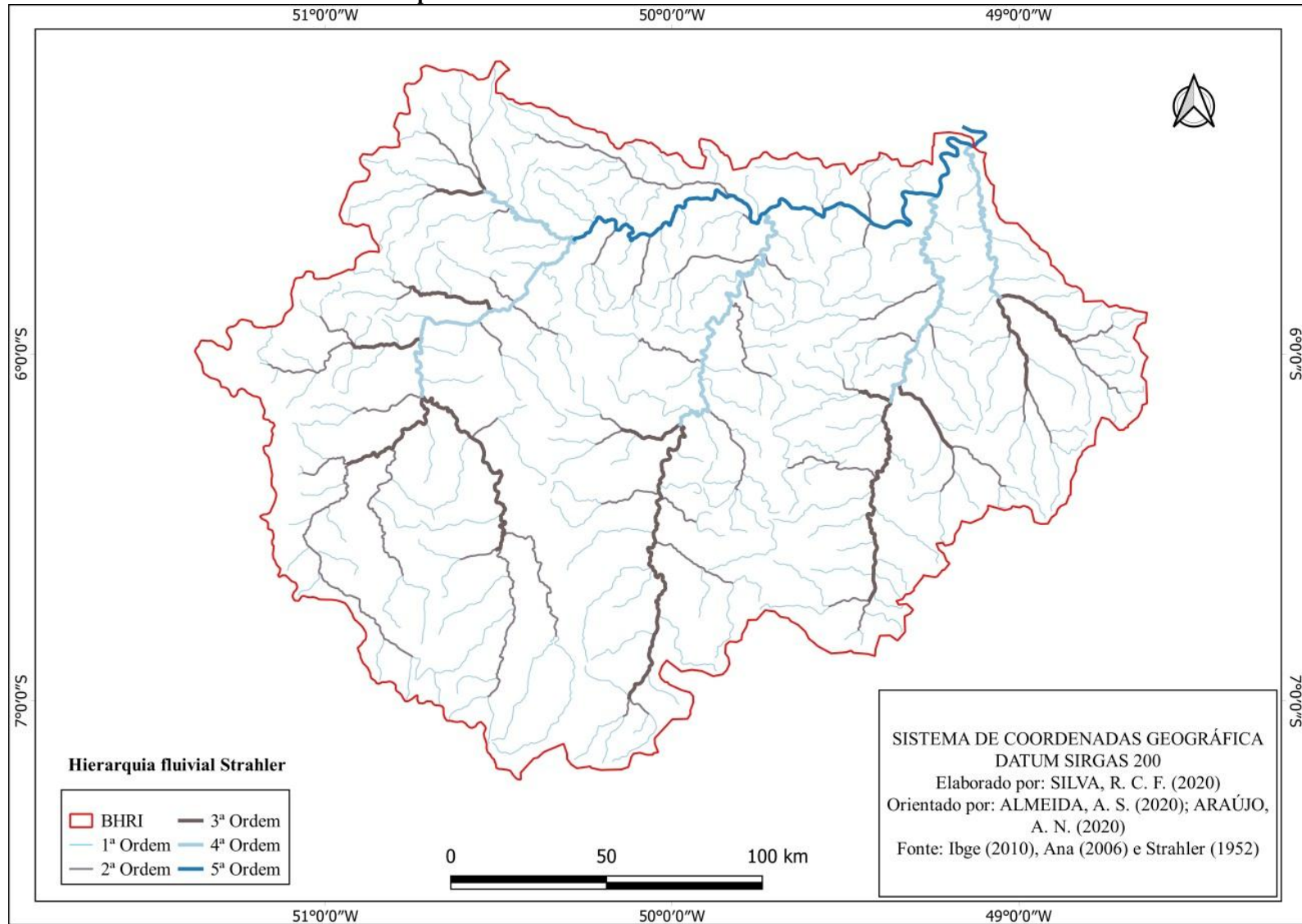
Os levantamentos de dados quantitativos sobre bacia podem levar a uma melhor compreensão do cenário atual da paisagem estudada, por meio da estimativa de alguns parâmetros físicos comparados pelos autores, como: coeficiente de compactidade (K_c); fator de forma (K_f); índice de circularidade (I_c); altitude, amplitude da bacia, ordem, densidade de drenagem (D_d), densidade de hidrografia (D_h), relação de bifurcação, coeficiente de manutenção, classificação do relevo, índice de rugosidade e sinuosidade (CHRISTOFOLETTI, 1969, 1980; EMBRAPA, 1979; VILLE; MATTOS, 1975; ANDRADE et al., 2009; ARAÚJO et al., 2017; CARDOSO et al., 2006; CARVALHO; SILVA, 2016; CASTRO; CARVALHO, 2009; SILVA et al., 2018; SOUZA, 2002).

4.1 COMPARTIMENTAÇÃO DA BHRI A PARTIR DA HIERARQUIA DOS CANAIS, HIPSOMETRIA E DECLIVIDADE

Sobre a compartimentação da BHRI em baixo, médio e alto curso para auxiliar na análise dos processos de drenagem por setorização, conforme as diferenças de altitude, utiliza-se o canal principal da bacia como base para identificar os três segmentos, relacionados aos processos hidrológicos e de ocupação de bacia hidrográfica, sendo possível a análise da “relação entre o perfil longitudinal do rio principal, declividade, hipsometria e a influência geomorfológica na área de estudo”, além da hierarquia da rede de drenagem (FRANÇA, 2019, p. 6).

A rede fluvial de drenagem da BHRI foi classificada segundo a hierarquia de Strahler, pois este sistema hierárquico, segundo Tucci (2004), foi uma modificação do método de Horton. Dessa forma, foram apuradas as informações necessárias para analisar o ordenamento dos canais na bacia em questão (mapa 8, tabelas 9), dando

subsídios para a interpretação dos dados com intuito de chegar ao real entendimento das condições fluviomorfológicas na BHRI.

Mapa 8 – Ordenamento dos canais na Bacia do Rio Itacaiunas

Fonte: Adaptado do IBGE (2010); ANA (2006); STRAHLER (1952).

Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2020).

Durante a análise da hierarquia da bacia, verificou-se que a BHRI possui padrão de drenagem que varia de dendrítica a radial, sendo encontrados, principalmente a partir da modificação da drenagem em dendrítica, uns de aspecto arredondado (CHRISTOFOLETTI, 1980). Com a análise do sistema de drenagem da BHRI, verificou-se que a mesma possui canais de quinta ordem, conforme a classificação de Strahler (1952), o que demonstra que a bacia possui um sistema de drenagem de grande ramificação.

A tabela 9 apresenta o sistema de drenagem e relação de bifurcação da BHRI.

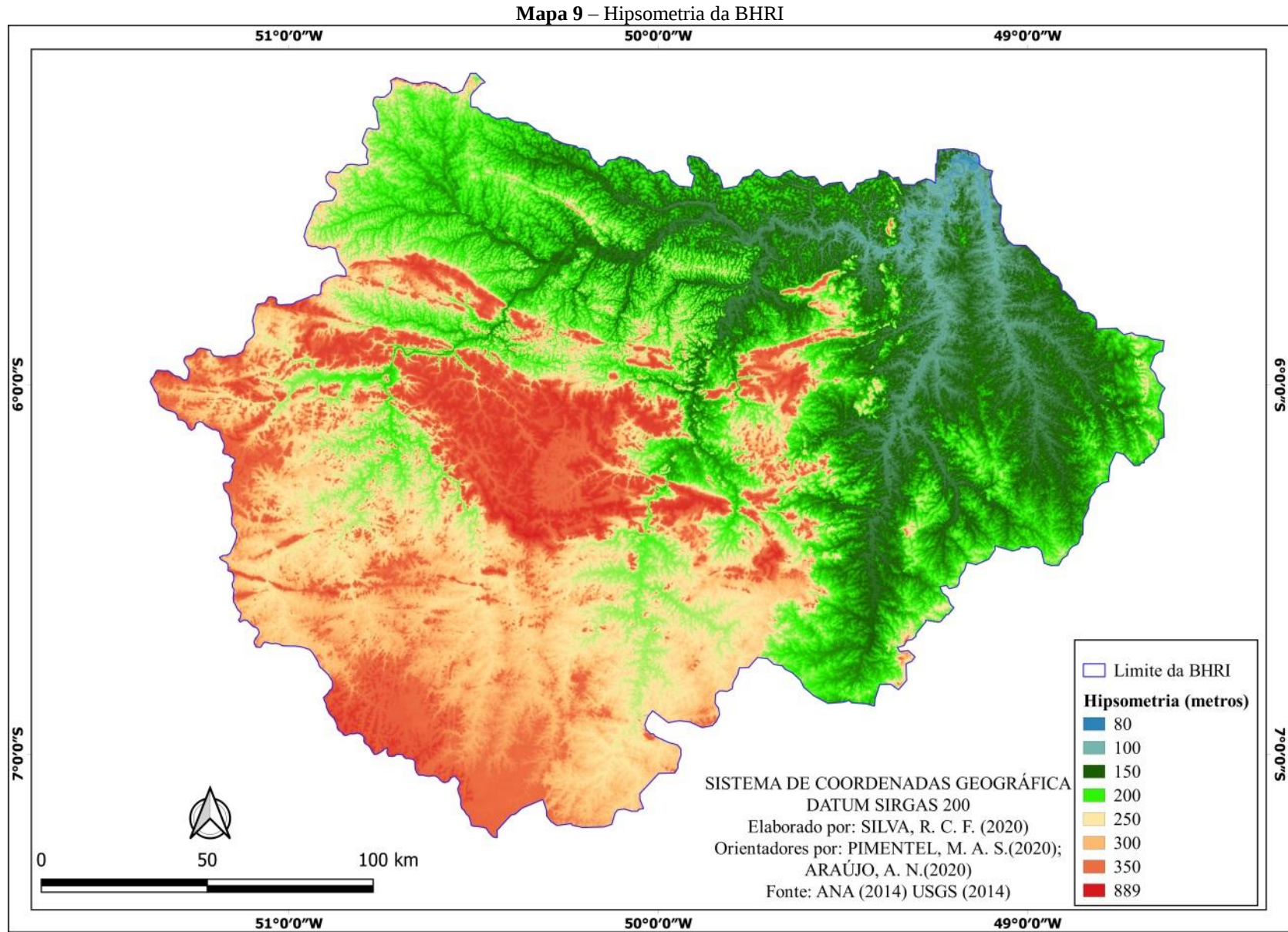
Tabela 9 – Sistema de Drenagem e Relação de bifurcação da BHRI

Ordem dos canais	N.º de Canais	Comprimento dos Canais (km)	Rb
1ª	242	4.339,34	
2ª	57	1.130,28	4,2456
3ª	13	520,93	4,3846
4ª	4	447,22	3,25
5ª	1	201,93	4
Total	317	6.639,70	Média = 3,97005

Fonte: Elaborado Por: SILVA, R. C. F.

A relação média de bifurcação, segundo Horton (1945), mostra que os índices mais elevados indicam a substratos rochosos, favorecendo a menor infiltração de água pluvial e maior escoamento superficial, enquanto os índices menores indicam maior permeabilidade e menor escoamento superficial, ficando a variação normal de 3,0 a 5,0. O estudo da hipsometria é importante, pois determina as diferenças de altitude conforme as diferenças das cores, que variam de frias para quentes, além de possibilitar a identificação dos tipos de relevo: divisores de água, talwegues, planícies, morros e serras.

A hipsometria em SIG normalmente utiliza imagens de radar em tons de cinza para classificação das cores conforme as unidades geomorfológicas (MARCUIZZO et al., 2011; IBGE, 2008). No mapa 9, consta a hipsometria na BHRI para estudo da variação topográfica da área estudada.



Fonte: Adaptado do USGS (2014); ANA (2014).

