



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

ALEXANDRE AUGUSTO CARDOSO LOBATO

**ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO
AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ,
ALTAMIRA-PA**

Altamira-PA
2021

ALEXANDRE AUGUSTO CARDOSO LOBATO

**ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO
PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ, ALTAMIRA-PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO), do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas (IFCH), da Universidade Federal do Pará (UFPA), para obtenção do Título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Dinâmicas socioambientais e recursos naturais na Amazônia.

Orientador: Profº Drº Carlos Alexandre Leão Bordalo

Coorientador: Profº Drº Éder Mileno Silva De Paula

Altamira-PA
2021

ALEXANDRE AUGUSTO CARDOSO LOBATO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO), do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas (IFCH), da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito para obtenção do Título de Mestre em Geografia. Área de concentração: Dinâmicas Socioambientais e Recursos Naturais na Amazônia.

Altamira-PA, 27 de agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profº Drº Carlos Alexandre Leão Bordalo (Orientador e Presidente – PPGEO/UFPA)

Profº Drº Gabriel Alves Veloso (Examinador Interno – PPGEO/UFPA)

Profª Drª Luziane Mesquita da Luz (Examinadora Externa – FGC/UFPA)

Profº Drº Éder Mileno Silva De Paula (Coorientador – PPGEO/UFPA)

Altamira-PA
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

L796a Lobato, Alexandre Augusto Cardoso Lobato.
ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-
BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ, ALTAMIRA-PA /
Alexandre Augusto Cardoso Lobato Lobato. — 2021. 124 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo
Coorientador(a): Prof. Dr. Eder Mileno Silva de Paula
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências
Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belém, 2021.

1. Geoecologia da Paisagem. 2. Bacias Hidrográficas. 3. Hidrelétricas. 4. Rio Xingu. I. Título.

*A meus pais Jesus e Silvana, a minha querida avó paterna
Garimar Lobato e minha avó materna Maria das Graças.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO), por me oportunizar alcançar mais esse este sonho.

Ao meu orientador, professor Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo, pela compreensão, orientação, parceria e paciência na condução desta pesquisa.

Ao meu coorientador, professor Dr. Éder Mileno Silva De Paula, por todo apoio e direcionamento nesta caminhada e pelos valiosos ensinamentos geográficos, pois sem eles, não seria possível finalizar esta dissertação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO), em especial aos professores Dr. Gabriel Alves Veloso, Dr. José Antônio Herrera e Dr. José Queiroz Miranda Neto.

Aos professores da Faculdade de Geografia (FACGEO), Wellington de Pinho Alvarez e Daniel Mallmann Vallerius, por todos os ensinamentos e conselhos durante a elaboração desta pesquisa.

Aos meus amigos da Comunidade Jarumã em Abaetetuba, Robson Pantoja, Alex Pantoja, Clenilson Barreto e Jonathan Lucas, pela parceria e amizade de sempre.

Ao meu amigo/irmão, Thiago Silva dos Santos, pela amizade e parceria de todos esses anos, sem seus conselhos e amizade não estaria concluindo mais esta etapa na minha vida acadêmica.

A minha amiga Edilane Bezerra, pela amizade e pelas excelentes contribuições nos processos metodológicos e conceituais desta pesquisa.

Aos meus companheiros de turma, Ruan da Conceição (*in memoriam*), Genilson Santana, Francivaldo Mendes, Guilherme Brito, Meyjael Antônio, Cicero Nascimento, Dayse Leite e Jane Sarmento, pelo companheirismo e auxílio durante as disciplinas.

Ao meu amigo/irmão Jhonata Ribeiro, pela amizade e companheirismo de todas as horas.

Enfim, agradeço e dedico este trabalho a toda população do médio Xingu e, mais especificamente, da cidade de Altamira.

RESUMO

Apesar do Bioma Amazônico ter um valor incalculável para equilíbrio e manutenção da vida no planeta, nos últimos anos tem sofrido pela construção de controversas obras de infraestrutura, em especial a abertura de rodovias e construção de usina hidrelétricas, como a Rodovia BR-230 (Transamazônica) e a Usina Hidrelétrica de Belo Monte, tal como aconteceu na bacia hidrográfica do Rio Xingu e que acarretou, e ainda pode acarretar, muitas modificações em diversas escalas espaciais, principalmente na local. Para tanto, é de suma importância entender o funcionamento dessas paisagens suas tendências de modificações oriundas das atividades humanas, fornecendo assim subsídios para se planejar usos ambientalmente sustentáveis. Adotando o conceito de bacias hidrográficas como unidades físico-territoriais para mensuração de impactos socioambientais, e a geoecologia das paisagens como metodologia de análise ambiental sistêmica, nesta pesquisa objetiva-se estudar o funcionamento e as modificações provocadas pela abertura da Rodovia Transamazônica e pela construção do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte na Sub-Bacia Hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA), cuja extensão territorial é cortada pela referida rodovia e se localiza dentro da Área de Influência Direta (AID) e da Área Diretamente Afetada (ADA) do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, e que drenam a área urbana da cidade de Altamira no Estado do Pará. As análises evidenciaram que 45% das paisagens da SBHA estão com processos morfogênicos atuantes e 29% estão com vulnerabilidade ambiental moderada e em um frágil estágio de equilíbrio ecodinâmico, o que evidencia a importância de se pensar alternativas de usos para essas paisagens.

Palavras-chave: Paisagem; Geoecologia; bacia hidrográfica; hidrelétricas; Rio Xingu.

ABSTRACT

Although the Amazon Biome has an incalculable value for the balance and maintenance of life on the planet, in recent years it has suffered from the construction of controversial infrastructure works, in particular the opening of highways and construction of hydroelectric plants, such as the BR-230 Highway (Transamazônica) and the Belo Monte Hydroelectric Power Plant, as happened in the Xingu River hydrographic basin, which caused and can still entail several modifications at different spatial scales, mainly at the local level. Therefore, it is extremely important to understand the functioning of these landscapes and their tendencies towards changes arising from human activities, thus providing subsidies to plan environmentally sustainable uses. Adopting the concept of hydrographic basins as a physical-territorial unit for measuring socio-environmental impacts and the geocology of landscapes as a methodology for systemic environmental analysis, this research aims to study the operation and changes caused by the opening of the Transamazon Highway and its construction of the Belo Monte Hydroelectric Complex in the Igarapé Ambé hydrographic sub-basin which has its territorial extension cut by the aforementioned highway and is located within the Direct Influence Area (AID) and the Directly Affected Area (ADA) of the Belo Monte Hydroelectric Complex and that drain the urban area of the city of Altamira in the State of Pará. The analyzes show that 45% of the SBHA's landscapes are with active morphogenetic processes and 29% are with moderate environmental vulnerability and in a fragile stage of ecodynamic balance, which shows the importance of thinking about alternative uses for these landscapes.

Keywords: Landscape; Geocology; hydrographic basin; hydroelectric plants; Xingu River.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura de um Geossistema segundo Bertrand (1969).	26
Figura 2: Modelo sistêmico do funcionamento da paisagem, absorção, transformação e consumo EMI.	27
Figura 3: Sequência de correção de píxeis nulos no SRTM (A), (B) realce dos valores nulos (em vermelho), (C) aplicação do FocalStatistics, (D) aplicação condicional da correção.	39
Figura 4: Composição de bandas do satélite Sentinel 2-B.	41
Figura 5: Escala de vulnerabilidade ambiental.	45
Figura 6: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.	48
Figura 7: Planície de Fluvial no baixo curso da SBHA.	59
Figura 8: Planície Fluvial com processo de deposição de solos lixiviados no médio curso da SBHA.	59
Figura 9: Terraço Fluvial na SBHA.	61
Figura 10: Colinas Amplas e Suaves com topos convexos.	62
Figura 11: Vista a área de nascente dentro do perímetro urbano da cidade de Altamira, PA.	66
Figura 12: Área de Pastagem em Latossolo Vermelho e Amarelo.	73
Figura 13: Planossolos Hidromórficos Distróficos com cobertura herbácea no exutório da SBHA.	74
Figura 14: Argissolo Vermelho-Amarelo.	75
Figura 15: Trecho da Rodovia Transamazônica em construção na década de 1970.	76
Figura 16: Moradias na cidade de Altamira em cima de palafitas na planície fluvial do Igarapé Ambé.	79
Figura 17: Imagem aérea das ocupações irregulares na cidade de Altamira na planície de fluvial da SBHA nas proximidades do exutório.	80
Figura 18: Produção de tijolos manual na cidade de Altamira na planície do SBHA. .	82
Figura 19: Localização da ADA Urbana em Altamira.	84
Figura 20: Projetos de requalificação da ADA Urbana da cidade de Altamira.	85
Figura 21: Área de Pastagem na SBHA.	91
Figura 22: Áreas de pastagem sob relevo colinoso e vias de acesso na SBHA.	93
Figura 23: Perfil esquemático das fácies da Floresta Ombrófila Aberta Submontana. .	94
Figura 24: Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras na SBHA.	94

Figura 25: Corte e queima de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras na SBHA....	95
Figura 26: Áreas de Vegetação Secundária na SBHA.	96
Figura 27: Área urbana com moradias de palafitas na SBHA.	97
Figura 28: Área de Floresta Ombrófila Aberta de Influência Fluvial na SBHA.....	98
Figura 29: Áreas de Vegetação Herbácea de Influência Fluvial com infestação de macrófitas.	99
Figura 30: Unidade geocológica Planície Fluvial do Igarapé Ambé no alto curso (a) e baixo curso (b).	102
Figura 31: Unidade geocológica da Planície Fluvial no baixo curso da SBHA.....	103
Figura 32: Terraço Fluvial com o uso de pastagem na SBHA.....	105
Figura 33: Área de Pastagem na Unidade Geocológica de Colinas Amplpas e Suaves da Formação Alter do Chão.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores das classes dos componentes geoecológicos da sub-bacia do Igarapé Ambé para o tema de Vulnerabilidade Ambiental (VA).....	45
Tabela 2: Peso dos Componentes Ambientais para Vulnerabilidade Ambiental.....	47
Tabela 3: Síntese das características dos canais fluviais da SBHA.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Formas de interpretação e operacionalização do planejamento ambiental. .	32
Quadro 2: Informação quanto a Origem, fonte e escala de mapeamento ou imageamento.....	37
Quadro 3: Chave de interpretação e definição das classes presentes na SBHA.	42
Quadro 4: Escala de Valores AHP para comparação pareada.	46
Quadro 5: Matriz da Comparação pareada dos componentes geoecológicos.....	46
Quadro 6: Unidades das Unidades Litoestratigráficas presente na SBH do Igarapé Ambé.	55
Quadro 7: Associação de solos da SBHA.	70
Quadro 8: População no município de Altamira entre 1960 e 2010.....	78
Quadro 9: Empreendimentos imobiliários entre os anos de 1981 e 2009 dentro da SBHA.	80
Quadro 10: Síntese das características das unidades geoecológicas da SBHA.	107
Quadro 11: Vulnerabilidade Ambiental em relação as unidades geoecológicas da SBHA.	111
Quadro 12: Vulnerabilidade Ambiental e alternativas e mitigações.....	113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Pluviometria Média, Temperatura Min e Max Média mensal entre 1989 e 2019, mensurados pela estação de Altamira.....	49
Gráfico 2: Cota média mensal entre 1989 e 2015, mensurados pela estação de Altamira da CPRM.....	53
Gráfico 3: Vazão média mensal entre 1989 e 2015, mensurados pela Estação de Altamira da CPRM... ..	54
Gráfico 4: Proporção de uso da terra e cobertura vegetal da SBHA entre 1985 e 2014.....	88
Gráfico 5: Distribuição percentual das Unidades Geoecológicas na SBHA.....	102
Gráfico 6: Vulnerabilidade ambiental (VA) geral da SBHA.	109

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização regional da sub-bacia hidrográfica do igarapé Ambé.....	20
Mapa 2: Mapa do Contexto Climático Regional da SBHA.....	50
Mapa 3: Unidades geológicas da SBHA.....	57
Mapa 4: Espacialização das formas do relevo da SBHA.....	63
Mapa 5: Altimetria da SBHA.....	65
Mapa 6: Declividade da SBHA.....	65
Mapa 7: Rede de drenagens e nascente da SBHA.....	68
Mapa 8: Hierarquia Fluvial da SBHA.....	69
Mapa 9: Associação de solos da SBHA.....	71
Mapa 10: Bairros e aglomerados subnormais na SBHA em 2010.....	81
Mapa 11: Locais de exploração de argila na SBHA em 2010.....	83
Mapa 12: Bairros e aglomerados subnormais na SBHA entre 2010 e 2019.....	87
Mapa 13: Mapa multitemporal de uso da terra e cobertura vegetal da SBHA entre 1985 e 2019.....	90
Mapa 14: Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da SBHA.....	92
Mapa 15: Unidades Geoecológicas na SBHA.....	101
Mapa 16: Vulnerabilidade e Ecodinâmica da Sub-bacia do Igarapé Ambé.....	110

LISTA DE SIGLAS E ABREVIÇÕES

AHP	Análise de Processo Hierárquico
ANA	Agência Nacional das Águas
CPRM	Serviço Geológico Brasileiro
CV	Cobertura Vegetal
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
EMI	Energia, Matéria e Informação
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
FUNAI	Fundação Nacional dos Índios
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	National Aeronautics and Space Administration
°C	Graus Celsius
PRODES	Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
SEDAP	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca
SEMAS-PA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SBHA	Sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UFPA	Universidade Federal do Pará
USGS	Serviço Geológico Americano
UG	Unidades Geológicas
UHE	Usina Hidroelétrica
VA	Vulnerabilidade Ambiental
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
1.1. Fundamentos teóricos da construção do conceito de paisagem	21
1.2. A concepção sistêmica nos estudos da Paisagem: Dos Geossistemas à Geocologia da Paisagem	24
1.3. Bacia hidrográfica como sistema ambiental	28
1.4. Bacia hidrográfica com unidade de planejamento ambiental	30
1.5. Geocologia das Paisagens aplicada no planejamento ambiental em bacias Hidrográficas	32
CAPÍTULO 2: MATERIAIS E METODOLOGIA	35
2.1. Fases de Organização e Inventário	36
2.1.1. Mapa de climático regional	38
2.1.2. Geologia, Geomorfologia e solos	38
2.1.3. Histórico de uso da terra e cobertura vegetal	40
2.2. Fases de Análise e diagnóstico	43
2.2.1. Definição das Unidades Geocológicas	44
2.2.2. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental	44
2.3. Fase Prepositiva	47
CAPÍTULO 3: INVENTÁRIO GEOECOLÓGICO DA SBHA	49
3.1. Clima e regime e hidrológico	49
3.2. Geologia	54
3.3. Geomorfologia	58
3.4. Hidrografia	66
3.5. Associação de solos	70
3.6. Histórico de ocupação, usos da terra e cobertura vegetal da sub-bacia hidrográfica do igarapé Ambé (SBHA)	75
3.6.1. Principais vetores históricos de alterações no uso da terra e cobertura vegetal da SBHA	76
3.6.2. Uso da terra e cobertura vegetal da SBHA – 2019	91
CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO GEOECOLÓGICO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ (SBHA): PROBLEMAS AMBIENTAIS E VULNERABILIDADE AMBIENTAL	100
4.1. Estrutura Geocológica da SBHA	100
4.2. Ecodinâmica e Vulnerabilidade ambiental da SBHA	108

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica amazônica com sua vasta rede hidrográfica corresponde a cerca de 6 milhões de quilômetros quadrados, detém complexos ecossistemas que fornecem imprescindíveis serviços ambientais, estabilizando o clima através do sequestro de carbono e protegendo espécies vegetais e animais (FEARNSIDE, 2001; ROCHA et al., 2004).

As paisagens amazônicas possuem valor ambiental incalculável, no entanto, nas últimas décadas vem sofrendo grandes modificações, de forma mais significativa a partir da década de 1970 quando o governo militar assumiu um grande plano de intervenção na Região Amazônica, principalmente, a partir das políticas de ordenamento territorial e colonização orientada, visando ocupar um suposto vazio demográfico.

Becker (2001) discorre que, entre os incentivos para ocupação da amazônica, estava a implantação de grandes infraestruturas de redes rodoviárias, hidrelétricas e polos de agricultura e pecuária.

As rodovias tiveram um papel de frente pioneira para ocupação da região amazônica, principalmente a BR-230 (Rodovia Transamazônica) que no seu eixo rodoviário foi criada uma faixa de 100 km para atrair mão-de-obra de diversas regiões do Brasil por meio do Programa de Integração Nacional (PIN), organizado pelo Instituto Nacional de Reforma Agrária (INCRA) (VENTURIERI, 2003). Através da frente pioneira milhares de famílias de agricultores se instalaram na Amazônia (KITAMURA, 1994).

Outro grande projeto implementado na região amazônica foi o Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia – Polamazônia, que propiciou as condições necessárias para consolidação de atividades agropecuárias e mineradoras na Amazônia (KOHLHEPP, 2002; MONTEIRO, 2005).

Para dar suporte à instalação dos projetos minerários na Amazônia era necessário a criação de uma rede energética capaz de suprir a demanda de energia das plantas de mineração industrial, desta forma optou-se pela construção de usinas hidrelétricas, devido a acentuada queda topográfica e disponibilidade hídrica (FEARNSIDE, 1999; CALVI, 2019).

Em 1987, vazou ao público o “Plano 2010” que visava a construção de 297 barragens em todo Brasil, das quais 79 seriam na Região Amazônica (FEARNSIDE, 2015). Entre essas hidrelétricas estava a hidrelétrica de Belo Monte (antiga Kararaô no Plano 2010). As dificuldades financeiras do Brasil e pressão de organizações não governamentais e sociedade civil forçaram o adiamento dos planos para construção da barragem Kararaô.

A retomada do crescimento industrial nos anos de 1990 acarretou o aumento da demanda de energia, aliado a falta de investimentos no setor elétrico, levou a crise de energia entre os anos de 2001-2002 (FEARNSIDE, 2003). Devido a essa crise, o governo brasileiro começa a esboçar interesse nas retomadas de antigos planos de expansão de produção de energia, voltando os olhos novamente para o potencial hidrelétrico da Amazônia.

Devido a orientação política favorável a construção de hidrelétricas, foi lançado o Plano de Expansão de Energia 2011-2020 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2012) que visava a construção de dezoito novas hidrelétricas na região amazônica, sendo estas usinas de grande porte como a de Belo Monte (11.233 MW) (MORETTO et al., 2012).

Entre as trinta hidrelétricas em operação na Amazônia, o Complexo Hidrelétrico de Belo Monte no rio Xingu, estado do Pará, tem a maior capacidade de geração de energia com 11.233 MW, representando 17% do potencial de produção de energia das hidrelétricas em operação na Amazônia.

A construção do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte iniciou em 2011 e foi concluída em dezembro de 2019, considerada a terceira maior hidrelétrica do mundo em capacidade instalada. Devido à complexidade de Belo Monte, diversas pesquisas vêm buscando entender quais os impactos ambientais e sociais advindos desta obra, bem como, fornecer subsídios para o planejamento ambiental das paisagens impactadas pelo empreendimento.

Entre as áreas impactadas pela Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHE Belo Monte) está a cidade de Altamira no Pará, localizada na margem esquerda do reservatório Xingu e à montante dos barramentos de Pimental e Belo Monte, é uma das áreas que mais sofreu impactos provenientes da construção da UHE Belo Monte, os impactos vão desde reestruturação urbana a reestruturação da base econômica, aumento populacional, entre outros, conforme trabalhos de Miranda Neto (2016) e Leturcq (2016).

A cidade de Altamira está inserida dentro da área hidrodinâmica de três Sub-Bacias Hidrográficas (SBH), dos igarapés: Panelas, Altamira e Ambé. Entre estas podemos destacar a sub-bacia hidrográfica do igarapé Ambé (SBHA), que historicamente vêm sendo palco de uma série de eventos. Entre estes, destacam-se a abertura da Rodovia Transamazônica, na década de 1970 e, mais recentemente, a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, que passou a afetar direta e indiretamente a SBHA.

Com o uso cada vez mais intenso das paisagens amazônicas à serviço da retórica de desenvolvimento e inclusão econômica, percebe-se a necessidade de estudos integrados que

visem investigar as implicações de tais usos nos sistemas ambientais amazônicos, dando subsídios para o planejamento ambiental dessas paisagens.

Nessa perspectiva e adotando a Geoecologia das Paisagens como metodologia capaz de se ter um diagnóstico integrado das paisagens, e partindo do conceito de bacias hidrográficas como sistema aberto, capaz de proporcionar um diagnóstico fidedigno a proporção dos impactos, este trabalho se norteia sobre os seguintes questionamentos: Qual a configuração das paisagens da SBHA? Quais as transformações ocorridas nas paisagens da SBHA a partir da construção da Rodovia Transamazônica e da construção da UHE Belo Monte? Qual o grau de vulnerabilidade ambiental da SBHA?

A hipótese que norteia esta pesquisa é que a construção da rodovia transamazônica na década 1970 e a construção da UHE Belo Monte (2011-2019) alteraram o fluxo de Matéria, Energia e Informação (MEI) das paisagens da SBHA, acarretando a elevação do grau de vulnerabilidade ambiental. Desta forma, somente com o entendimento do funcionamento das unidades geológicas é que se tem subsídios para a elaboração e a execução de ações visando o planejamento ambiental, respeitando os limites e potencialidades dessas unidades.

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo geral analisar, por meio da Geoecologia das Paisagens, as transformações ocorridas nas paisagens da SBHA, proporcionando subsídios para o Planejamento Ambiental. A pesquisa trata como objetivos específicos: compreender os componentes geoambientais da SBHA; analisar as principais transformações ocorridas nas paisagens da SBHA; entender os limites e potencialidades no uso da terra; compreender o funcionamento e grau de vulnerabilidade ambiental das paisagens.

Com base nos objetivos expostos acima, a presente dissertação contém quatro capítulos. O primeiro capítulo refere-se à “Fundamentação Teórica” da pesquisa, onde é discutida a evolução teórica do conceito de paisagem, a metodologia empregada nesta pesquisa – a Geoecologia das Paisagens – discutindo também sobre outros temas de suma importância para a pesquisa, como bacias hidrográficas e planejamento ambiental.