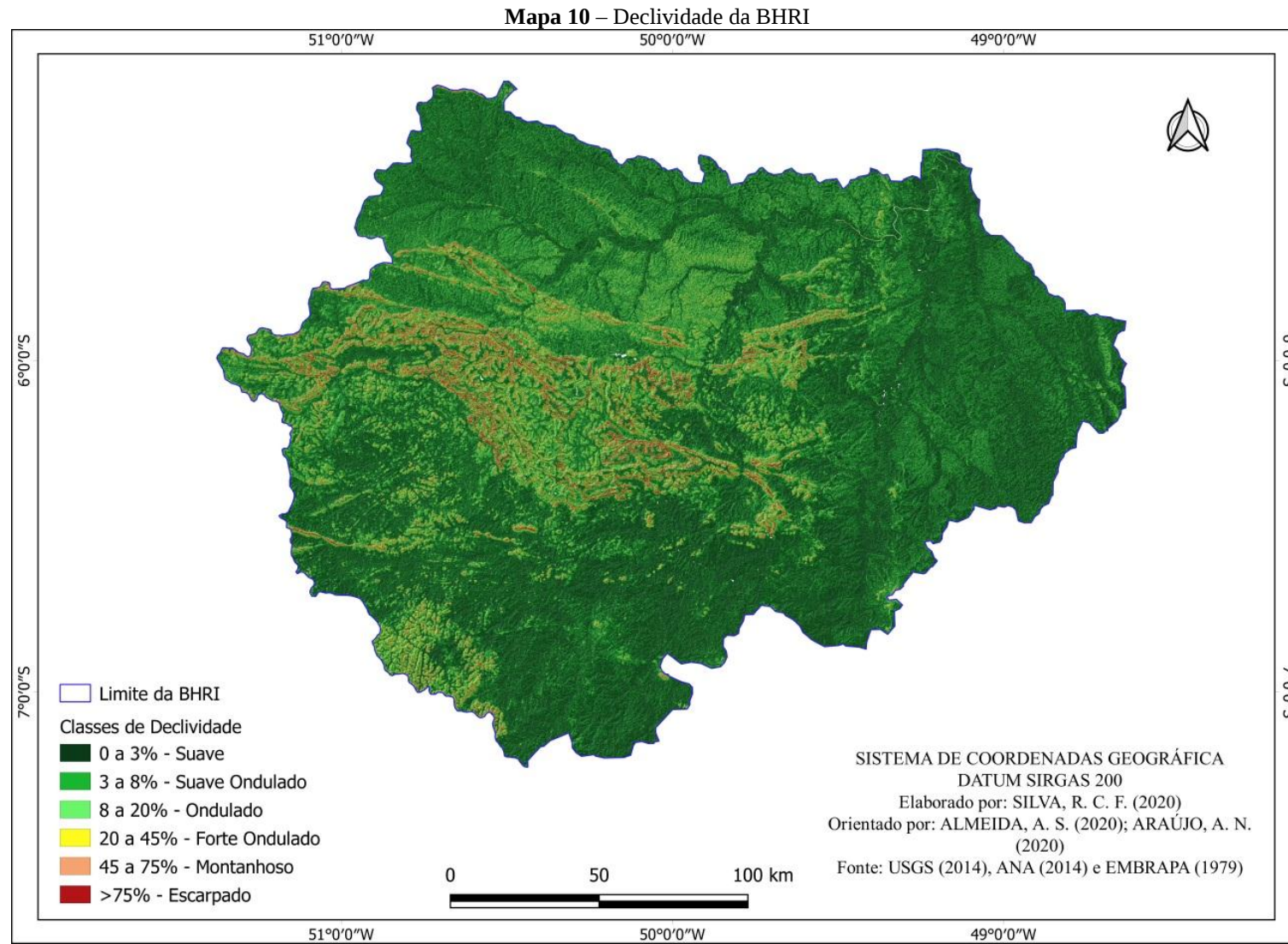
Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2020).

O mapa 9 apresenta a variação das cotas altimétricas delimitas pela bacia, com uma variação de 80 metros na foz até 889 metros de altitude dos pontos mais altos.

Os divisores d'águas são os picos de elevações que separam a drenagem nas bacias, graças aos dados obtidos pelas análises morfométricas por meio de MDE (Modelo Digital de Elevação), em especial as imagens SRTM, que proporcionam dados confiáveis sobre a topologia. Identificam-se também os canais rasos, além dos talwegues, que são as passagens mais profundas de um vale ou rio (GUEDES et al., 2006; MARCUZZO et al., 2011).

Aqui podemos entender que a declividade é muito importante para a modelagem do escoamento superficial, pois a velocidade de fluxo d'água depende desta variável, que pode ser determinada por vários métodos. De forma geral, consiste na razão entre a diferença das altitudes dos pontos extremos (mais altos) de um curso d'água e o comprimento desse curso d'água, a qual pode ser expressa em % (percentagem) ou m/m (metro por metro) (PAIVA, 2001).

O mapa 10 mostra a declividade da BHRI, classificada conforme os parâmetros da EMBRAPA.



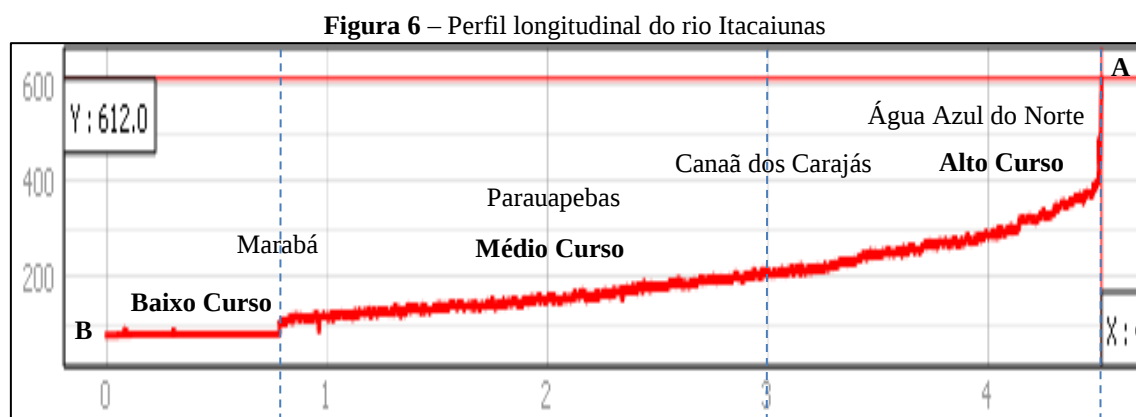
Fonte: Adaptado do USGS (2014); ANA (2014); EMBRAPA (1979).

Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2021).

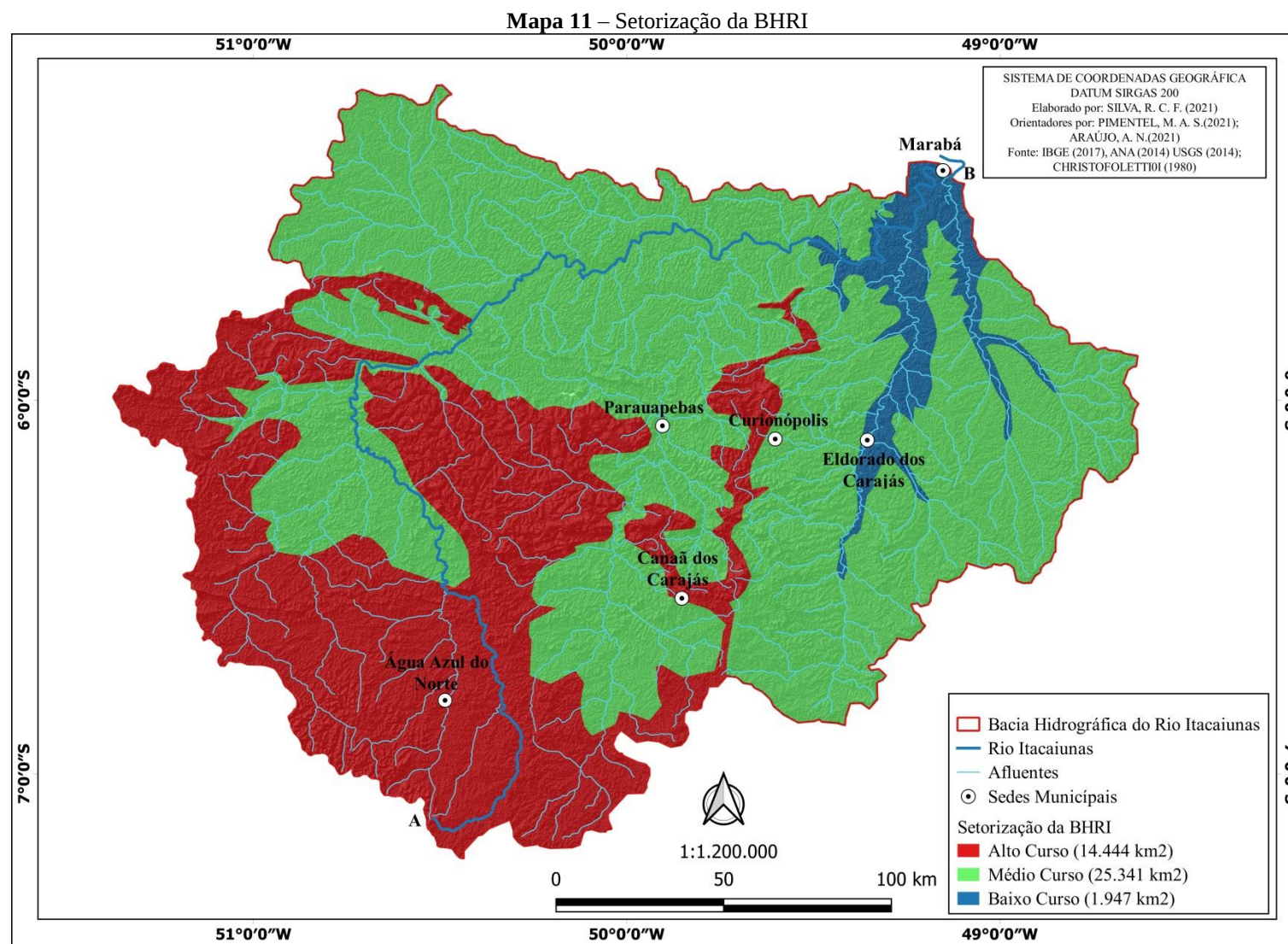
Observando-se a distribuição de declividades na bacia em questão, conforme a classificação da EMBRAPA (1979), aproximadamente 60% da área da bacia apresentam declividade entre 0 a 20%, entre relevo suave a relevo ondulado. Por outro lado, cerca de 40% da área da bacia apresentam declividade entre 20 a 75%, variando de relevo fortemente ondulado a montanhoso, até algumas frequências de relevo escarpado. Os valores mais baixos estão presentes nas áreas de planície e destinadas à pecuária, enquanto os valores mais altos se apresentam na região da Serra dos Carajás, área topograficamente acentuada.

Tendo como base os procedimentos de compartimentação de Christofolletti (1980), explicam-se as variações de elevação ao longo dos perfis fluviais, podendo estar associados a três seguimentos: superior, área de coleta de água e erosão; intermediária, área de transição entre os seguimentos superior e inferior; inferior, área de deposição.

Para alcançar esses dados (figura 6 e mapa 11), foi traçado o perfil longitudinal do canal principal da BHRI, sendo também necessária a rede de drenagem da bacia para identificação do talvegue raso no alto curso.



Fonte: Elaborado Por: SILVA, R. C. F. (2021).



Fonte: Adaptado de IBGE (2017); USGS (2014); ANA (2014); CHRISTOFOLETTI (1980).

Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2021).