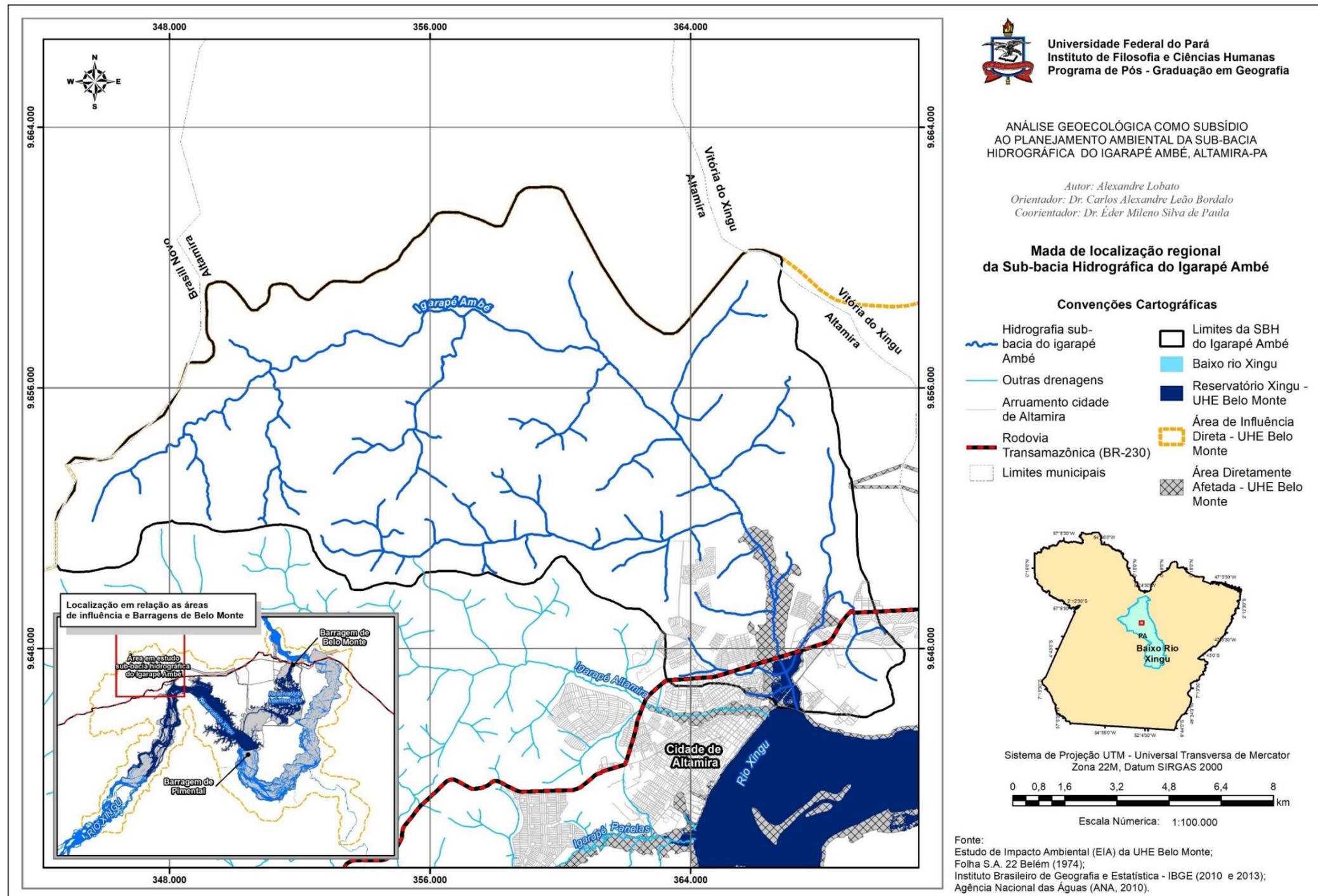
O segundo capítulo “Materiais e Metodologia” refere-se à descrição do percurso metodológico executado na pesquisa, com base nos fundamentos da geoecologia das paisagens, bem como apresentar os procedimentos metodológicos que foram utilizados, a saber coleta e elaboração das informações do inventário geológico, com destaque para os procedimentos cartográficos.

O terceiro capítulo, “Inventário Geoecológico da SBHA”, traz o inventário dos componentes geoecológicos da sub-bacia, a saber: clima e regime hidrológico, geologia, geomorfologia, hidrografia, solos e histórico de uso e cobertura da terra.

O quarto capítulo “Diagnóstico geoecológico da sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA): problemas ambientais e vulnerabilidade ambiental” caracteriza-se o município em quatro unidades geoecológicas presentes na SBHA: Planície Fluvial do Igarapé Ambé, Terraço Fluvial do Igarapé Ambé, Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu, Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão, e suas respectivas funções geoecológicas, com enfoque na ecodinâmica de suas paisagens, e vulnerabilidade ambiental, bem como algumas medidas mitigadoras e preventivas para manutenção do estado ecodinâmico e diminuição da vulnerabilidade ambiental.

Nas “Considerações finais” são abordadas as principais contribuições desta pesquisa para o planejamento ambiental da SBHA.

Mapa 1: Localização regional da sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé



CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. Fundamentos teóricos da construção do conceito de paisagem.

Para entender metodologicamente o conceito de paisagem, faz-se necessário entender suas origens, preposições e complexidades, partindo da ideia de que desde sua origem o homem buscou conhecer os objetos e fenômenos naturais que o cercam, acompanhando as transformações, portanto, estamos sempre desconstruindo saberes antigos e construindo novos (CHIBENI, 2006; GIANNELA, 2008).

Abreu (2017) coloca que a paisagem é presença antiga na cultura humana, fazendo parte do cerne da evolução técnico-cultural do Homem, conduzindo seu psiquismo no processo de aquisição de consciência. Etimologicamente a palavra “paisagem” deriva do latim *Pagus*, e, antes do conceito de paisagem estar ligado à ciência geográfica como categoria de análise, seu sentido estava ligado à observação do meio natural representado em pinturas rupestres, pinturas ocidentais, esculturas, jardins e na observação e representação do meio natural.

As pinturas rupestres no norte da Espanha e na França chamadas de Lascaux datadas entre 30 mil anos a.C e 10 mil anos a.C são exemplos das primeiras observações humanas registradas sobre paisagem (JELLYCOE e JELLYCOE, 1995). Leite (1994) coloca que os povos egípcios e mesopotâmicos nas suas pinturas, também representavam suas observações acerca dos fatores naturais, principalmente, expressos nas relações do homem com os recursos hídricos e clima, sendo essas observações ligadas à visão do observador e seu ângulo de análise.

Maximiano (2004) afirma que o livro bíblico dos Salmos, no antigo Testamento, traz as citações à paisagem quando se refere ao conjunto arquitetônico de Jerusalém. Na modernidade o conceito de paisagem passa por uma reformulação e adesão por vários ramos das ciências¹.

Nessa época, o conceito de paisagem ganha ramos nas artes plásticas, conforme explica Giannella (2008, p. 67) “paisagem aplicava-se aos quadros que apresentam um pedaço da natureza, onde os personagens têm um papel apenas secundário (ideia de janela)”.

¹ Vale ressaltar que a modernidade segundo Giddens (1991) como sendo um estilo e costume e organização social surgiram na Europa a partir do século XVII e se expandiram pelo mundo.

Segundo Claval (2004) o termo paisagem ganha adaptações dotadas de significados nos diversos países da Europa, na Alemanha se forja o termo *landshaft*, e o inglês *landscape*, na Itália ganha o nome de *pays*, nomes diferentes, porém, na prática, todos estavam ligados aos sentidos de lugar de nascença, região ou pátria.

Entre os séculos XVIII e final do século XIX, as correntes de pensadores Alemães trouxeram novas contribuições sobre a paisagem, entre eles Ritter e Humboldt. Humboldt trouxe a paisagem ligada à fisionomia e o aspecto da vegetação, adotando estes como principais elementos de diferenciação das paisagens (MOURA; SIMÕES, 2010). Sendo assim, a vegetação expressaria diferenças entre clima, solo e suas relações com os seres, condicionando as diversas variações de paisagem.

Ritter em sua obra “Geografia Comparada” apresenta metodologicamente formas a superfície da Terra, a partir da análise comparativa e descritiva entre regiões, com base na sequência de Humboldt partindo Cosmos para a Terra (BARREIROS, 2017). Claval (2014) argumenta que Ritter considerou o planeta como habitat da humanidade, passando a considerar o homem como transformador da superfície da terra, estudando assim os impactos da sociedade nos elementos naturais.

No final do século XIX Friedrich Ratzel trabalha a paisagem como resultante de uma relação de causa e efeito. A partir das teorias de Ratzel se formula uma corrente teórica chamada de *Landshaftskunde*, que, segundo Maximiano (2004), é uma ciência da paisagem sob uma ótica territorial, expressando espacialmente as estruturas e formas da natureza, organizadas por leis.

A partir da obra de Sigrifid Passarge, “*Grundlagen der Landshaftskunde*” (1919-1920) criou-se uma corrente chamada de Geografia da Paisagem. Rougerie e Beroutchachvili (1991) argumentam que a obra de Passarge passa a entender a paisagem como a expressão espacial de elementos naturais correlatos com elementos sociais, sendo compreendidos de forma multiescalar, hierárquica e territorial, onde a escala de análise pode determinar o grau de integração entre a sociedade e a natureza.

Ainda no século XX Ferdinand Von Richtofen trouxe grandes contribuições teóricas e metodológicas, trazendo abordagens pioneiras na geomorfologia da época, como a classificação das formas do relevo com base na sua gênese e evolução. Segundo Abreu (2017), Richthofen (1833 – 1905) foi o responsável por produzir guias de observação de campo para produção cartográfica, sendo considerado o primeiro manual moderno de geomorfologia.

Richthofen analisou as obras teóricas de Humboldt, Ritter e Ratzel para assim propor seu método de análise geográfica, chegando as conclusões que: Humboldt trouxe avanços na ciência Geográfica a partir do avanços nas análises corológicas e a percepção do inter-relacionamento dos fenômenos; Ritter trouxe uma proximidade entre a geografia e a história, bem como, reconheceu a influência recíproca entre homem e natureza na abordagem corológica. Já Ratzel foi o único a desenvolver método próprio, em busca da relação de causa e efeito.

Abreu (2017, p. 150) discorre que:

A partir dessa revisão Von Richthofen propõe um método para a análise geográfica, no qual a proposta de Humboldt é bastante valorizada e que pode ser expressa na análise dos fatos a partir de 4 pontos de vista: 1º) a configuração material ou visível (äussere Gestaltung); 2º) a articulação das partes (Zusammensetzung); 3º) as relações de causalidade (ursächlichen Beziehungen) e; 4º) o desenvolvimento genético (genetische Entwicklung).

Com base na *Landshaftskunde*, o biogeógrafo Carl Troll (1971) traz a abordagem multiescalar dos fenômenos divididos ecótopo, menor unidade ecológica, a zona paisagística onde as diferenciações regionais da superfície estão em interação espacial dos elementos e interrelação funcional do sistema ecológico (BARREIROS, 2017). Troll cria o modelo de análise a partir de sítios, criando a ecologia de paisagem, entendendo partes específicas da natureza, como o clima, para entender a gênese do problema.

A contrapartida as ideias de paisagens da escola alemã à escola francesa foi uma abordagem diferente da *Landshaftskunde* positivista, impulsionados principalmente pelo professor Paul Vidal de La Blache, o termo paisagem foi substituído por “região”, que está mais ligado a trajetória de vida e aos diferentes níveis técnicos empregados em território.

Para Name (2011), La Blache em alguns momentos, pode substituir o termo “cultura”, uma vez que seu conceito se resume em um processo dinâmico que expressa a “maneira de ser de cada grupo” em um determinado território, onde esses grupos se adaptam por meio de uma herança cultural e técnica que é transmitindo geração por geração por meio dos hábitos.

Para Rougerie e Beroutchachvili (1991), La Blache investigou o ordenamento e valorização da paisagem e suas transformações através dos estudos regionais e detalhados, estudando a trajetória da sociedade sobre a superfície e suas alterações sobre as fisionomias regionais.

Até a segunda metade do século XIX as escolas francesas e alemãs eram os principais polos de difusão do conhecimento geográfico, em especial, os estudos que envolviam o conceito de paisagem. No entanto, a escola russo-soviética ganhava cada vez

mais espaço no cenário mundial da Geografia Tradicional, por trazer elementos de análises, e principalmente por abordar aspectos ligados à evolução da geomorfologia e solos.

O geógrafo soviético Vasily V. Dokuchaev é conhecido como pai da pedologia moderna. Em sua tese de doutorado, Dokuchaev apresenta a sua teoria sobre a gênese, evolução e distribuição dos solos, relacionando as informações de clima, relevo, rochas, depósitos, fauna, flora, morfologia e propriedade físicas em uma perspectiva genética e evolutiva no tempo e espaço, comparando essas características em diversas áreas da antiga União Soviética, concluindo assim que os solos variam ao longo das zonas climáticas (ESPINDOLA, 2008). Desta forma, Dokuchaev propôs a lei da zonalidade pedogenética ou geográfica, onde dividiu a superfície terrestre em zonas homogêneas do ponto de vista dinâmico e estrutural.

Os desdobramentos a partir da teoria de Dokuchaev formou a base para concepção e afirmação da escola russo-soviética estudando os “complexos territoriais naturais”, que são as regiões que compartilham funcionamento e evoluções similares. Para Frolova (2007, p. 162) “essa nova abordagem fortaleceu as interações entre a vegetação, o relevo, a geologia, o clima e a atividade humana e orientou a geografia russa para a análise sintética da paisagem e a história de sua formação”.

Mais tarde Grigoryev propôs a inserção da matemática e estatística juntamente com os estudos cibernéticos para compreender transformações e transferências das matérias e energia ao longo da superfície (GERASIMOV, 1976 apud BARREIROS, 2017). Daí por diante, diversos autores se dedicaram a trazer elucidacões e metodologias no estudo ligadas à paisagem, como os de William Moris Davis, nos Estados Unidos, sendo base para formulação da fisiografia da paisagem (ABREU, 2017).

Segundo Christofolletti (1999), com a formulação das leis da natureza, se buscava dividir as partes para entender a conectividades entra elas, para assim entender o todo. Desta forma, se buscava entender as partes, para entender o funcionamento da paisagem como um todo. Essa abordagem fragmentada nos estudos ambientais, por vezes era suficiente para entender algumas características da paisagem, porém falhava ao entender paisagens complexas.

1.2. A concepção sistêmica nos estudos da Paisagem: Dos Geossistemas à Geoecologia da Paisagem

Questões não respondidas pelas leis cartesianas da natureza, permitem o surgimento da noção de sistemas na interpretação da paisagem (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003). Em busca da compreensão mais precisa dos fenômenos da natureza Bertalanffy (1973) formulou a Teoria Geral dos Sistemas (TGS), trazendo uma nova abordagem de pensar e fazer ciência, envolvendo diversas ramificações do conhecimento para se ter um diagnóstico com maior precisão, não mais abordando fenômenos naturais de forma isolada e cartesiana, mas analisando de forma integradora.

Segundo Vicente e Perez Filho (2003) a proposta de Bertalanffy (1973) tinha como episteme a unificação das diversas linguagens científicas, onde estas pudessem englobar todos os ramos do conhecimento e por consequente a compreensão da realidade, ou seja, os sistemas, os quais um conjunto de elementos e de relações entre seus atributos.

O modelo conceitual de Bertalanffy (1973) é chamado de organismo vivo, ou sistema aberto. O sistema aberto é onde acontece a entrada e saída de fluxo, acontecendo a construção e a decomposição de componentes, não estando enquanto vivo, em um estado de equilíbrio químico e termodinâmico.

Para Bertalanffy (op. cit) o sistema fechado é aquele que é controlado a partir da entrada de energia, logo a matéria de saída desses sistemas é dependente das condições de entrada. A teoria de Bertalanffy sobre os ambientes abertos e fechados corrobora para os estudos envolvendo a Geografia Física, principalmente, na formulação de ambientes “abertos” e “fechados”, ajudando no desenvolvimento da chamada Nova Geografia (LIMBERGER, 2006).

A teoria sistêmica trouxe uma nova abordagem na leitura dos fenômenos naturais. O ponto de ruptura da forma de analisar a paisagem proveniente da geografia clássica é impulsionado por Sotchava (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013; SILVA; RODRIGUEZ, 2011).

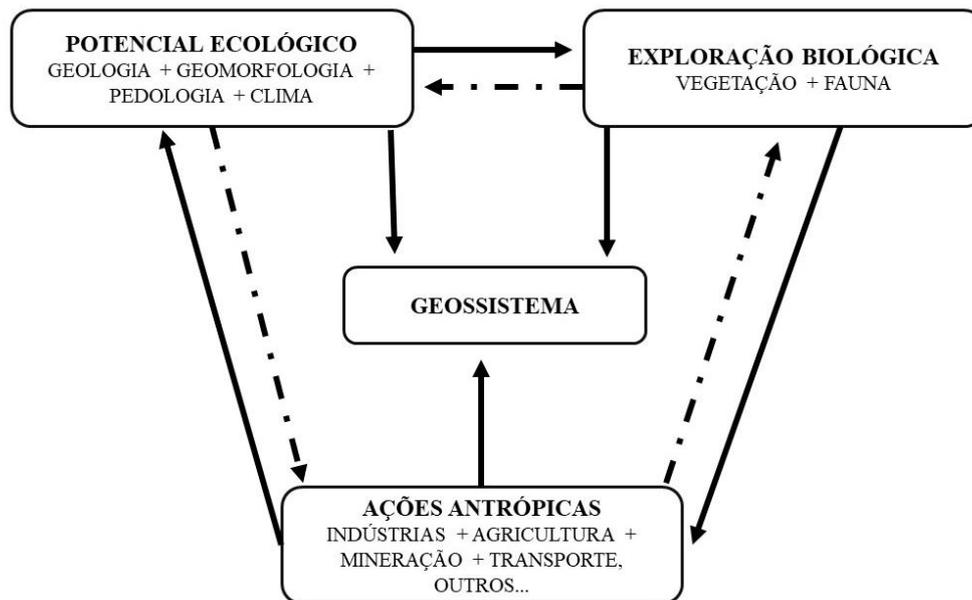
Em 1960 o Geógrafo soviético Victor Borisovich Sotchava cria o geossistema, propondo que este substituísse o termo paisagem, sendo que este representaria as formações naturais na superfície terrestre. Sotchava considera o geossistema como sistema dinâmico, flexível, aberto e hierarquicamente organizado, com estágios de evolução temporal, numa mobilidade cada vez maior sob a influência do homem.

Rodrigues (2001) argumenta que o método geossistêmico é oriundo das tentativas teórico-metodológico da Geografia Física em lidar com a interdisciplinaridade, enfatizando uma abordagem multiescalar e dinâmica do ambiente. Troppmair e Galina (2006)

acrescentam que o geossistema é um sistema natural, complexo e integrado onde acontece a circulação de matéria e energia, onde há uma exploração biológica, inclusive aquela que o homem pratica.

Bertrand (1969) argumenta que o geossistema é um sistema geográfico natural ligado a um território e deriva das relações mútuas entre os componentes do potencial ecológico e da exploração biológica e destes com a ação antrópica (Figura 1).

Figura 1: Estrutura de um Geossistema, segundo Bertrand (1969).



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Bertrand (2012).

Em síntese, o método geossistêmico tem como objetivo levantar dados e buscar correlações para entender a natureza de forma integrada. Para Troppmair e Galina (2006), Sotchava ao criar os geossistemas deixou vago e flexível a outras interpretações.

Para Nascimento e Sampaio (2005), Bertrand (1969) otimiza o conceito de Sotchava, dando conotações mais precisas, estabelecendo uma tipologia espaço-temporal e propondo um sistema taxonômico e hierárquico para classificação da paisagem dividida em unidades superiores e inferiores.

Bertrand (1969) subdividiu as unidades da paisagem baseados nas preposições de Cailleux e Tricart, conforme sua escala espaço temporal, contendo as unidades com grandezas superiores: zona, domínio e região natural; e unidades inferiores com grandezas inferiores: geossistemas, geofácies e geótopos. A geofácia é um setor fisionomicamente homogêneo, que por sua vez se desenvolve na mesma fase de evolução do geossistema. O geótopo (menor

unidade homogênea de um geossistema) se caracteriza em uma parcela restrita e diferenciada, onde crescem complexos biótopo-biocenose.

Souza (2013) expõe que os geossistemas representam dados originários dos fatores morfo-estruturais e hidroclimáticos, surgindo condições para uma exploração biológica, acarretando uma paisagem onde o homem se apropria e tende a explorar.

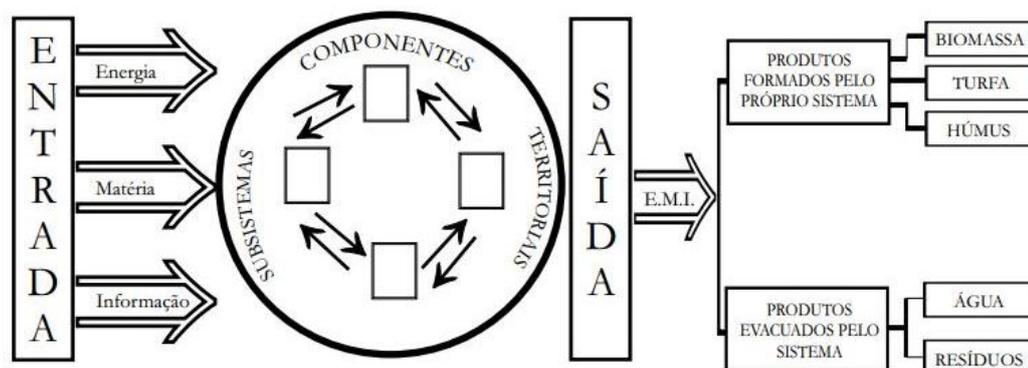
Segundo Veado (1995) os geossistemas são sistemas naturais, onde o homem atua e modifica a entrada e saída de energia que vão constituir o principal motivo, atualmente, que leva o geossistema a apresentar formas diferentes de evolução.