Analisando o perfil longitudinal, foi possível notar a estrutura do rio Itacaiunas, que se caracteriza pela concavidade, percorrendo mais de 479,70 km até desaguar no rio Tocantins. Quanto à trajetória do rio Itacaiunas, percebe-se a variação geomorfológica, em região de Serras, entrando em contato com uma superfície das depressões Médio e Baixo Araguaia e Médio Xingu, Tabuleiros Paraenses, Terraços e Planície Fluvial.

Na BHRI, percebe-se que, de montante a jusante, o rio Itacaiunas apresenta processos, dentre eles: aumento da largura e profundidade e aumento dos sedimentos que são transportados (carga detrítica).

A setorização da BHRI (mapa 11) foi realizada em três compartimentos: alto (34,6%), médio (60,7%) e baixo curso (4,7%). Por meio da observação e análise do perfil longitudinal associado à interpretação do relevo das imagens SRTM, foi possível elaborar o mapa com os três setores quantificados.

Primeiramente, o setor do alto curso da BHRI localiza-se em áreas com cotas acima de 200 metros, pois nesses locais as drenagens nascem em altitudes elevadas com declives bastante acentuados, resultando em velocidades mais expressivas nas vertentes da Serra dos Carajás (mapa 9), com picos altimétricos de 889 metros. O fator determinante nesse compartimento é a erosão. Segundo França (2019, p. 7), no alto curso de bacia hidrográfica, “por estar em áreas bastante declives, o poder de incisão das drenagens se torna mais eficaz, caracterizando ambientes com presença de grandes blocos de rochas”.

Dessa forma, nota-se que o médio curso se localiza em áreas com cotas entre 120 a 200 metros de altitude, área em que as redes de drenagem diminuem a velocidade do escoamento devido à diminuição da declividade; por outro lado, não diminuem os depósitos de sedimentos, tornando-se uma seção de transporte de sedimentos.

Por último, no baixo curso há áreas de deposição, entre 80 a 120 metros de altitude, onde ocorre diminuição da velocidade do rio, que apresenta um canal fluvial largo, tornando-se área com presença de bancos de sedimentos.

4.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BHRI

Com apuração dos dados morfométricos (tabela 10) da bacia, extraídos também dos mapas 8 (ordem dos canais), 9 (hipsometria), 10 (declividade) e obtendo-se os valores das características geométricas, que são: área da bacia de 41.732,00 km², perímetros de 1.782,13 km e densidade de hidrografia 7.67, constata-se, dessa forma,

grande distribuição de nascentes dos canais, pois Christofolletti (1980) afirma que valores menores que $7,5 \text{ km/km}^2$ estão em situação de baixa drenagem. Por conseguinte, definem o coeficiente de compacidade (K_c), sendo a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com a mesma área, chegando ao resultado de 0,64. Para Villela e Mattos (1975), quanto mais próximo de 1, mais circular é a bacia e maior é a tendência de gerar enchentes rápidas e acentuadas. O fator de forma (F) corresponde à razão entre a área da bacia e o quadrado de seu comprimento axial, chegando ao valor de 0,63; nota-se que esses são índices importantes para compreensão do comportamento hidrológico da bacia, conforme Villela e Mattos (1975), e esses valores próximos de entre 0,50-0,75 indicam tendência mediana de enchentes e inundações.

Tabela 10 – Dados morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas

Características Geométricas				
Variável	Símbolo	Unid.	Fórmula	Resultados
Área da Bacia	A	Km^2	-	41.732,00
Perímetro da bacia	P	Km	-	1.782,13
Densidade hidrológica	Dr	Canais/ Km^2	$\text{Dr} = N/A$	7,67
Índice de circularidade	Ic		$\text{Ic} = 12,57 \times A/P^2$	0,29
Fator de forma	Kf		$\text{Kf} = A / \text{Ev}$	0,63
Coeficiente de compacidade	K_c		$\text{Kc} = 0,28 \times P / \sqrt{A}$	0,64
Características de Relevo				
Amplitude altimétrica máxima da bacia	Hm	m	$\text{Hm} = \text{Hmax} - \text{Hmin}$	809
Relação de relevo	Rr	m	$\text{Rr} = \text{Hm} / \text{Lb}$	3.16
Índice de rugosidade	Ir		$\text{Ir} = \text{Hm} \times \text{Dd}$	130,04
Índice de sinuosidade	Is	%	$\text{Is} = 100 (\text{L} - \text{Ev}) / \text{L}^2$	86.70
Características de Rede de Drenagem				
Comprimento total dos canais	Lt	Km	-	6.639,70
Comprimento do canal principal	L	Km	-	479,90
Comprimento vetorial do canal principal	Ev	Km	-	255,97
Densidade de drenagem	Dd	Km/Km^2	$\text{Dd} = \text{Lt} / A$	0,16
Coeficiente de manutenção	Cm	m^2	$\text{Cm} = (1 / \text{Dd}) \times 1000$	6.250

Fonte: Elaborado Por: SILVA, R. C. F. (2020).

Nesse caso, o índice de circularidade obtido foi de 0,29, indicando um valor baixo para circularidade, conforme Christofolletti (1980), o que mostra que os valores de circularidade são abaixo de 1 (um); com valores próximos de 1 (um) se tende à forma circular. Desse modo, essas dimensões da BHRI têm forma parcialmente circular, segundo os índices de Andrade et al. (2009), que esclarecem que as bacias caracterizadas por forma alongada são pouco susceptíveis a enchentes e inundações em condições normais de precipitação.

As características do relevo consistem nas variações entre os valores de altitude e inclinação na bacia em questão. Notam-se, ainda, a altitude máxima de 879 metros na bacia e a de 470 metros da nascente do rio Itacaiunas, e ainda a altitude mínima de 80 metros na foz, com amplitude altimétrica na bacia de 799 metros de diferença. Com inclinação máxima da bacia de 166,806%, e por sua vez com inclinação do canal principal do rio Itacaiunas (RI) de 81,420%, demonstra-se, desse modo, boa inclinação para um escoamento superficial da água.

A relação de relevo (R_r) é a relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento do canal principal; no caso da BHRI, foi de 3,16, indicando que o relevo é montanhoso e favorece o escoamento. Segundo Santos et al. (2012), quanto maior o valor de R_r , maior será o desnível entre a cabeceira (região de nascente) e o exutório (foz da bacia), e conseqüentemente maior será a declividade média da bacia.

O índice de rugosidade (I_r) foi de 130,04. Para Santos et al. (2012), o I_r está relacionado ao escoamento hídrico superficial com o potencial erosivo, expresso pela declividade média; ou seja, quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes forem íngremes e longas. Os dados apresentados indicam baixo índice de rugosidade, favorecendo o escoamento superficial e formação de novos canais.

Já o índice de sinuosidade (I_s) é a relação entre o comprimento do canal principal pela distância vetorial do canal principal. Santos et al. (2012) afirmam que esse índice representa a velocidade de escoamento do canal principal. Quanto maior a sinuosidade, maior a dificuldade de atingir o exutório do canal, concluindo-se que a velocidade de escoamento será menor. O I_s da bacia foi de 86,7%; segundo Marcuzzo et al. (2012) e Araújo et al. (2017), quando a sinuosidade do canal é superior a 50%, isso indica alta sinuosidade.

Dessa forma, podem-se analisar as características da rede de drenagem, com apuramento dos dados quantitativos de comprimento dos canais, densidade de drenagem e coeficiente de manutenção.

A densidade de drenagem é a relação do comprimento total dos canais com a área da bacia, sendo importante na influência da geologia, relevo, vegetação e solo nessa área, o que está relacionado com o tempo de escoamento superficial da bacia (HORTON, 1945). Dessa forma, esses dados permitem verificar a eficácia da drenagem da bacia, que nesse caso ficou com valor de $0,16 \text{ km/km}^2$, constatando-se um valor que indica uma drenagem pobre, com pouca eficiência no escoamento superficial, pois com a drenagem baixa a bacia fica com pouca capacidade de escoamento rápido para o exutório.

Por sua vez, o coeficiente de manutenção fornece a área mínima para manutenção de um metro de canal de escoamento em m^2 (metro quadrado), sendo a relação inversa da densidade de drenagem (SANTOS et al., 2012; SILVA et al., 2018; ARAÚJO et al., 2017), de modo que, na bacia em questão, foi calculado um coeficiente de $6,250 \text{ m}^2$, sendo uma área mínima para realizar a manutenção necessária para manter perene cada metro de canal de drenagem ou área de recarga hídrica.

Portanto, a BHRI pode ser classificada com média susceptibilidade a inundações em condições normais de precipitação, o que pode ser constatado pelo seu formato parcialmente circular, como também em virtude de terem sido verificados valores intermediários para os índices apresentados, entretanto com possibilidade de risco de inundações, principalmente com vazões altas e duráveis nos períodos chuvosos, podendo dessa forma ocorrer inundações sazonais, principalmente nos canais de 3º, 4º e 5º ordem.

5 ANÁLISE DO USO E COBERTURA VEGETAL COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA BHRI

Neste capítulo faz-se a análise do uso e ocupação do solo, da variação espectral das imagens e da variação da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI), além da avaliação do diagnóstico ambiental na área em questão. Diante das informações existentes sobre a bacia, esta parte objetiva montar uma base de dados, com intuito de gerar o mapa atualizado sobre cobertura da terra, com informações próximas do possível da atualidade na BHRI.

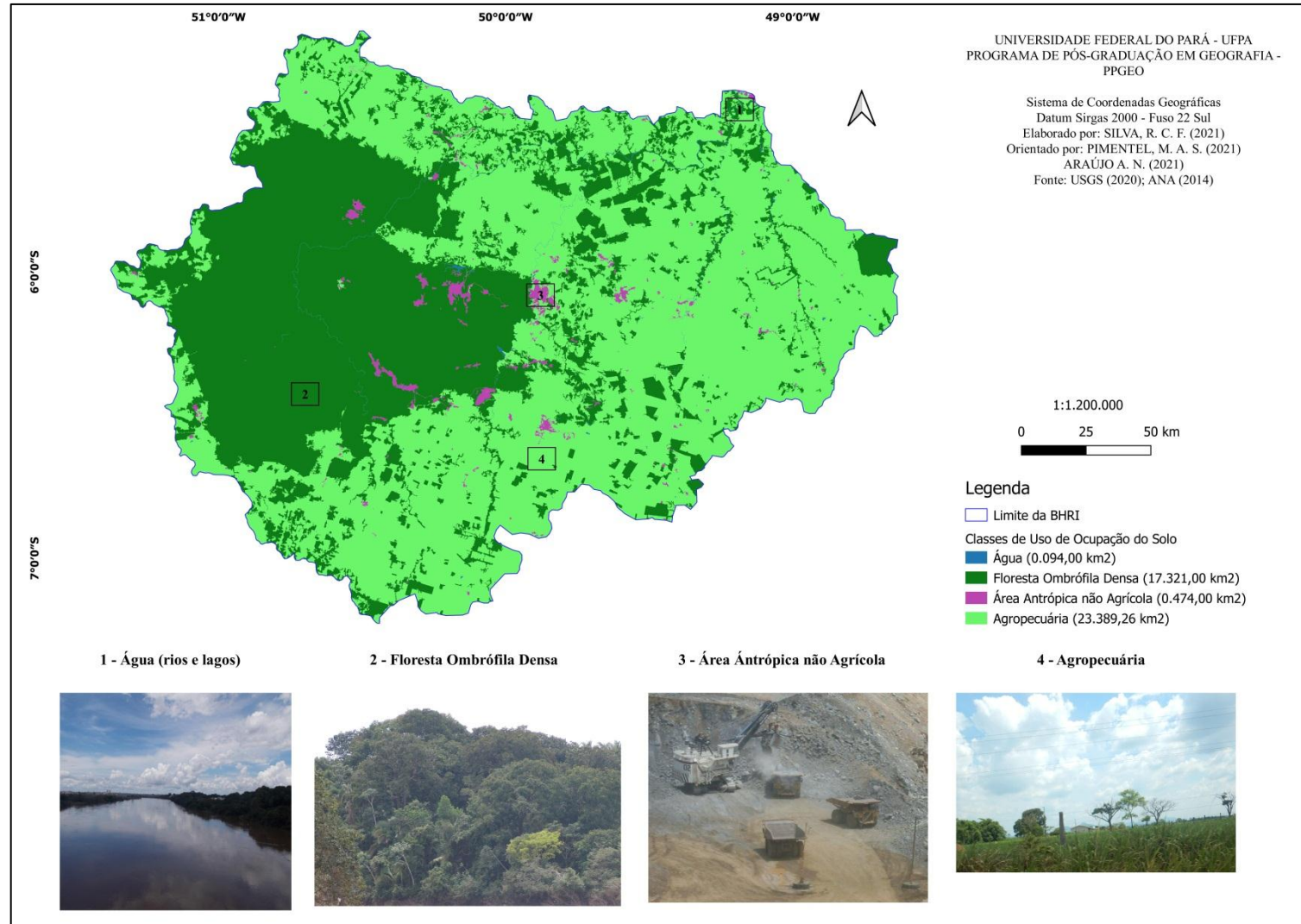
Dessa forma, este estudo tem como objetivo gerar a variação espacial das condições de cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas, a partir de análises espectrais de Landsat – imagens de satélites 8 Oli, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e SIG (Sistema de Informação Geográfica), aplicando cálculos de índices de vegetação (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI, Índice de Vegetação Ajustada do Solo – SAVI e Índice de Área Foliar – IAF), para caracterização da vegetação na região estudada, além das propostas de diagnóstico e prognóstico ambiental com o intuito de avaliar os impactos nos diferentes tipos de uso de solo na BHRI.