Dentre os objetivos do estudo dos geossistemas, pode-se salientar a busca pelo uso e ocupação ordenados da terra, uso racional dos recursos naturais e conseqüentemente o desenvolvimento beneficiando a sociedade (ARAÚJO, 2016). É necessário entender o ambiente de forma holística, estabelecendo princípios norteadores para o desenvolvimento da atividade humana, acarretando uma relação harmônica entre a sociedade e a natureza.

Os geossistemas permitem a classificação da superfície terrestre de acordo com as suas condições, bem como, permitem propor possíveis hipóteses sobre sua dinâmica futura, desta forma dando condições para traçar formas de ordenamento territorial e planejamento ambiental.

Para Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013) a paisagem é desenvolvida a partir de um espaço físico formando um sistema de recursos naturais que se integram às sociedades em um binômio inseparável sociedade/natureza. Rodriguez, Silva e Calvacanti (op. cit.) colocam que o funcionamento da paisagem está ligado a uma cadeia de processos que atuam de forma inter-relacionadas e permanente na troca de Energia, Matéria e Informação (E.M.I) que permite caracterizar a paisagem no espaço e tempo, conforme expresso na Figura 2, abaixo:

Figura 2: Modelo sistêmico do funcionamento da paisagem, absorção, transformação e consumo EMI.



Fonte: Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013).

Incorporando o conceito de Karl Haenkel (1886) sobre a ecologia e biologia, pelo conceito de ecossistema de Tansley (1935) e Biocenose de Mobis (1877), Carl Troll criou a Ecologia de Paisagem ou Geocologia, uma ciência que era a união da Geografia com a Ecologia, pois unia a análise funcional da ecologia biológica e a análise espacial da Geografia Física, com os propósitos de planejamento regional e local (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013).

Teixeira, Silva e Farias (2017) argumentam que a Geocologia da Paisagem por se tratar de uma análise ambiental a partir de uma visão sistêmica que interacionam os elementos naturais, sociais, econômicos e culturais nos últimos anos vem ganhando cada vez mais espaço na geografia física brasileira, oferecendo importantes contribuições acerca dos estudos ambientais integrados e interdisciplinar e tem se mostrado uma eficaz metodologia para planejamento e gestão ambiental. Em síntese a Geocologia busca a partir da interpretação da paisagem, sistematizar o comportamento das variáveis ambientais e a presença das ações antrópicas.

Desta forma a Geocologia da Paisagem busca dar subsídios para o planejamento ecológico do território por meio da concepção sistêmica de “métodos, procedimentos e técnicas de investigação, cujo propósito consiste na obtenção de um conhecimento sobre o meio natural, com os quais pode-se estabelecer um diagnóstico operacional” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013, p. 13).

Para compreensão do estado e potencial da paisagem pela Geocologia da paisagem é necessário sistematizar os aspectos estruturais, espacial e funcional por meio de suas interrelações e interações com fatores antropogênicos (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013).

Desse modo, a Geocologia da Paisagem se apresenta como ciência capaz de compreender a paisagem e sua complexidade, fornecendo subsídios ao planejamento ambiental e ordenamento territorial, dando condições para desenvolvimento sustentável.

1.3. Bacia hidrográfica como sistema ambiental

Segundo Rodriguez, Silva e Leal (2011), a Bacia Hidrográfica (BH) é uma superfície drenada por um sistema fluvial, sendo seus limites determinados segundo o relevo. As áreas com maiores elevações é onde acontecem a captação de água que é drenada para as áreas com menores elevações por meio de um sistema fluvial.

Coelho Netto (1998) argumenta que uma BH pode ser considerada um sistema aberto, que recebe energia através da atuação do clima e das forças tectônicas e que perde energia através da saída de volumes de água drenadas pelos sistemas fluviais até sua saída pelo exutório, com perdas intermediárias por volumes transpirados, evaporados e infiltrados no solo.

Diakonov (2002 apud Rodriguez et al., 2003) argumenta que a BH é formada pela interação entre os componentes naturais, em diversos graus de modificações e transformações antropogênicas.

Quando se analisa uma BH por meio da perspectiva ambiental e sistêmica, é necessário considerar que estas carregam uma cadeia de interações entre os componentes naturais (geologia, vegetação, clima, pedologia, geomorfologia, morfometria) e socioeconômicos (uso da terra, fatores sociais e econômicos) (RODRIGUEZ, 2005).

Segundo Mattos e Perez Filho (2004, p. 17):

A bacia hidrográfica não pode ser entendida pelo estudo isolado de cada um dos seus componentes: sua estrutura, funcionamento e organização são decorrentes das inter-relações desses elementos, de modo que o todo resultante não é resultado da soma da estrutura, funcionamento e organização de suas partes. Analisar separadamente os processos que ocorrem nas vertentes e aqueles que acontecem nos canais fluviais não permite compreender como o sistema bacia hidrográfica funciona enquanto unidade organizada complexa.

Ao analisar a BH como sistema ambiental, é necessário entender as relações entre os componentes naturais e socioeconômico presentes na BH. Essas relações são expressas na estrutura e no funcionamento, na dinâmica e na evolução das paisagens (RODRIGUEZ; SILVA; LEAL, 2011). Desta forma, a BH como sistema ambiental, acontece a expressão das relações históricas, sociais, econômicas, políticas e culturais, que estão ligadas a formação estrutural e funcional do meio ambiente.

Por carregar tantos elementos de ordem socioeconômica quanto ambiental, nos últimos anos as BH vêm se expandindo como unidade de análise ambiental e territorial. No entanto, desde 1960 a BH foi reconhecida como unidade espacial de análise ambiental quando “Chorley escreveu seu célebre artigo sobre a bacia como unidade geomórfica fundamental” (FARIAS, p. 29, 2015). Desta forma, a obra de Chorley, contribuiu para entendimento que a BH pode ser uma unidade de análise ambiental.

Em síntese, ao analisar uma BH como sistema ambiental, pressupõe o entendimento dos componentes naturais que formam a BH e suas redes de interações com os fatores socioeconômicos, adotando assim uma visão integrada dos respectivos componentes. Desta

forma, Rodriguez, Silva e Leal (2011) argumentam que para estudar a BH como sistema ambiental, deve-se articular e integrar os momentos fundamentais de sua formação e organização que dependendo da escala de trabalho podem ser expressas em unidades e/ou sub-unidades ambientais.

Por ser um sistema dotado de interações socioeconômicas e ambientais, os estudos pautados em BH são complexos e necessitam de uma visão integradora e holística do pesquisador. Logo, para se ter um diagnóstico confiável com vistas ao planejamento ambiental e territorial de BH, deve-se considerar as diversas forças que condicionam os usos dessas paisagens.

1.4. Bacia hidrográfica com unidade de planejamento ambiental

O recorte espacial da BH permite a mensuração de variáveis naturais, ou de ocorrências antrópicas que podem interferir na dinâmica desse sistema. Por essa aplicabilidade na análise de eventos, é que BH vem sendo utilizado cada vez mais como unidade de planejamento ambiental (MAIA et al., 2014).

Os estudos que envolvem o recorte territorial da BH, ganharam força na década de 1990 através de dois marcos, sendo o primeiro os Princípios de Dublin, onde o princípio nº 1 tratava da gestão dos recursos hídricos, no qual este deveria ser feito de forma integrada, considerando todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos, para tanto sugere-se que esta gestão esteja pautada na discussão de bacias hidrográficas (PORTO; PORTO, 2008).

O segundo marco é a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, conhecida como ECO 92, onde a Organização das Nações Unidas (ONU) através da Agenda 21, reconheceu a água como um dos recursos essenciais para desenvolvimento humano, sendo considerado um recurso natural, social e econômico, onde sua quantidade e qualidade são determinantes para sua utilização (LEAL, 2012).

Com base em Santos (2004), entende-se que o planejamento ambiental envolve o estabelecimento de estratégias e ações que visam o equilíbrio entre a natureza e a ação humana, com intuito de racionalizar o uso e ocupação das terras.

O planejamento ambiental é um instrumento que visa a organização funcional e espacial de determinadas paisagens em decorrência das características dos sistemas ambientais, servindo de suporte à tomada de decisão. Desta forma, o planejamento ambiental deverá ser: integrado, probabilístico, sistêmico, dialético e holístico (SILVA; RODRIGUEZ, 2011).

Almeida et al (1999) discorre que o planejamento ambiental deve conter metodologias que avaliem as consequências ambientais de uma determinada ação sobre a paisagem, avaliando assim as contraposições entre as aptidões e os usos propostos. Desta forma, o planejamento ambiental deve ser entendido como todo e qualquer ação de planejar uma determinada área a partir das condições naturais e socioeconômicas, avaliando assim as potencialidades e limitações do uso dos recursos naturais.

Para Rodriguez e Silva (2013) o planejamento ambiental deve se nortear no princípio adaptativo, que consiste no entendimento de que o ambiente que vai ser planejado é um sistema complexo, cheio de incertezas, com uma dinâmica própria que pode ou não se adaptar a determinada política de planejamento. Para tanto, busca-se adaptações entre as políticas de planejamento ambiental ao funcionamento do ambiente, podendo tender ao equilíbrio, bem como, ao desequilíbrio.

Rodriguez e Silva (op. cit) colocam que o planejamento ambiental tem uma relação direta com o modelo de desenvolvimento que se pretende ter e com as políticas de cunho ambiental que um Estado implementa. No caso do Brasil, é a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal nº 9.433 de 1997 que é responsável pelo enquadramento legal de bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental.

Bordalo e Costa (2010) colocam as BH a partir da Lei 9.433/97, que estabelece a BH como unidade físico/territorial voltada à gestão dos recursos naturais, servindo um importante instrumento de desenvolvimento metodológico e prático para a relação sociedade e natureza, desta forma, buscando o desenvolvimento de forma sustentável.

Entendendo as potencialidades do uso da BH como unidade físico-territorial para planejamento ambiental, algumas ponderações devem ser feitas. Trombetas (2015, p. 71) discorre que “embora a bacia hidrográfica seja uma unidade espacial, indiscutivelmente, apropriada ao trabalho de planejamento ambiental, ela não pode ser um território limitador”.

Alguns dados, principalmente os socioeconômicos, não são disponibilizados por bacia hidrográfica e sim por estado, município, setor censitário, etc., ou seja, são definidos por diferentes limites territoriais. Com isso, os dados, informações e sobreposições espaciais devem ser analisados cuidadosamente para não gerar incoerências com a realidade (TROMBETA, 2015, p.71).

Entendendo que a BH é um sistema aberto e complexo dotado de interações sociais e ambientais, tem-se nos estudos geossistêmicos arcabouço teórico-metodológico capaz de fornecer diagnósticos fidedignos à realidade estudada, dando subsídios para compreensão da paisagem e, conseqüentemente, delimitar áreas com limitações de usos, bem como, delimitar áreas com potencialidades de usos pautados no desenvolvimento sustentável.