5.1 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NO CENÁRIO ATUAL DA BHRI

O motivo dos estudos de vegetação em bacia está relacionado intrinsecamente às condições de infiltração das águas pluviais, que são inversamente proporcionais ao volume de cobertura vegetal sobre o solo, pois, quanto maior a cobertura vegetal, menor será a ocorrência de escoamento superficial hídrico, e maior será a proteção do solo, evitando-se o carreamento de sólidos em direção aos rios (FURTADO; KONIG, 2008).

Nessa primeira etapa, foi realizada a classificação de uso e cobertura da terra, sendo possível analisar as alterações atuais na cobertura de vegetação na BHRI provocadas pelos processos naturais e antrópicos (mapa 12).

Mapa 12 – Uso e Cobertura da Terra na BHRI (2020)



Fonte: Adaptada do USGS (2020); ANA (2014). Fotos do autor.

Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2021).

Na visão geográfica, existe uma lógica espacial, na qual os elementos estão localizados no espaço e tempo, conforme determinadas estratégias, considerando a diversidade dos recursos naturais sob o controle da sociedade (NUNES ARAÚJO, 2019). O mapa 12 apresenta as unidades da paisagem que configuram o uso e a ocupação da terra na BHRI no ano de 2020, ajudando a entender como os principais elementos naturais e antrópicos de uso e ocupação estão distribuídos dentro da bacia em questão.

A tabela 11 quantifica as classes de uso da terra e os valores de área e porcentagem com relação à BHRI.

Tabela 11 – Classe de uso e cobertura da terra e respectivos valores da BHRI (2020)

Classe (2020)	Área (Km ²)	(%) na BHRI
Água	0.094	0,228
Floresta Ombrófila Densa	17.321	41,934
Área Antrópica não Agrícola	0.474	1,147
Agropecuária	23.389	56,625

Fonte: Elaborado Por: SILVA, R. C. F.

Dessa forma, a água é um dos principais elementos estudados em análise de bacia hidrográfica, pois os rios e lagos, demarcados no mapa de uso e ocupação, quantificaram uma área de 0.094 km² (0,228%), composta principalmente pelo rio Itacaiunas e seus tributários, além dos lagos de grande porte, existentes nas propriedades rurais, dos quais é possível a identificação dentro da resolução espacial das imagens de satélite utilizadas.

A floresta ombrófila densa apresentou 17.321 km² (41,934%). Esta classe de cobertura vegetal apresentou resquícios de vegetação por toda a bacia além das APP (Áreas de Proteção Permanente) e reservas de matas nativas. Vale destacar que a grande concentração dessa classe ocorre na região da Serra dos Carajás, segundo Rolim et al. (2006), constituindo um conjunto de unidades de conservação (UCs) de diferentes categorias de manejo: Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Reserva Biológica de Tapirapé, Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado, Floresta Nacional (FLONA) de Carajás, Reserva Indígena Xikrin do Cateté e Floresta Nacional de Itacaiunas, que formam um bloco contíguo de 1,31 milhões de ha ou 13.100 km².

A área antrópica não agrícola (0.474 km^2 , 1,147%), destacada por área urbana, constitui as superfícies modificadas pelo homem, ou seja, áreas descobertas de vegetação, destinadas à moradia urbana, ruas pavimentadas e solo impermeabilizado. O crescimento populacional ganha destaque devido ao uso do solo destinado para moradias na BHRI, em especial nos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás, Eldorado dos Carajás, Curionópolis e parte do perímetro urbano de Marabá. Vale destacar as áreas degradadas por mineração, pertencentes a gigantescos projetos de mineração que tiveram início na década de 1960, sendo o mais expressivo de todos aquele conhecido como Projeto Grande Carajás (PGC), ligado às atividades do Grupo Vale. Nessa área, segundo Berni (2009), Costa (2007) e Silva e Villas (1998), localiza-se a Formação de Carajás, que é rica em minérios polimetálicos; os principais minerais encontrados pelas mineradoras nessa região são hematita, magnetita, calcopirita, bauxita, manganês, níquel, cassiterita e ouro.

A agropecuária apresentou a maior área mapeada, com 23.289 km^2 (56,625%), provando que esse tipo de uso do solo vem ganhando destaque na área da bacia. Láu (2006) afirma que a criação bovina, no Brasil, começou no século XVI, seguindo os caminhos da mineração, e foi amplamente disseminada pelo território brasileiro. No estado do Pará, atualmente, a pecuária ocupa o terceiro lugar e um faturamento médio, anual, de R\$ 2,7 bilhões, o que a torna a principal atividade econômica em 51% dos municípios paraenses.

A interferência antrópica, seja nas áreas urbanas ou rurais na BHRI, é marcada pelo intenso uso do solo e da terra, principalmente pela perda gradativa da cobertura vegetal, seja pela expansão urbana, seja pelas atividades de mineração ou pecuária. Dessa forma, ficam evidentes os fatores dinamizadores dos sistemas ambientais na escala da BHRI. Na sua dimensão espacial, a bacia em questão é constituída por sistemas ambientais diversificados, considerando as interações dos seus componentes físico-naturais atrelados às particularidades das atividades antrópicas nela inseridas, sendo necessária a execução de um plano de gestão da bacia.

5.2 APLICAÇÃO DOS INDÍCES VEGETATIVOS NDVI, SAVI E IAF NA BHRI

Por meio dos registros das imagens Landsat 8 Oli, foi possível, além da classificação supervisionada, obter os dados atualizados (2020) de variação espectral da

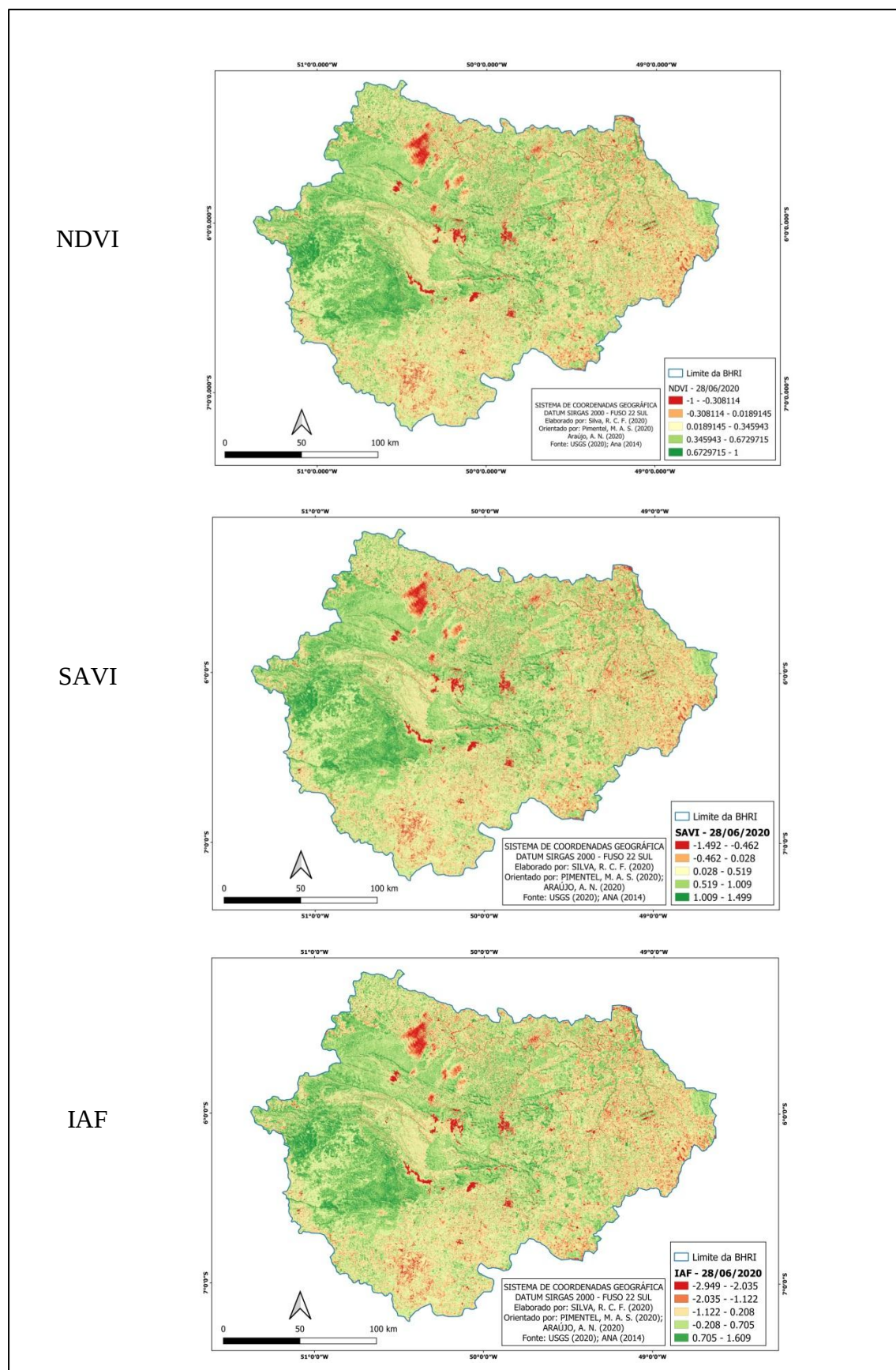
imagem e cobertura do solo da área de estudo, aplicando os cálculos de NDVI, SAVI e IAF, para caracterização das condições vegetativas da BHRI.

Vale destacar o que é efetivamente medido pelos sensores de satélites, não podendo ser explicado somente pelas características intrínsecas dos elementos na superfície terrestre, além da interferência de outros parâmetros, como “a fonte de radiação, o espalhamento atmosférico, as características tanto das folhas quanto do dossel, os teores de umidade do solo, a interferência da reflectância do solo, sombra, entre outros” (PONZONI, 2001 apud BORATTO; GOMIDE, 2013, p. 7.345).