1.5. Geocologia das Paisagens aplicada no planejamento ambiental em bacias Hidrográficas.

Nos últimos anos a Geocologia das Paisagens vem se destacando na análise integrada em BH, principalmente por trazer fundamentação teórica e metodológica capaz de apoiar todas as categorias e fases do planejamento ambiental. Entre os trabalhos pautados na aplicabilidade da Geocologia das Paisagens no Planejamento Ambiental, destacam-se os trabalhos de: Vidal (2014), Farias (2015), Soares (2015), De Paula (2017) e Santos (2018), que propuseram alternativas de usos sustentáveis a partir de diagnósticos das unidades geológicas, entendendo seu funcionamento e tendências de modificações.

Para Silva e Rodriguez (2011) o planejamento ambiental focado na análise integrada, visa estabelecer a organização funcional e espacial de determinada área com dependência das características dos sistemas ambientais.

Silva e Rodriguez (op. cit.) colocam que na atualidade existe seis grandes enfoques na execução do planejamento ambiental em BH (Quadro 1), sendo que cada enfoque dá atenção preferencial a um aspecto organizacional da BH.

Quadro 1: Formas de interpretação e operacionalização do planejamento ambiental.

INTERPRETAÇÃO	MÉTODOS E FORMAS DE OPERACIONALIZAÇÃO
Geral	Análise integrada das dimensões e os problemas. Método Delfos-FOFA.
Ecosistemas	Análise dos recursos bióticos e da biodiversidade.
Fatorial	Análise de componente ambientais.
Manejo de unidades de conservação	Análise das unidades de vegetação e do relevo, e dos critérios e requisitos. Das diferentes unidades de conservação.
Pesquisa-Participação	Investigação dos desejos e pontos de vista da população local.
Geocológicos	Análise dos potenciais e do estado das Unidades geológicas.

Fonte: Rodriguez e Silva (2011).

A Geocologia das Paisagens na análise ambiental voltadas a BH, pressupõe considerar alguns estabelecimentos (SOCHAVA, 1963 apud RODRIGUEZ e SILVA, 2011, p. 37):

- A própria da natureza a organização sistêmica dos diferentes componentes naturais, tendo sua própria autonomia e lógica de estruturação e funcionamento;

- Aceitar que os sistemas humanos têm a capacidade de transformar, até um determinado limite, os sistemas naturais, impondo uma determinada estrutura e funcionamento de acordo com fatores econômicos, políticos, sociais e culturais, variando segundo as escalas espaciais e temporais;
- Assumir que a superfície do globo terrestre é moldada simultaneamente por uma diversa gama de unidades espaciais, formadas segundo a lógica preponderante de determinadas formas de organização (natural, econômica, social e cultural), as quais interagem de forma complexa. Essas unidades podem ser estudadas e analisadas de acordo com um conjunto de categorias analíticas, que constituem as ferramentas cognitivas que permitem a análise dialética da superfície do globo terrestre.

A aplicação da Geoecologia das Paisagens deve ser fundamentada em três momentos, sendo a compreensão da maneira que se formou e ordenou a natureza; a forma de imposição e construção dos diferentes sistemas de uso e objeto oriundos da ação humana, tendo em vista a lógica econômica, social e política e, por último, busca-se a compreensão de como a sociedade concebe e vê as modificações/transformações da natureza ocasionadas pelas ações antrópicas de acordo com cada sistema (RODRIGUEZ e SILVA, 2011).

Com base nos fundamentos supracitados, entende-se que a Geoecologia da Paisagem permite o entendimento do grau de transformação que a sociedade acarretou na BH, o entendimento de como a sociedade percebe, concebe e evoca a natureza, indo da forma natural ao derivado da própria natureza (VERAS, 1995 apud RODRIGUEZ e SILVA, 2011).

Esses entendimentos a partir da Geoecologia das Paisagens permite projetar a gestão da BH. No entanto, para projetar a gestão das BH deve-se realizar algumas tarefas-chave da concepção geoecológica, que são, segundo Calvacanti (et al., 1997 apud Rodriguez e Silva, 2011):

- A identificação, delimitação e classificação das unidades de paisagem da BH;
- A determinação das potencialidades dos recursos e serviços ambientais através das diferentes unidades de paisagem da BH;
- Os estabelecimentos das funções ecológicas e sociais;
- Identificação dos problemas ambientais e do estado ambiental;
- Esclarecer as forças condicionantes que causam as transformações ambientais;
- Fazer a preposição de ordenamento ambiental, espacial e territorial da BH.

Na concepção geoecológica só é possível a gestão ambiental das BH partindo das unidades de paisagem, também chamadas de unidades geoambientais ou unidades geoecológicas. No âmbito internacional, as unidades de paisagem são consideradas o ponto de partida fundamental para se chegar no Planejamento Ambiental (RODRIGUEZ; SILVA; LEAL, 2012).

Dibieso (2013) coloca que para o planejamento ambiental em BH, é necessário a realização da compartimentação da paisagem, em áreas chamadas de unidades de paisagem, adotando para essas unidades metas e normas específicas e condizentes com seu estado ambiental, buscando a recuperação, conservação e uso sustentável do recurso hídrico.

Entende-se por unidades de paisagem a soma entre os componentes naturais e socioeconômicos, sejam eles correlatos e/ou conflitantes, homogêneos e/ou suas heterogeneidades.

Vale ressaltar, que somente a identificação e delimitação territorial das unidades de paisagem em uma escala local da BH estudada, em muitos casos não é capaz de fornecer subsídios para entendimento do funcionamento geoecológico dessa paisagem.

Sobre isso, Rodriguez (1998), coloca que um dos critérios para análise geoecológica é a perícia ecológica geográfica, buscando as relações geossitêmicas a nível regional, fornecendo subsídios para entendimento do funcionamento das paisagens a nível local.

Tendo em vista o exposto acima, entende-se que a Geoecologia da Paisagem oferece uma base essencial para entendimento do meio ambiente, fundamentando a elaboração das bases teóricas e metodológicas do planejamento e gestão ambiental.

CAPÍTULO 2: MATERIAIS E METODOLOGIA

Os estudos que usam a abordagem geossistêmica para planejamento ambiental devem ter clareza sobre o método e percurso metodológico a ser utilizado para interpretação das paisagens. Nos estudos que envolvem a Geoecologia das Paisagens como forma de análise é indicado o percurso metodológico proposto por Rodriguez e Silva (2013) com adaptações as escalas de trabalho, conforme foram feitas por De Paula (2017), Teixeira (2018), Farias (2015) e Vidal (2014).

Rodriguez e Silva (2013) colocam que para implementação de um modelo de planejamento ambiental deve ser seguido seis fases sequenciais e interdependentes, sendo elas: (I) Organização, (II) Inventário, (III) Análise, (IV) Diagnóstico, (V) Prepositiva e (VI) Execução. Para esta pesquisa adotou-se as quatro primeiras fases. Entendendo, a priori, que o diagnóstico geoecológico já fornece subsídios para o planejamento ambiental da SBHA.

A Fase I **Organização**, consiste na sistematização preliminar da pesquisa, definição dos objetivos gerais e específicos, delimitação da área de estudo e organização metodológica e operativa das etapas posteriores. Esta fase foi de suma importância para delinear o escopo da pesquisa e esforço necessário para se alcançar a Fase de Preposição.

Em concomitância com a Fase I, foi realizado a Fase II, que consiste no **Inventário** dos componentes naturais (geologia, geomorfologia, solos, uso e cobertura da terra, clima e regime hidrológico) e das condições socioeconômicas e culturais da área em estudo, a partir de informações cartográficas e bibliográficas.

A Fase III **Análise**, constitui-se na interpretação dos dados inventariados e possíveis adaptações a escala de mapeamento proposto para a área em estudo, entendendo assim estruturas verticais e horizontais da paisagem, fornecendo subsídios para identificação do funcionamento Geoecológico, entendimento da dinâmica temporal e evolutiva da paisagem e das relações fatores antropogênicos, fornecendo uma análise em síntese da paisagem a partir da definição das unidades geoecológicas. É nesta fase que se aplica o modelo teórico geossistêmico.

A Fase IV **Diagnóstico**, constitui-se na identificação do potencial e limitações de usos das unidades geoecológicas, a caracterização dos problemas ambientais da área em estudo e identificação do estado geoecológico a partir da ecodinâmica das paisagens (TRICART, 1997) e do grau de vulnerabilidade ambiental.

Na Fase V **Preposição** é elaborado e apresentado a proposta de ordenamento territorial pautado nos resultados adquiridos nas etapas anteriores, os quais constam em síntese em um mapa de zoneamento funcional.

Nos subtópicos a seguir estão descritas mais detalhadamente as atividades realizadas em cada fase da pesquisa.

2.1. Fases de Organização e Inventário

Nessas fases foram inventariadas e organizadas as principais referências bibliográficas com ênfase no conceito de bacias hidrográficas, planejamento ambiental e geociências das paisagens. Também foram inventariados materiais cartográficos de diferentes fontes, escalas temas, permitindo assim a definição da escala de mapeamento, sendo está 1:100.000.

A área em estudo foi delimitada manualmente em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) através de curvas de nível da carta topográfica SA-22-Y-D-I na escala de 1:100.000 fornecida pelo Banco de Dados Cartográficos do Exército (BDGEx), também foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) do radar do Shuttle *Radar Topography Mission* (SRTM) e imagem do satélite Sentinel-2B. Para o contexto regional o limite utilizado foi da otobacia ordem 3 da Agência Nacional de Águas (ANA) com as adaptações proposta por De Paula (2017).

Inicialmente, o clima foi abordado com base em Nimer (1979), através de dados de precipitação e temperatura entre os anos 1989 e 2019, provenientes da estação pluviométrica 352001, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Já o regime hidrológico foi baseado nos dados de vazão e cota fluviométrica entre os anos de 1989 e 2015 (período histórico antes do barramento do rio Xingu), provenientes da estação fluviométrica 18850000, operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Ambas as estações ficam dentro do perímetro urbano da cidade de Altamira e estão distantes cerca de 2,4 km do exutório da SBHA.

Os dados de geologia e geomorfologia foram inventariados com base no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte (LEME, 2009), do levantamento de recursos naturais do Projeto RADAM Brasil S-22 (BRASIL, 1974), o relatório de Geodiversidade do estado do Pará (JOÃO; TEIXEIRA; FONSECA, 2013), do mapeamento geológico do Estado do Pará (VASQUE, ROSA-COSTA, 2009) e dos diagnósticos ambientais realizados pelas pesquisas de Souza (2015), Freire (2017), Oliveira (2017) e De Paula (2017).

Os aspectos do componente socioeconômico são oriundos do EIA da UHE Belo Monte (LEME, 2009), do censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), do diagnóstico da Região de Integração do Xingu (PARÁ, 2017) e das teses de Miranda Neto (2016) e Oliveira (2017).