Como ressaltado anteriormente, quanto aos valores de NDVI, quanto mais próximos de 1, mais densa é a vegetação; o valor 0 (zero) indica superfície não vegetada. Os maiores valores de NDVI correspondem aos números digitais (ND) mais elevados, enquanto os menores valores equivalem aos ND baixos, representando as áreas de vegetação menos densas ou até sem vegetação. Boratto e Gomide (2013) apresentam algumas observações na utilização do NDVI, devido à importância desse índice, que se concentra em dois aspectos de mudanças sazonais da atividade e do desenvolvimento da vegetação, como, por exemplo, a redução de ruídos, como sombras de nuvens, variações topográficas e diferença de iluminação solar (forte ocorrência na região da Serra dos Carajás).

Na figura 7 constam os mapas de NDVI, SAVI e IAF, com os respectivos valores, conforme a variação espectral das imagens, correspondentes à calibração de cada banda (L_{min} e L_{max}); converteram-se os números digitais (DN) de cada pixel em radiância espectral ($L\lambda$), do satélite Landsat 8 Oli, obtida por meio das equações aplicadas que correspondem às medidas realizadas nos canais 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 10, para posteriormente aplicar as equações de cada índice vegetativo (NDVI, SAVI e IAF), importantes para análise da cobertura vegetal.

Figura 7 – Mapas: índice de vegetação NDVI, SAVI e IAF da BHRI



Fonte: Adaptado do USGS (2020); ANA (2014).

Elaborado por: SILVA, R. C. F. (2020).

A figura 7, no mapa de NDVI, mostra as imagens processadas e calculadas, verificando-se os valores $(-0,308114 - 0,6729715)$, em que os índices negativos de NDVI $(-1 - -0,308114)$ podem ser observados no mapa na cor vermelha, representando as áreas sem vegetação: solo exposto, área urbanizada, área degradada por mineração; já os valores diferentes de -0 , configurados como índices intermediários do NDVI, ou próximos de zero, representados pela cor amarela $(0,0189145 - 0,345943)$, caracterizam uma vegetação seca, ou pouca vegetação, indicadores de área de pastagem ou transição entre áreas secas e úmidas. Nessa mesma imagem de NDVI foram obtidos os maiores valores $(0,345943 - 0,679715)$ representados pela floresta ombrófila densa e boa disponibilidade de água no perfil do solo, localizado em maior porção na região centro-oeste da bacia, parte em que se encontram as Áreas de Proteção Ambiental (APA), que apresentam melhores condições para o desenvolvimento da vegetação nativa.

Na figura 7, no mapa de SAVI, foi utilizado o valor de $0,5$ como fator de ajuste no SAVI. Vale ressaltar que os resultados de SAVI são parecidos com os resultados obtidos no NDVI. Dessa forma, o índice SAVI enfatizou mais a influência do solo exposto, principalmente nas áreas sem vegetação. Verificou-se que no mapa de SAVI os valores negativos $(-1,492 - -0,462)$ representaram, além do solo exposto, as nuvens e água (vermelha). Por fim, os valores intermediários $(0,028 - 0,519)$ dos índices SAVI são áreas com pouca vegetação (amarelo), e os maiores valores $(0,519 - 1,009)$ do SAVI são áreas com uma vegetação mais densa (verde).

Sobre o índice de área foliar (IAF), vale destacar que esse índice “é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, constituindo-se, portanto em um índice biofísico, que é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação” (BORATTO; GOMIDE, 2013, p. 7.350). A figura 7, no mapa de IAF, que é um subproduto do NDVI e SAVI, destaca resultados semelhantes aos anteriores. Os valores indicam que as áreas de cor verde $(0,208 - 1,609)$ representam a vegetação com maior biomassa, enquanto as áreas de cor amarela $(-1,122 - 0,208)$ representam áreas de transição ou pouca vegetação, e a cor vermelha $(-2,949 - -1,122)$ indica áreas sem vegetação.

Os resultados indicaram maiores valores de NDVI, SAVI e IAF para áreas úmidas, devido à formação de vegetação preservada, ocasionada pela boa disponibilidade hídrica do perfil do solo, que proporcionou melhores condições no desenvolvimento da vegetação nativa.

5.3 DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO AMBIENTAL INTEGRADO: PROBLEMAS AMBIENTAIS E PROPOSTAS

Tendo como base a realização do inventário com fatores socioambientais, caracterização morfométrica e análise dos índices vegetativos da bacia hidrográfica do rio Itacaiunas, este tópico da pesquisa tem o objetivo de realizar um diagnóstico ambiental da BHRI com intuito de identificar os problemas, as limitações e as potencialidades da área de estudo, bem como elaborar o prognóstico e propostas para subsidiar ações futuras de planejamento ambiental na bacia em questão.

A Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas apresenta particularidades devido a estar dentro da Amazônia, agregando uma biodiversidade de grande valor, além de ser composta por municípios com expressiva participação na produção de matéria-prima, mineral e animal, ocupando espaços urbano e rural, o que exige instrumentos legais para cada tipo de uso dos recursos naturais, conforme cada particularidade.

5.3.1 Problemas ambientais

Os problemas ambientais são aqueles resultantes da forma inadequada do uso da terra e da água, sem conformidades legais, e, dessa forma, foram identificados na BHRI alguns tipos de usos que apresentam interferência na dinâmica da paisagem. Nessa perspectiva, lançando mão dos dados obtidos pela caracterização do uso e ocupações da terra na BHRI, têm-se: área urbana, pecuária, mineração, florestas, rios e lagos. Percebe-se que os problemas ambientais, identificados pelo levantamento cartográfico e de campo, são: retirada da cobertura vegetal, seja para pecuária, agricultura, extração mineral ou expansão urbana, acarretando a erosão dos solos; assoreamento dos rios; diminuição das matas ciliares; focos de poluição hídrica; mudança no comportamento hidrológico – processos geradores de problemas ambientais na bacia, o que mostra a necessidade de planejamento integrado desse recorte espacial.

Com relação às áreas urbanas e aos problemas ambientais decorrentes da forma inadequada de uso e ocupação da terra, é importante considerar que a infraestrutura urbana leva a implicações na dinâmica da BHRI: por exemplo, o asfaltamento das estradas impossibilita a permeabilidade do solo, e as construções de casas nas margens de rios acarretam assoreamento, redução das matas ciliares e erosão das encostas, arrastando cargas de sedimentos para o fundo dos rios. Na figura 8, evidencia-se a

problemática de falta de vegetação na margem do rio Itacaiunas, o que aumenta as possibilidades de desmoronamento dos barrancos, agravando o processo de assoreamento.

Figura 8 – Margem direita do rio Itacaiunas, dentro do perímetro urbano do município de Marabá (PA)



Fonte: Foto do autor (mar. 2020).

Na figura 8 mostra: 1 – o rio Itacaiunas no seu leito normal; 2 – barrando sem a cobertura vegetal; 3 – vegetação arbustiva; 4 - vegetação arbórea; 5 – construções (casas, prédios e torres).

Levando em consideração os tipos de necessidades urbanas intimamente ligadas e compreendidas ao uso da água, uma vez que a cidade é abastecida por esse recurso natural – pois o saneamento básico é de grande importância, ao proporcionar a base para a qualidade de vida dos moradores –, vale ressaltar que muitos cursos d’água das sub e microbacias localizam-se no espaço urbano e são utilizados para recreação, destino de efluentes que comprometem a qualidade ambiental, além de ocorrer a extração vegetal e mineral nas margens dos rios, algo muito comum que acontece principalmente nas margens dos principais rios da BHRI, como, por exemplo, a extração de areia, seixo, argila por empresas licenciadas. Dessa forma, o uso urbano e sua dinâmica própria levam a implicações nos cursos d’água que fazem parte da malha urbana dos municípios

que compõem a bacia, lembrando que, dos 18 municípios que ocupam a BHRI, 6 têm suas sedes municipais dentro do perímetro dela.

Ao destacar as áreas rurais na BHRI e os problemas ambientais decorrentes do uso e ocupação da terra, tendo como destaque a produção de agropecuária e mineração, que intensificam a supressão vegetal, ressalta Rivero et al., (2009), que a atividade da agropecuária é a principal responsável do desmatamento de extensas terras na Amazônia, para Milanez (2017), a mineração realiza o desmatamento de forma pontual; porém, Tonelli (2018) com a retirada de estéril (material sem interesse) para alcançar os minérios (material de interesse), provoca grande impacto visual e ambiental nessas áreas. Tais projetos de mineração têm como principais áreas destinadas à execução de extração mineral na região da BHRI: Minas Azul, N4 e N5 (Parauapebas), Serra do Sossego e S11D (Canaã dos Carajás), Salobo e Buritirama (Marabá), Serra Leste (Curionópolis), Onça Puma (Ourilândia do Norte).

Outro ponto interessante é analisar de forma compartimentada a bacia em três setores: alto, médio e baixo curso; dessa forma, podem-se compreender por partes alguns fatores da dinâmica da bacia. Enquanto no alto curso se encontram as nascentes do canal principal e seus principais tributários (afluentes), localidades em que ocorre a expansão de terras destinadas à pecuária, fazendo diminuir a mata ciliar que protege e proporciona a durabilidade aos pequenos rios, já no médio curso da bacia podemos notar a intensificação da exploração mineral de Carajás dentro das reservas ambientais. Por último, percebe-se que no baixo curso, atrelado à expansão urbana do município de Marabá, ocorrem mudanças no comportamento hidrológico e movimentação dos sedimentos, ou seja, baixíssimo nível do rio Itacaiunas no período de estiagem (junho, julho e agosto) e enchentes e inundações nos períodos chuvosos (janeiro, fevereiro e março). Na figura 9, evidenciam-se algumas das problemáticas que ocorrem em cada compartimentação da BHRI, desde agropecuária, área degradada pela mineração e inundações.

Figura 9 – a) Agropecuária no município de Água Azul do Norte (alto curso); b) Mina do Sossego no município de Canaã dos Carajás (médio curso); c) Inundação na margem do rio Itacaiunas no município de Marabá (baixo curso).



Fonte: Fotos do autor.

Nota-se que os fatores evidenciados na figura 9 não constituem um padrão de ordem, pois a agropecuária está presente em todos os níveis da bacia, enquanto a mineração de grande porte se localiza no alto e médio curso, devido à existência de jazidas minerais nessas localidades; por sua vez, as inundações são intensificadas no baixo curso, devido ao abastecimento da foz do rio Itacaiunas por seus afluentes e elevados valores de precipitação na cabeceira da bacia, além da ocupação sem planejamento nas margens do rio, onde as pessoas habitam áreas impróprias para moradia, áreas com risco de inundações ou destinadas às Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA).

5.3.2 Prognóstico e propostas de planejamento ambiental

Para deixar claro a respeito do prognóstico ambiental, ressaltem-se as ideias de Leal (1995 apud SANTOS, 2018), que esclarece sobre o prognóstico que consiste na configuração de possíveis cenários em bacias hidrográficas como áreas de estudo, sendo necessários os levantamentos para apuração do inventário e diagnóstico, possibilitando a identificação das formas de uso e ocupação da bacia, articulando estratégias para um cenário confiável sobre o recorte espacial, respeitando as políticas ambientais e as necessidades básicas dos povos que habitam a bacia, visando a diminuir os problemas ambientais.

Os prognósticos consistem (quadro 1) em traçar cenários por meio da classificação do uso e ocupação da terra identificados na BHRI (Área Antrópica não Agrícola, Agropecuária, Floresta Ombrófila Densa), sendo que para essa classificação destacam-se determinados valores de NDVI, SAVI e IAF que indicam solo com vegetação densa, solo com pouca vegetação e solo com ausência de vegetação, desse modo apresentando questões de interesse ambiental, sendo possível a partir dos fatores físicos já diagnosticados, possa compreender a forma, presença ou ausência destes usos no cenário atual, visando a mitigar as complicações nas unidades da paisagem da BHRI.

Quadro 1 – Cenários atual, tendencial e ideal para a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas

Classes de Uso e ocupação da Terra	(NDVI / SAVI / IAF)	Cenários		
		Atual	Tendência	Ideal
Floresta ombrófila densa	(0.6729715 / 1.009 / 1.609)	Áreas de conflitos de uso do solo com áreas de preservação permanente, principalmente para o uso urbano, pasto e mineração.	Supressão da vegetação em área de preservação permanente e reserva florestal.	Controle e recuperação das áreas de conflitos de uso nas APPs e áreas degradadas pela mineração.
Área Antrópica não Agrícola	(-0.308115 / -1.492 / -2.949)	Crescimento urbano em direção aos cursos d'água, focos de poluição hídrica e supressão de APPs. A mineração provoca alteração na paisagem, com a retirada da vegetação nativa e devastação do solo minerado.	Aumento do crescimento das cidades nas áreas com risco de inundação e de proteção ambiental. Aceleração da exploração mineral	Controle e planejamento da expansão urbana com aplicação das diretrizes do Plano Direto Municipal, respeitando as ZEIA. Verticalização da cadeia produtiva, agregando valor ao produto e ao trabalho. Recuperação das áreas degradadas.
Agropecuária	(0.0189145 / 0.028 / -1.122)	Perda da vegetação nativa. Erosão e compactação do solo pelo pisoteio do gado e Áreas de Preservação Permanente em estágio de degradação.	Redução da biodiversidade. Aumento da erosão e compactação do solo, bem como da supressão de APPs de cursos d'água e nascentes.	Preservar a vegetação nativa. Manejo adequado do pasto para a supressão da compactação e erosão dos solos, bem como proteção das nascentes e cursos d'água para a revitalização da vegetação nativa em APP.

Fonte: Adaptado de LEAL 2012; SANTOS, 2018.

Tendo como base os cenários destacados e as formas de uso presentes na BHRI, é possível ajustar um cenário atual com conformidades, considerando os agravantes de supressão da cobertura vegetal, bem como as extensas áreas de pasto, a expansão urbana, com edificações que ocupam as margens de rios, a mineração, que contribui para a retirada da vegetação nativa, enfim, levando em consideração esses elementos e aplicando as conformidades previstas nas legislações ambientais e Plano Diretor Municipal.

Estima-se que o cenário existente é tendencioso para o agravamento dos problemas ambientais identificados, se não tomadas as providências cabíveis para o uso adequado do solo e da água na BHRI. Por outro lado, se as políticas ambientais forem realizadas de forma mais coerente com a devida fiscalização do poder público e da população local, além da comunidade acadêmica, é provável haver um cenário ideal para a bacia, com respeito à conservação e preservação das matas nativas, manejo adequado do solo em áreas de pasto e preservação dos cursos d'água e nascentes sem focos de poluição hídrica, entre outras características que demonstram respeito às características naturais da área.

Diante destes cenários existentes para a BHRI, com base no quadro atual e no tendencial, é que as questões ideais são levantadas, conforme algumas propostas, com o objetivo de reverter o quadro atual da bacia de forma a se consolidar um planejamento ambiental, apresentado como cenário futuro para o quadro ideal.

Conforme o levantamento realizado das características de vegetação, esta encontra-se em estágio de devastação, sendo que se localiza nas quatro classes que representam as unidades da paisagem da BHRI (Água, Floresta Ombrófila Densa, Área Antrópica não Agrícola e Agropecuária). Com vistas a propor um planejamento ambiental nesta área, faz-se necessária a execução de ações para a recuperação e controle das mesmas, sendo estas analisadas nas propostas listadas a seguir:

- Recuperar as áreas definidas como de preservação permanente, conforme previsto na Lei Federal nº 12.727/2012, de modo que na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas tal supressão da cobertura vegetal é ocasionada pela pastagem, mineração e uso urbano;
- Nos terrenos de pastagem, as nascentes e proximidades de cursos d'água, respeitando os limites definidos na Lei Federal nº 12.727/2012, devem ser cercados para evitar o pisoteio do gado e a destruição da cobertura vegetal;

- Nas áreas degradadas por mineração, realizar o PRAD (Plano de Recuperação de Áreas Degradadas), conforme a Instrução Normativa nº 4 e o Decreto-lei nº 1.985/1940 (Código de Mineração), que ressaltam a aplicação das medidas que proporcionem às áreas degradadas condições de ser estabelecido o equilíbrio natural, com solo vívido para atividades futuras, reestabelecendo-se a paisagem natural;
- Na área urbana, deve-se realizar a devida aplicação das diretrizes dos planos diretores municipais, bem como atualizar/reformular estes documentos a cada 10 anos, conforme previsto no Estatuto da Cidade (2001), que visa a nortear o acesso ao direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, macrozoneamento de uso e ocupação do solo urbano, definindo as áreas de degradação ambiental e expansão urbana desordenada. Deve-se também realizar a delimitação das áreas de risco de inundação, conforme as cotas altimétricas, e em seguida aplicar a recuperação de APPs, por intermédio da realocação da população ocupante das faixas marginais de cursos d'água e nascentes, e, para reforçar, sugere-se a criação de parques ambientais nas áreas de preservação permanente;
- Controle de processos erosivos resultantes da intensificação dos usos e ações antrópicas para evitar o assoreamento e contaminação dos rios da BHRI;
- Promover a educação ambiental nos municípios para que a população como um todo tenha a consciência da necessidade da preservação do ambiente onde vive;
- Reforçar o papel e a importância da BHRI, bem como dos municípios abrangidos por ela, para a preservação da bacia como um todo, e inclusive para a implantação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (CBHRI), por meio da articulação das secretarias de meio ambiente dos 18 municípios que fazem parte dela.

Aplicando de forma prática essas propostas de planejamento, será possível reverter o quadro atual da bacia, cujo cenário se encaminha para uma situação cada vez mais degradante, para que possa vir a transformar-se em ambiente ideal. Dessa forma, com a união das políticas efetivadas, população local e corpo acadêmico, possibilitar-se-á um ambiente saudável que permita a reprodução das espécies de forma satisfatória e a conservação e a preservação das matas e dos rios, em especial o próprio rio Itacaiunas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa trouxe provas das evidências da mudança da paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas, em que o processo histórico de uso e ocupação da mesma levou a mudanças gradativas da paisagem, resultantes da interação das características naturais da área, da exploração biológica e das ações dos agentes locais, que interagem entre si de forma indissociável, tendo a Teoria Geral do Sistema como suporte para estudo da categoria geográfica da paisagem.

Na escala de análise da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas, apesar de uma escala cartográfica que permite pouco detalhamento, foi possível identificar no quadro geral as principais formas de uso do solo na bacia, encontrando o motivo de estudo dessa área, ficando evidentes as ações dos agentes dinamizadores que estão interconectados, provocando transformações na paisagem de montante a jusante da bacia.

Sobre o levantamento das condições físicas e socioeconômicas para a BHRI, é importante apontar os bancos de dados disponibilizados pelas empresas públicas especializadas em levantamento socioambiental, disponibilizando informações que servem como base de estudos que foram fundamentais para realizar o inventário que subsidiou o planejamento dessa bacia, resultando em dados, produtos cartográficos, tabelas e gráficos.

É válido frisar a importância das técnicas de geoprocessamento aplicadas ao tratamento em Sistema de Informações Geográficas (SIG), que junto com as geotecnologias possibilitou a reprodução espacial das informações, caracterizando um estudo geográfico, proporcionando avaliações aprofundadas sobre o objeto de estudo, criando mapas que são peças técnicas fundamentais para o planejamento ambiental da referida bacia.

Outra questão relacionada às circunstâncias do levantamento de informações de dados de clima, especificamente sobre os dados das estações hidrometeorológicas (CPRM-ANA), foi o que ocorreu em escala mundial, no início de 2020: a proliferação de uma pandemia, o que dificultou as coletas de dados em campo. Por fim, foi realizado o levantamento de dados pluviométricos, de estações dentro e próxima da BHRI.

Quanto à análise dos dados morfométricos, importantes para o estudo de suscetibilidade a inundações na referida bacia, foram calculados os dados de conhecimento altimétrico, com aquisição das elevações necessárias para os cálculos de

inclinação, além dos índices morfométricos, conforme as análises indicaram que a BHRI é susceptível a inundações sazonais; pois a bacia é de quinta ordem, mostrando que existe um grande sistema de rede de drenagem, grande área de captação de precipitação e, conseqüentemente, grande área de deflúvio, principalmente próximo do exutório. A densidade de drenagem da bacia é variável, potencialmente significativa, pois apresenta relação com clima, vegetação e litologia, além da relação direta com o escoamento e transporte sedimentar. Para a BHRI, consideramos o índice de densidade de drenagem, muito relacionadas com as condições climáticas da área da bacia caracterizadas por média pluviosidade.

As formas de ocupação na área da bacia levaram a expressivas problemáticas, caracterizando ocorrências de retirada da cobertura vegetal, principalmente para prática da agropecuária, além do uso urbano e mineração, sendo assim evidencia a dificuldade do cumprimento de legislações ambientais, como o Código Florestal Brasileiro (2012), o Código de Mineração (1967) e leis municipais que preveem a proteção dessas áreas nos municípios, como os planos diretores municipais (MARABÁ, 2018), que devem ser revisados a cada 10 anos.

Na avaliação dos resultados da pesquisa, é possível considerar que a Bacia do Rio Itacaiunas vem passando pelo avanço do processo de antropização. Por conseguinte, a fase de diagnóstico corresponde a uma fase fundamental em que, a partir do que é encontrado na área de pesquisa, é possível montar um quadro de seu estado atual, de modo a começar a pensar e articular ações que venham a reverter as situações. Como fase posterior do andamento da pesquisa, o prognóstico se fundamenta como momento de reflexão sobre as condições da paisagem, para o caso da BHRI, a partir das formas de uso da terra identificadas como urbana, mineração e pastagem, combinadas com os índices vegetativos NDVI, SAVI e IAF.

Portanto, a presente pesquisa apresenta ferramentas teórica e metodológica para subsidiar ações de planejamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI), de modo que o planejamento para a bacia como um todo pode ser proposto a partir de uma articulação entre as prefeituras dos 18 municípios situados na área da bacia. Além disso, as informações sobre as características físicas e socioeconômicas, a morfometria, as formas de uso da terra e das condições de vegetação ofereceram subsídios para a elaboração de um diagnóstico integrado para a proposição de ações de planejamento que podem contribuir para a construção de um cenário ideal para a BHRI.

REFERÊNCIAS

ABDON, M. M. **Os impactos ambientais do meio físico: erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

AB’SABER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil.** São Paulo: Ateliê, 2003.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land).** Advanced Training and User’s Manual. Idaho Implementation, version 1.0. [S.l.: S.n.], 2002. 97 p.

ALMEIDA, F. F. M. de. Sistema tectônico marginal do Cráton do Guaporé. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. Bol. 1, p. 701-705.

ALMEIDA, J. A. C. et al. **Geologia da Folha Marajoara* SB.22-Z-C-V, Escala 1:100.000: nota explicativa.** (Série Programa Geologia do Brasil – PGB) versão em CD-Rom. Belém: UFPA/CPRM, 2007. 100 p. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/pgb/rel_marajoara.pdf. Acesso em: 02 set. 2020.

ALMEIDA, J. J. **A cidade de Marabá sob o impacto dos projetos governamentais.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em História Econômica, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

_____. Os riscos naturais e a história: o caso das enchentes em marabá (PA). **Revista Tempos Históricos**, v. 15, p. 205-238, 2. semestre 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** (Caderno de capacitação em recursos hídricos; v.1) – Brasília: SAG, 2011, 64 p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>. Acesso em: 01 out. 2020.

_____. **Curso de Hidrologia Básica.** Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/index.php/todos>. Acesso em: 01 jul. 2020a.

_____. **Curso de Planejamento e Gestão de Bacia.** Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/index.php/todos>. Acesso em: 01 out. 2020b.