Os dados históricos de uso da terra e cobertura vegetal entre 1985 e 2014 são oriundos do mapeamento realizado pelo projeto Mapbiomas coleção 5.0. Os dados e nomenclatura das classes de fitofisionomias foram extraídos do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2013), do Projeto RADAM Brasil S-22 (BRASIL, 1974) e do EIA da UHE Belo Monte (LEME, 2009). Já a nomenclatura das classes de usos foi baseada no Manual de Uso da Terra (IBGE, 2012) e obtidas por meio de processamento de digital de imagens, descrito mais detalhadamente no subitem 2.1.3.

Os dados inventariados estão detalhados no Quadro 2, quanto ao repositório de origem, fonte, sistema de projeção cartográfica e Datum, Ano de Produção (Mapeamento ou Imageamento) e Formato (vetorial e imagens digitais ou analógicas).

Quadro 2: Informação quanto a Origem, fonte e escala de mapeamento ou imageamento.

Formato	Informação	Fonte	Escala ou Resolução Espacial
Vetorial	Recursos hídricos	ANA	SI
	Limites Municipais e Estaduais	IBGE	1:2.500.000
	Climas do Brasil	IBGE	1: 5.000.000
	Cartas Planialtimétricas SA-22-Y-D	RADAM BRASIL	1:100.000
	Litologias, Estruturas e Drenagem das Cartas SA-22	CPRM	1:1.000.000
	Levantamentos dos recursos naturais do Pará	SEMAS-PA	1:100.000
	Volumes 1 a 23 EIA	EIA BELO MONTE	1:25.000
Matriz	Ortofotos 2009	EIA BELO MONTE	1X1
	Ortofotos 2013	EIA BELO MONTE	1X1
	Cenas do satélite Landsat 8 (OLI)	USGS	30 x 30
	Cenas do satélite Sentinel 2B	ESA	10 x 10
	SRTM	USGS	30 x 30

Fonte: Adaptado de De Paula (2017).

Foram realizadas duas campanhas de campo, em dezembro de 2020 (período de seca no rio Xingu e Igarapé Ambé) e em março de 2021 (período de cheia no rio Xingu e Igarapé

Ambé), para validação e reconhecimento das informações inventariadas. Nessas campanhas foram coletados pontos com auxílio do Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Essa fase também abarca a compilação, readequação e padronização dos dados cartográficos inventariados para escala de 1:100.000, além de reprojeção para o sistema de coordenadas planas, projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), zona 22 S, datum horizontal SIRGAS 2000.

A readequação e padronização dos dados cartográficos foi realizada por meio de operações de geoprocessamento e sensoriamento remoto em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), sendo eles os *softwares* Arcgis 10.8 e Envi 5.0. Os procedimentos realizados para confecção de cada mapa estão descritos detalhadamente a seguir.

2.1.1. Mapa de climático regional

Por entender que a SBHA está sob influência climática do baixo rio Xingu, optou-se por abordar esse componente geocológico a partir da caracterização climática regional, através de sua contextualização local em relação às isolinhas climáticas proposta por Nimer (1979) e discutida por De Paula (2017). Esse cruzamento de informações foi realizado por meio do *software* Arcgis 10.8.

Apesar das informações de clima a nível regional, ainda foram utilizados dados de pluviometria da estação 352001 do INMET e da estação fluviométrica 18850000 (CPRM), ambas disponíveis localizadas em Altamira e disponível para consulta no portal Hidroweb da ANA (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>). Os dados foram tratados por meio de planilhas dinâmicas para obtenção de média, mínima e desvio padrão.

2.1.2. Geologia, Geomorfologia e Solos

A elaboração dos mapas de unidades geológicas foi realizada com base nos arquivos vetoriais e do relatório técnico de Geodiversidade do Estado do Pará (JOÃO; TEIXEIRA; FONSECA, 2013) disponível na escala de 1:1.000.000, do projeto RADAM Brasil S-22 (BRASIL, 1974) disponível na escala de 1.000.000 e do mapeamento realizado pela LEME Engenharia para o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte (2009), disponível na escala de 1:125.000. Em um primeiro momento dentro do ambiente SIG os arquivos vetoriais foram sobrepostos para verificação das informações litoestratigráficas, apesar dos limites das unidades geológicas não coincidirem devido a escala de mapeamento

de cada um, notou-se que em todos os arquivos a descrição da composição da litologia e da idade geológica coincidiam, sendo que o arquivo de vetorial de geologia do EIA de Belo Monte apresentou maior detalhamento em relação aos demais.

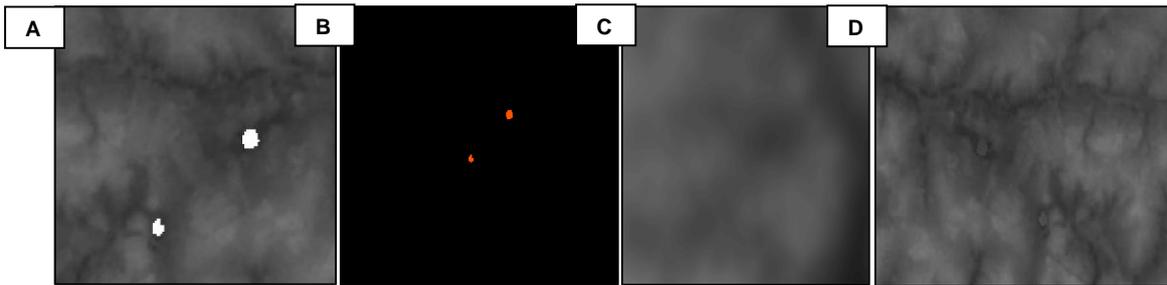
Desta forma, a partir da confirmação das unidades geológicas presentes na SBHA e da identificação do arquivo vetorial de maior detalhamento, o mapeamento do EIA de Belo Monte, foi realizado a readequação para escala de 1:100.000, por meio de interpretação visual de imagem de imagens do satélite Sentinel 2-B e do radar SRTM.

Para elaboração do mapa de geomorfologia foram considerados os aspectos geológicos, a declividade e a elevação da SBHA baseados nos dados do SRTM. Para se ter maior confiabilidade nos resultados gerados, foi realizado a correção das falhas do SRTM chamadas de “sink”, que de acordo com Mendes e Cirilo (2001) se trata de píxeis com valores nulos ou negativos rodeados por píxeis com valores de elevação superiores, sendo essas falhas acarretadas principalmente pela ocorrência de corpos hídricos nas áreas imageadas (LUEDELING et al., 2007).

O processo de correção do SRTM se deu em três etapas dentro do Arcgis 10.5 da ferramenta calculadora raster (*ArcToolbox - Spatial Analyst Tools – Map Algebra*). Na primeira etapa os valores nulos foram realçados através da equação *IsNull* (*raster*), na segunda etapa os valores foram eliminados por meio da equação *FocalStatistics*, na terceira etapa aplicou-se condicional para preencher na imagem apenas os píxeis sem informação com base nos outros píxeis ao redor e preservando os demais, conforme apresenta imagem abaixo.

O raster corrigido foi categorizado com base na sua relação, já a declividade foi elaborada através do processamento do SRTM utilizando o *ArcToolbox (Spatial Analyst Tools – Surface - Slope)* seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (2006). Também foram extraídas curvas de nível *ArcToolbox (Spatial Analyst Tools – Surface - Contour)* com equidistâncias de 30 metros, sendo possível assim a identificação das principais unidades geomorfológicas da SBHA.

Figura 3: Sequência de correção de píxeis nulos no SRTM (A), (B) realce dos valores nulos (em vermelho), (C) aplicação do *FocalStatistics*, (D) aplicação condicional da correção.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O mapa de solos foi elaborado seguindo o mesmo preceito do mapa de geologia, usando a base do EIA de Belo Monte, readequando manualmente com base nos pontos do GPS obtidos no campo e com base nas imagens do satélite Sentinel 2-B.

2.1.3. Histórico de uso da terra e cobertura vegetal

O mapeamento histórico de uso da terra foi baseado nos dados do projeto Mapbiomas, que consiste em uma iniciativa multi-institucional para mapear e gerar dados anuais de cobertura da terra por meio de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite (MAPBIOMAS, 2018).

Segundo Branco (2020), o projeto Mapbiomas fornece uma disponibilidade temporal de boa precisão e de estabilidade na classificação, fornecendo assim suporte adequado às análises de uso e cobertura da terra. Os anos escolhidos para análise foram 1985, 1991, 1996, 2000, 2005, 2010 e 2014 com intuito de entender as mudanças do uso e cobertura da terra dentro da SBHA e suas correlações com fatores humanos e políticas territoriais conduzidas pelos governos brasileiros para a região de Altamira e seus respectivos impactos nas paisagens da SBHA.

Desta forma, foram adquiridas através da *Google Earth Engine* imagens em formato TIFF da coleção 5.0 do projeto Mapbiomas para os anos supracitados. Todas as cenas foram projetadas para o sistema de coordenadas UTM – fuso 22, datum sirgas 2000. Foram recortadas para a área da SBHA e transformadas em *shapefile*. As classes selecionadas para análise foram cobertura florestal, que inclui áreas de formações florestais e áreas de vegetação secundária; a classe pastagem, que inclui áreas de pasto cultivado, pasto sujo e pastagem com árvores isoladas; a classe áreas urbanas, que inclui áreas urbanas consolidadas e não consolidadas. Devido a escala de análise dos dados de 1:150.000, não foi possível distinção em fitofisionomias.

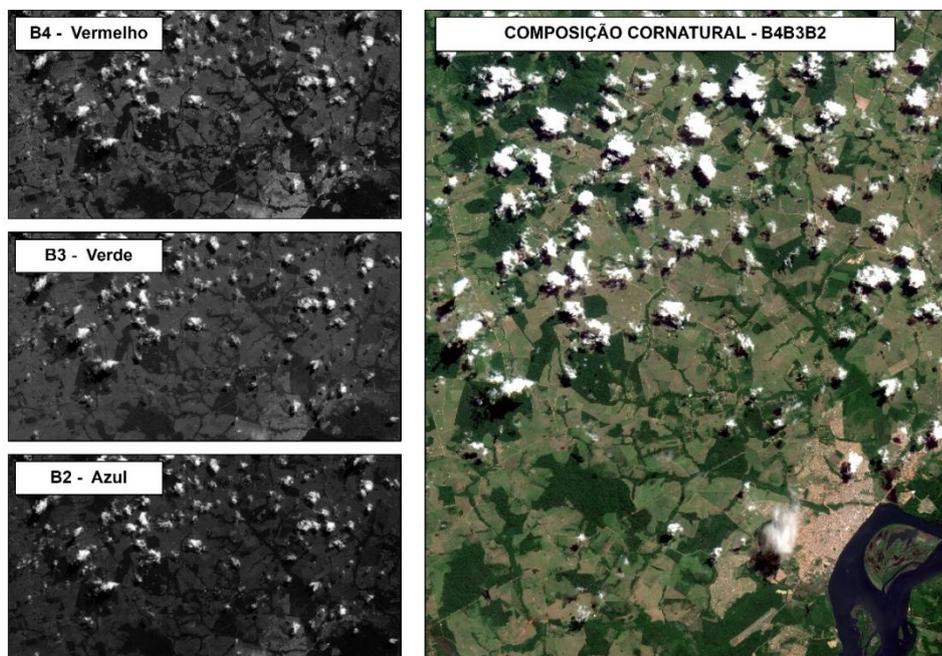
Para mapeamento atual do uso da terra e cobertura vegetal (2019) foram escolhidas cenas de satélite Sentinel 2-B com sensor *Multispectral Instrument* (MSI) devido sua

disponibilidade para área de estudo, devido a sua baixa porcentagem de cobertura de nuvens (30%) para data pretendida e, principalmente, devido a sua resolução espacial de 10 metros, fornecendo dados compatíveis a escala de análise regional da SBHA. A imagem foi adquirida através do serviço geológico americano (USGS) (<https://ers.cr.usgs.gov/>) com a data de imageamento em 23 de julho de 2019.