ANDRADE, F. G. et al. **Caracterização morfométrica da microbacia do córrego do coqueiro, no Nordeste Paulista.** São Paulo: Faculdade de Engenharia da UNESP, 2009. Disponível em: ftp://ftp.feis.unesp.br/agr/pdf/caracterizacao_morfometrica_coqueiro_cic2009.pdf. Acesso em: 30 set. 2017.

ARAÚJO, A. N. et al. Análise Morfométrica de quatro sub-bacias hidrográficas do rio Gurupi na Amazônia Oriental. **Ciência e Sustentabilidade – CeS:** Juazeiro do Norte, v.

3, n. 2, p. 83-89, jul./dez. 2017. Disponível em:
<https://periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/view/204>.
 Acesso em: 20 jun. 2020.

BERNI, Gabriel Valentim. **Geologia e alteração hidrotermal do depósito de Au-PGE de Serra Pelada, Curionópolis, Pará**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp122502.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, n. 13, p. 1-27, 1971.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007.

BOSSLE, Renato Cabral. **Qgis e processamento na prática**. 1. ed. Curitiba: Íthala, 2014.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei n. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

_____. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. 3 ed. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2008. Disponível em:
<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70317/000070317.pdf?sequence=6>. Acesso em: 10 jul. 2015.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Uso de Cobertura da Terra na Floresta Amazônica**: Subprojeto 106/2004 do PROBIO: DATADownload. Brasília, 2004. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>. Acesso em: 15 ago. 2020.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**: saneamento para todos. Brasília, 2006. Disponível em:
<http://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/06906898a257ceb3ec8687675e9e36c8.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

_____. Instrução Normativa nº 4, de 13 de abril de 2011. Considerando a necessidade de estabelecer exigências mínimas e nortear a elaboração de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD ou Áreas Alteradas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 14 abr. 2011a. Disponível em:
http://www.ima.al.gov.br/wp-content/uploads/2015/03/IN_04_11_prad.pdf. Acesso em: 17 jun. 2020.

_____. **Lei nº 1.985/1967**. Código de Mineração: e legislação correlata. 2. ed. Brasília: Senado Federal, Subsecretária de Edições Técnicas, 2011a. Disponível em:

<<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/496300/000961769.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 01 out. 2019.

_____. **Lei nº. 12.651, de 25 de maio 2012.** Código Florestal. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 01 out. 2019.

_____. **Decreto-Dsn nº 14.470, de 05 de junho de 2017.** Dispõe sobre a criação do Parque Nacional dos Campos Ferruginosos, localizado nos Municípios de Canaã de Carajás e Parauapebas, Estado do Pará. Brasília: Secretaria Geral, 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/dsn/Dsn14470.htm>. Acesso em: 10 jul. 2019.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região norte de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, 2013. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/81753/1/Aplicacao-indices.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciências de geoinformações. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. p. 7-41. Disponível em: <<http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000200011>. Acesso em: 09 jun. 2018.

CARVALHO, Bruno Chaves; SILVA, Silvana Nascimento. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas – PA. In: ENCONTRO AMAZÔNIA DO MEIO AMBIENTE & ENERGIA RENOVÁVEL, 2, 2016, Belém. **Anais...** Belém: UFRA, 2016.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Turvo – GO, através de técnica de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, 5, 025401, 2009. Disponível em: <<http://ufrr.br/mepa/phocadownload/morfometria%20bacia%20castro%20e%20carvalho%202009.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

CAWS, Peter. General Systems Theory: Its Past and Potencial. **Systems Research and Behavioral Science Syst. Res.**, n. 32, p. 514–521, 2015. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sres.2353>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

CHAVES, Aldair. **Importância da mata ciliar (legislação) na proteção dos cursos hídricos, alternativas para sua viabilização em pequenas propriedades rurais.** Seminário apresentado na disciplina “Manejo e Conservação do Solo e da Água”. Passo

Fundo, RS: Universidade de Passo Fundo, 2009. Disponível em:

<<https://docplayer.com.br/1915381-Importancia-da-mata-ciliar-legislacao-na-protecao-dos-cursos-hidricos-alternativas-para-sua-viabilizacao-em-pequenas-propriedades-rurais.html>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**, Rio Claro, n. 18, 1969, p. 35-64.

_____. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

_____. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

_____. **Geomorfologia Fluvial: o canal fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB**. Org. SILVA, L. C. et al. Geologia: SB.22-X_D (Marabá). Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001. Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/plgb/maraba/maraba_geologia.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2018.

_____. **Mapa Geológico do Estado do Pará**. (2008). Disponível em:

<http://cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/para.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2020.

_____. **Processos hidrológicos: Inundações, enchentes, enxurradas e alagamentos na geração de áreas de risco**. Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para Prevenção e Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais. 02 a 06 de out. 2017, Vitória – ES. Disponível em:

<<https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Capacitacao/Material.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

COSTA, Leandro Prado. **Caracterização das Sequências Metavulcanossedimentares da Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA)**. 2007. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CRUZ, Fábio Monteiro. **Avaliação geoambiental e hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas, PA**. 2010. 179 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará; Museu Paraense Emílio Goeldi; EMBRAPA, Belém, 2010. Disponível em:

<http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/10980/1/Dissertacao_AvaliacaoGeoambientalHidrologica.pdf>. Acesso em: 01 set. 2020.

DALL’AGNOL, R.; OLIVEIRA, D. C.; LAMARÃO, C. N. Magmatismo granitoide arqueano e evolução geológica do Subdomínio de Transição da Província Carajás,

sudeste do Cráton Amazônico, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, Belém, 8(3), 251-256, 2013.

DALL'AGNOL, R. et al. Geologia do Subdomínio de Transição do Domínio Carajás: implicações para a evolução arqueana da Província Carajás, Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 13, 2013, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 2013. CD-ROM.

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. **Anais...** Rio de Janeiro, 1979.

_____. **Boletim de Desenvolvimento:** Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial. Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape. Campinas, SP, 2012.

_____. **Landsat – Land Remote Sensing Satellite.** Embrapa Monitoramento por Satélites. 11 jul. 2018. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html. Acesso em: 11 jul. 2018.

_____. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC. Árvore do conhecimento. Solos tropicais. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/. Acesso em: 15 ago. 2020.

ESRI. **Descrição técnica do Esri Shapefile. An white paper da ESRI – julho de 1998.** Disponível em: <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2018.

FERREIRA, P. M. de L. et al. Aplicação dos índices de vegetação na caracterização da cobertura vegetativa da região do município de Igaracy, PB. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade.** [S.l.]: Congestas, 2016. V. 4. p. 832-842. ISSN 2318-7603. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2016/trabalhos/pdf/congestas2016-et-03-008.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2020.

FINOTTI, A. R. et al. **Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas.** Caxias do Sul: EDUCS, 2009.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FLORENZANO, T. G. et al. Formação de professores universitários em sensoriamento remoto através de ensino a distância. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos, SP: INPE, 2005. p. 1279-1285.

FRANÇA, R. M. Proposta metodológica de identificação do alto, médio e baixo curso da Bacia Hidrográfica do Cocó, Ceará, Brasil. **Revista Geosaberes**, Fortaleza, v. 10, n. 21, p. 1-11, mai./ago. 2019. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/332816785_Proposta_metodologica_de_identificacao_do_alto_medio_e_baixo_curso_da_bacia_hidrografica_do_Rio_Coco_Ceara_Brasil/link/5ccb11c5a6fdcc4719836071/download>. Acesso em: 17 jul. 2020.

FREITAS, Marcos Wellauses Dias de. **Estudos integrado e modelagem da dinâmica da paisagem no alto Uruguai (RS-SC)**. 2013. 149 f. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013. Disponível em:

<<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/03.27.14.41/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

FUNDAÇÃO CASA DA CULTURA DE MARABÁ – FCCM. Viagem ao Itacaiunas (2015). Disponível em: <<http://casadaculturademaraba.org/>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

FURLAN, S. A. Técnica de Biogeografia. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

FURTADO, D. A.; KONIG, A. **Gestão Integrada de Recursos Hídricos**. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008. Disponível em:

<https://document.onl/download/link/livro-gestao-integrada-de-recursos-hidricos#google_vignette>. Acesso em: 01 nov. 2020.

GAMEIRO, Samuel et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terrae**, n. 13, p. 15-22, 2017. Disponível em:

<<https://www.ige.unicamp.br/terrae/V13/PDFv13/TE067-2.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2020.

GUEDES, I. C. et al. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista UNG – Geociência**, v. 5, n. 1, p. 75-102, 2006.

HOFFMANN, E. L. et al. Variabilidade das chuvas no Sudeste Paraense, Brasil.

Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 4, 2018. Disponível em:

<<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234327>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol Soe. Am. Bull.**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.

Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação. Rio de Janeiro, 2017. ISSN 1517-1450. (Estudos e Pesquisas – Informações Geográficas, 11). Disponível em:

<<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100643.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2020.

- _____. **IBGE explica PIB**. Rio de Janeiro, [S.d.]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 01 jul. 2020.
- _____. **Malha Municipal, 2019**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 18 set. 2019.
- _____. **Manual Técnico de Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012. ISBN 9788524042720. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=263011>>. Acesso em: 01 mai. 2020.
- _____. **Manual Técnico de Uso e Ocupação da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. ISBN 9788524043079. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2020.
- _____. **Manual Técnico de Pedologia**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007. (Manuais Técnicos em Geociências, 4). Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2020.
- _____. **Mapa Geomorfológico do Estado do Pará**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades_da_federacao/pa_geomorfologia.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- _____. **Panorama – IBGE Cidades**. Rio de Janeiro, [S.d.]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/maraba/panorama>>. Acesso em 04 nov. 2018.
- _____. **Parauapebas, Pará – PA**. Rio de Janeiro, [S.d.]. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/para/parauapebas.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Landsat**. Divisão de Geração de Imagens. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/es/dgi/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 01 jul. 2018.
- JOLY, Fernand. **A Cartografia**. 4. ed. Campinas: Papirus, 2001.
- KOBIYAMA, Masato et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der Klimatologie**. v. 6. Berlin: G. Borntraeger, 1939.
- LACAZE, J. P. **O Ordenamento do Território**. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.
- LÁU, Hugo Didonet. **Pecuária no estado do Pará: índices, limitações e potencialidades**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.

LEAL, Antonio Cezar. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, ano 3, n. 6, p. 65-84, 2. sem. 2012. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/2447/13988>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

LIMA, Ernane Cortez; SILVA, Edson Vicente de. Estudos geossistêmicos aplicados à bacia hidrográfica. **Revista Equador**, Teresina, v. 4, n. 4, p. 3-20, jul./dez. 2015. Disponível em: <<https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/download/4367/2610>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

MAGALHÃES, L. F. A. Fontes de dados demográficos e estudos de população em Santa Catarina. **Revista NECAT**, ano 4, n. 7, jan.-jun. 2015. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YHoyworvjpoJ:incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/necat/article/download/3624/4268+&cd=4&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

MARABÁ (Município). **Lei nº 17.846, de 29 de março de 2018**. Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor Participativo do Município de Marabá, instituído pela Lei Municipal nº 17.213, de 09 de outubro de 2006. Disponível em: <http://www.governotransparente.com.br/transparencia/documentos/4466490/download/29/Plano_Diretor_Participativo_%2017.846_Mar%C3%A7o_2018.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2018.

MARCUZZO, F. F. N. et al. Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Paraíba. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9, 2012, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2012.

MARCUZZO, F. F. N. et al. Hipsometria da sub-bacia 17 na Região Hidrográfica do Rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40, 2011, Cuiabá, MT. **Anais...** Cuiabá, 2011. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17247/3/Hipsometria%20SB%2017%20.pdf>>. Acesso em: 01 de nov. 2020.

MARTINELLI, Marcelo. **Cartografia Temática**: caderno de mapas. São Paulo: EDUSP, 2003.

MATIAS, L. F. **Sistema de Informação Geográfica (SIG)**: teoria e método para representação do espaço geográfico. São Paulo: USP, 2001. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/geousp/article/download/123791/119980>>. Acesso em: 05 de nov. 2018.

MENDONÇA, Francisco. Geografia socioambiental. **Terra Livre**, São Paulo, n. 16, p. 139-158, 1. sem. 2001.

MENDONÇA, R. A. M. de et al. **Uso das geotecnologias na gestão ambiental**: experiência na Amazônia meridional. Cuiabá: Instituto Centro de Vida, 2011. Disponível em: <<https://www.icv.org.br/drop/wp-content/uploads/2013/08/uso-das-geocnologias-para-gest%C3%A3o-ambiental.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

MILANEZ, Bruno. **Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação**. Boletim regional, urbano e ambiental, 16 jan-junh, 2017. Disponível em: < <https://www.ufjf.br/poemas/files/2014/07/Milanez-2017-Minera%C3%A7%C3%A3o-ambiente-e-sociedade.pdf> >. Acesso em: 01 ma. 2021.

MONTARROYOS, Heraldo E. História do Burgo de Itacaiunas e da Casa Marabá: a origem de uma cidade amazônica. Parte 1. **Revista história-e-história**, jan. 2013.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

NUNES ARAÚJO, Alan. **Análise integrada da bacia hidrográfica do rio Araguari – AP: subsídio ao planejamento ambiental**. 2019. 280 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

OLIVEIRA, J. T. **Geoprocessamento aplicado no estudo de identificação das zonas inundáveis no município de Belo Vale – MG**. 2013. 29 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

OLIVEIRA, P. T. S. de et al. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 8, p. 819-825, 12 mar. 2010. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 08 jun. 2018.

OLIVEIRA, R. C.; ARAÚJO, R. C. Estudo da ocorrência de mudanças temporais na precipitação e descarga da sub-bacia da Rio Itacaiunas, Sudeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 02, 148-156, 2013.

PAIVA, E. M. C. D. Rede de Monitoramento Hidrológico. In: PAIVA, J. B. D. de; _____. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 493-506.

PAIVA, J. B. D. de.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

PAUNGARTTEN, S. P. L.; BORDALO, C. A. L.; LIMA, A. M. M. de. Análise evolutiva da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica (PA): processos, dinâmica e tendências. **Ambiente & Educação**, Rio Grande, RS, v. 21, n. 2 – Edição Especial V CBAAAGT, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/65244>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

PERICO, Edimar. **Análise estrutural da província Maroni-Itacaiunas e da bacia do Amazonas na região de Altamira (PA)**. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PRESS, F. et al. **Para entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

QGIS – Um sistema de informação geográfica livre e de código aberto. Disponível em: <<https://www.qgis.org/en/site/>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

QUEIROZ NETO, J. P. de. Pedologia: conceito, método e aplicações. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 3, p. 95-102, 1984.

RICCOMINI, C. et al. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Cia. Editora Nacional, 2009.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. **Pecuária e Desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia**. Nova Economia, Belo Horizonte, p. 41-66, janeiro-abril de 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/neco/v19n1/03.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

ROCHA, César H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: Edição do Autor, 2000.

RODRIGUES, J. C. **Marabá: centralidade urbana de uma cidade média paraense**. 2010. 188 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e Gestão Ambiental: subsídio da Geoecologia das Paisagens e da Teoria Geossistêmica**. Fortaleza: UFC, 2016.

RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: UFC, 2017. Disponível em: <<http://editora.ufc.br/catalogo/20-ciencias-politicas/86-geoecologia-das-paisagens-uma-visao-geossistemica-da-analise-ambiental-3-edicao>>. Acesso em: 01 jul. 2020.

ROLIM, S. G. et al. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amaz.**, Manaus, v. 36, n. 1, jan./mar. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672006000100013>. Acesso em: 12 out. 2020.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. O registro cartográfico dos fatores geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47108>>. Acesso em: 01 mar. 2021.

SANTOS, A. M. et al. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, 2012. Disponível em: <[https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n3/v7n3a16/#:~:text=A%20rela%C3%A7%C3%A3o%20de%20relevo%20\(Rr,a%20declividade%20m%C3%A9dia%20da%20bacia](https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n3/v7n3a16/#:~:text=A%20rela%C3%A7%C3%A3o%20de%20relevo%20(Rr,a%20declividade%20m%C3%A9dia%20da%20bacia)>. Acesso em: 01 dez. 2020.

SANTOS, Clícia da Silva. **Dinâmica da paisagem do alto curso da Bacia Hidrográfica do Igarapé-Açu – PA: subsídios ao planejamento ambiental**. 2018. 130

f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

SANTOS, J. A. **Análise dos riscos ambientais relacionados às enchentes e deslizamentos na favela São José, João Pessoa – PB.** 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

SANTOS, J. O. S. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L. A. et al. (Org.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil:** texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2013. p. 169-226.

SANTOS, J. O. S. et al. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. **Gondwana Research**, v. 3, n 4, p. 453-488, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70755-3](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70755-3)>.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental:** teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SÃO BERNARDO DO CAMPO (Município). **Defesa Civil de São Bernardo do Campo, São Paulo.** São Bernardo do Campo, SP, 2011. Disponível em: <<http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>>. Acesso em: 06 mai. 2018.

SCHERER, Rafael dos Santos. **Ocorrência de espeleotemas fosfáticos e feições morfológicas raras em cavernas ferríferas da Serra dos Carajás, no Pará.** Dissertação (Mestrado) – Instituto Tecnológico Vale, Belém, 2017. Disponível em: <<http://www.itv.org/wp-content/uploads/2018/03/Dissertac%CC%A7a%CC%83o-Rafael-Scherer.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2019.

SILVA, C. M. G.; VILLAS, R. N. O depósito de sulfetos de Fe-Cu ± Au de águas claras, região de Carajás, Pará, Brasil: contexto geológico, alteração hidrotermal e fluidos mineralizantes. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 8, n. 3, 1998. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11229>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

SILVA, C. N.; PAULA, C. Q.; SILVA, J. M. P. (Org.). **Produção espacial e dinâmicas socioambientais no Brasil setentrional.** 1. ed. Belém: GAPTA/UFPA, 2019.

SILVA, João Márcio Palheta da; LIMA, Ricardo Ângelo Pereira de. Economia mineral e os impactos nos territórios amazônicos no Sudeste Paraense. **Planeta Amazônia**, Macapá, n. 9, p. 103-116, 2017. ISSN 2177-1642. Disponível em: <<https://periodicos.unifap.br/index.php/planeta/article/view/3959>>. Acesso em: 09 ago. 2020.

SILVA, Marta Zorzal de. Estratégia empresarial e desenvolvimento econômico: o caso da companhia Vale do Rio Doce. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPAD, 25, 2001, Campinas, SP. **Anais...** Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/enanpad2001-pop-408.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2020.

SILVA, Ronis Cley Fontes da. **Caracterização morfométrica da microbacia para definição de setores inundáveis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Licenciatura e Bacharelado em Geografia, Faculdade de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2018.

SILVA, Ronis Cley Fontes da et al. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica urbana denominada Grota Criminosa em Marabá – Pará, Brasil. In: SINAGEO, 12, 2018, Crato, CE. Paisagens e biodiversidades: a evolução do patrimônio geomorfológico brasileiro. **Anais...** Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/8/8-529-2108.html>>. Acesso em: 15 out. 2018.

SILVA, R. F. **Diagnóstico socioambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Calabouço – PB/RN**. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

SILVA JÚNIOR, A. R. **Indicadores de vulnerabilidade, risco socioambiental e educação ambiental para prevenção e mitigação de desastre natural na bacia hidrográfica do Tucunduba, Belém – PA**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

SILVA JÚNIOR, R. O. da. **Resposta hidrológica devido às mudanças no uso do solo e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Itacaiunas (BHRI) – Amazônia Oriental**. 2017. 136 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

SILVA JÚNIOR, R. O. da et al. Estimativa de precipitação e vazão médias para a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI), Amazônia Oriental, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 05, p. 1638-1654, 2017.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo dos geossistemas**. São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1977. (Métodos em Questão, 6).

SOUZA, C. G. et al. **Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: EMATER, 2002.

SOUZA, Marcelo Lopes de. **Mudar a cidade**: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbana. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

SOUZA, S. Z. et al. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic contrasts on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane and the Carajás block. In: SIMPOSIUM ARCH. TERR. SOUTH AMERICA PLATFORM, 1996, Brasília. **Anais...** Brasília: SBG, 1996. p. 31-32.

SOUZA-FILHO, P. W. et al. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiunas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, 167, 2016, p. 175-184. Disponível em:

<<https://scholar.google.com.br/citations?user=yK3BKfKAAAAJ&hl=pt-BR>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117-1142, 1952.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. **A evolução tectônica do Cráton Amazônico**. In: MANTESSO NETO, V. et al. (Org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 471-486.

TIEPPO, R. C. et al. Análise de interpolação na geração de mapas de precipitação para o estado do Mato Grosso. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3, 2010, Cáceres, MT. **Anais...** Cáceres, MT: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2010. p. 95-105.

TONELLI, Livia Maria. **Canaã dos Carajás; terra prometida para que(m)? a geografia de um saque anunciado na serra sul da província mineral de carajás**. 2018. 173f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de campinas, Instituto de Geociencias. Campinas, SP: [s.n.], 2018. Disponível em:<
http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/332722/1/Tonelli_LiviaMaria_M.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2021.

TREVETT, J. W. **Imaging Radar Resources Surveys**. London: Chapman and Hall, 1986.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: SUPREN, 1977.

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

_____. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Porto Alegre, RS: Ministério das Cidades; Global Water Partnership; World Bank; Unesco, 2005. UNESCO.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo, n. 70, 2006.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. Science for a changing world. **Earthexplorer – home**. SRTM 1 arc-second global: 23 set. 2014. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 01 set. 2019.

_____. **What are the band designations for the Landsat satellites?** Disponível em: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products>. Acesso em: 27 jul. 2020.

VALE, Cláudia Câmara do. Teoria Geral do sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, ano 3, n. 6, p. 85-108, 2. semestre de 2012.

VALE S. A. **A Vale no Pará: Relatório Regional 2015**. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/environmental-social/iniciativas-sociais-para/Documents/Relatorio_Vale_Para_2016.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2020.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. INPE-10550-RPQ/756.

VASCONCELLOS, Ricardo Moacyr de. **GeoTIFF: uma abordagem resumida do formato**. Rio de Janeiro: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2002. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/447/1/geotiff.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará**. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008.

VELOSO, H. P. et al. (Org). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE/Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.

VENTURI, L. A. B. **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2009.

_____. **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Sarandi, 2011.

VIDAL, M. R.; MASCARENHAS, A. L. S. Perfil geoecológico da Aldeia Indígena Kykatêjê a partir do modelo digital do terreno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18, 2017, Santos, SP. **Anais...** Santos, SP: SBSR, 2017.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. de. Conceito e Aplicações das Relações Pedologia-Geomorfologia em Regiões Tropicais Úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, p. 145-192, 2005. Disponível em: <https://www.academia.edu/42999220/Conceitos_e_Aplica%C3%A7%C3%B5es_Das_Rela%C3%A7%C3%B5es_Pedologia_Geomorfologia_Em_Regi%C3%B5es_Tropicais_%C3%9Amdas_T%C3%B3picos_em_Ci%C3%A4ncia_do_Solo>. Acesso em: 10 mar. 2020.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw Hill, 1975.

ZENKO, Zdenka et al. General Systems Theory Completed Up by Dialectical Systems Theory. **Systems Research and Behavioral Science Syst. Res.**, 30, p. 637–645, 2013. Disponível em: <<https://ur.booksc.org/book/23487311/45f36a>>. Acesso em: 01 mar. 2021.