As cenas passaram por pré-processamento, onde foi a reprojeção para o hemisfério sul através dos sistemas de coordenadas UTM - zona 22 S, datum sirgas 2000. Também passaram por correção atmosférica no software Envi 5.0, por meio do modelo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)*, no qual utiliza o modelo de transferência radioativa *Moderate Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model-MODTRAN4* para minimizar os efeitos dos gases na atmosfera, espelhamento e absorção atmosférica (ADLER-GOLDEN et al., 1999; ANDERSON et al., 1999; BERK et al., 1998).

As cenas foram compostas usando a composição cor verdadeira com a Banda 04 (vermelho), Banda 03 (verde) e Banda 02 (azul), conforme apresenta a figura a seguir:

Figura 4: Composição de bandas do satélite Sentinel 2-B.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A definição das classes de uso da terra e cobertura vegetal foi feita com base no EIA de Belo Monte (LEME, 2009), do Manual de Uso e Cobertura da Terra (IBGE, 2012) e do

Manual da Vegetação Brasileira (IBGE, 2013) e apoiados nas pesquisas realizados por Calvi (2019) e Jiang et al. (2018).

Desta forma, foram definidas as seguintes classes: Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras, Floresta Ombrófila Aberta de Influência Fluvial, Vegetação Herbácea de Influência Fluvial, Vegetação Secundária, Pastagem, Culturas Permanentes, Áreas de Mineração, Áreas Urbanizadas, Lagos e Lagoas, Nuvem e Sombra de Nuvem.

Após as definições das classes de uso da terra e cobertura vegetal foram coletados pontos amostrais para captura da assinatura espectral de cada classe, para tanto foi criada uma chave de interpretação. O Quadro 3 apresenta a chave de interpretação e definição de das classes presentes na SBHA.

Quadro 3: Chave de interpretação e definição das classes presentes na SBHA.

Classe	Descrição da Classe (IBGE, 2012; 2013)	Textura	Cor
Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras	Esta formação florestal é marcada por ficar de 0 a 4 meses seco. Esta foi submetida à intensa devastação florestal, causada pela expansão das fronteiras agrícolas. Aos poucos seu adensamento foi sendo substituído, sendo substituído por faciação com palmeiras	Rugosa	Verde escuro
Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras de Influência Fluvial	Formação estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupa as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, respectivamente. Na fisionomia destaca-se por apresentar muitas palmeiras de grande porte que, não raro, formam gregarismos	Média	Verde claro
Vegetação Herbácea de Influência Fluvial	É tipificação vegetal formada por gramíneas que se localizam nas planícies fluviais que constituem reflexo dos efeitos das cheias dos rios nos períodos chuvosos, sendo formações vegetais relacionadas a modelado de acumulação, solos em processo inicial de formação e sujeitos a inundação e podem ser denominadas como Campos Mistos alagáveis e/ou Campos de Várzeas	Lisa	Verde claro
Áreas de Pastagem	É a área destinada ao pastoreio do gado, formada mediante plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais. Nestas áreas, o solo está coberto por vegetação de gramíneas e/ou leguminosas, cuja altura pode variar de alguns decímetros a alguns metros	Lisa e Média	Cinza esverdeada
Áreas Urbanizadas	Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as Superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas	Rugosa	Cinza e Cinza-esverdeada
Áreas de mineração	Compreendem as áreas de exploração ou extração de substâncias minerais	Rugosa	Cinza e Cinza-esverdeada
Culturas Permanentes	Compreende áreas de cultivo de plantas perenes, isto é, de ciclo vegetativo de longa duração. Essas plantas produzem por vários anos sucessivos sem a necessidade de novos plantios após colheita, sendo utilizadas técnicas de cultivo tradicional, orgânico, assim como o cultivo de plantas modificadas geneticamente. Na SBHA compreendem	Média	Verde claro

	principalmente lavouras de Cacau.		
Água	Incluem todas as classes de águas interiores e costeiras, como cursos de água e canais (rios, riachos, canais e outros corpos de água lineares), corpos d'água naturalmente fechados, sem movimento (lagos naturais regulados) e reservatórios artificiais (represamentos artificiais d'água construídos para irrigação, controle de enchentes, fornecimento de água e geração de energia elétrica), além das lagoas costeiras ou lagoas, estuários e baías	Lisa	Azul e Azul escuro
Vegetação Secundária	Uma área agrícola após ser abandonada, pelo mau uso da terra ou por exaustão de fertilidade, apresenta inicialmente um processo pioneiro de ocupação do solo por plantas bem primitivas e pouco exigentes em fertilidade	Média	Verde-Claro
Nuvem e sombra de Nuvem	Área recobertas por sombra de nuvens e nuvens	Rugoso	Branco-azulado e Preto Escuro

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A classificação da imagem se deu pelo método semiautomático, por meio do algoritmo Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood*) para 100% das amostras coletadas. O algoritmo utiliza padrões estatístico, como diagrama de dispersão e semelhança da assinatura espectral entre os píxeis coletados como amostras e os píxeis fora do campo amostral (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2014).

Os métodos utilizados para estimar a acurácia da classificação foram a Exatidão Global e o Coeficiente de Kappa, sendo que estes partem do princípio da geração da matriz de confusão gerada entre os pontos amostrais e as amostras de campo e amostras aleatórias dentro do limite da área classificada (MOREIRA, 2012).

Para se chegar ao resultado da classificação, houve a necessidade de ajustes manuais em algumas classes buscando resolver alguns erros entres as classes Áreas Urbanas e Pastagens e entre as classes Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras e Floresta Ombrófila Aberta de Influência Fluvial devido a semelhança espectral.

2.2. Fases de Análise e diagnóstico

As fases de Análise e Diagnóstico são as mais importantes e complexas da pesquisa, pois aqui acontece a integração dos componentes ambientais e sociais por meio da observação, percepção, interpretação destes, servindo de suporte para as fases de preposição e execução (DE PAULA, 2017; LEAL, 1995).

Nessas fases optou-se por aplicar a geocologia das paisagens conforme proposto por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013) e adaptado por De Paula (2017), analisando assim os

aspectos antropogênicos, o funcionamento geocológico das paisagens, ecodinâmica e vulnerabilidade ambiental.

2.2.1. Definição das Unidades Geocológicas

A definição das unidades geocológicas foi realizada por meio da análise sistêmica e holística dos componentes naturais, geologia, geomorfologia, solos e cobertura vegetal com os dados do componente socioeconômico, histórico de uso da terra e usos atuais. A região geocológica foi mapeada conforme a preposição de De Paula (2017).

Cada unidade geocológica contém a síntese integrada das características estruturais e da dinâmica das paisagens, conduzindo assim a tomada de decisão adequada, respeitando os limites e potencialidades dos recursos naturais de cada unidade.

2.2.2. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental

O mapeamento do grau de vulnerabilidade ambiental das unidades geocológicas foi baseado nos estudos desenvolvidos por Tricart (1977), Souza (2000), Castro (2013) e De Paula (2011; 2017). Para integração das informações dos componentes geocológicos afim de se obter o grau de vulnerabilidade ambiental, foi utilizado a metodologia proposta por De Paula (2017) que propõe a utilização da lógica Fuzzy e da Análise de Processo Hierárquico (AHP).

A lógica Fuzzy pode ser caracterizada como a lógica matemática que utiliza os princípios formais do raciocínio incerto, a qual se aproxima do pensamento humano e da linguagem natural (KATINSKY, 1994). Ramos (2000) discorre que a lógica Fuzzy é um dos procedimentos mais adequados para normalização de critérios com base em variáveis.

Os critérios escolhidos para mapeamento da vulnerabilidade ambiental foram o uso e cobertura da terra, a geomorfologia, solos e geologia. Cada critério escolhido contribui de uma forma para a condição de vulnerabilidade ambiental das paisagens SBHA. Para tanto, todos os critérios foram normalizados na mesma escala de vulnerabilidade ambiental.

A escala varia de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior o grau de vulnerabilidade ambiental, e quanto mais próxima de 0 menos vulnerável será, conforme apresenta a Figura 5.

Figura 5: Escala de vulnerabilidade ambiental.

Fonte: De Paula (2011).

Desta forma, cada variável dos componentes geológicos (condições naturais e socioeconômicos) foram normalizadas seguindo a escala de 0 a 1 proposta por De Paula (2011), caracterizando cada nível de vulnerabilidade ambiental, conforme apresenta Tabela 1.

Tabela 1: Valores das classes dos componentes geocológicos da sub-bacia do Igarapé Ambé para o tema de Vulnerabilidade Ambiental (VA).

Componente geocológico	Classe	Valor de VA
Uso da terra	Áreas urbanizadas	1
	Área de mineração	1
	Pastagem	0,8
	Culturas Permanentes	0,4
	Vegetação Secundária	0,4
	Lagos e lagoas	1
Geologia	Depósitos Aluvionares	1
	Formação Alter do Chão	0,4
	Diabásio Penatecua	0,8
	Grupo Curuá	0,8
Geomorfologia	Planície Fluvial	1
	Terraço Fluvial	0,8
	Colinas Amplas e Suaves	0,5
Pedologia	Planossolo Hidromórfico Distrófico	1
	Latossolo Vermelho-Amarelo	0,4
	Nitossolo Vermelho Eutrófico	0,8
	Argissolo Vermelho-Amarelo	0,6
Cobertura Vegetal	Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (FOAP)	0,4
	Floresta de Ombrófila de Influência Fluvial (FOAIF)	0,8
	Vegetação Herbácea de Influência Fluvial (VHIF)	1

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de De Paula (2011).

Para a integração dos componentes e seus respectivos valores de vulnerabilidade ambiental na álgebra de mapas, foi utilizado como operador de análise o AHP. Sendo que este permite organizar e avaliar a importância relativa entre cada variável, e ponderar a consistência de cada grau de vulnerabilidade ambiental atribuído, conforme apresenta quadro 4 (CÂMARA et al., 2001).

Quadro 4: Escala de Valores AHP para comparação pareada.

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

Fonte: Manual do usuário do SPRING 5.4 (CÂMARA et al., 2001).

Os critérios foram comparados dois a dois, atribuindo valores a importância de cada um, seguindo a preposição de Câmara et al. (2001). O Quadro 5 apresenta a matriz de comparação pareada dos componentes geocológicos.

Posteriormente ao preenchimento da matriz de comparação pareada, foi obtida uma razão de consistência das atribuições da vulnerabilidade ambiental, o resultado foi 0,08, estando de acordo com a metodologia de proposta por Saaty (1980), onde o processo de Análise Hierárquica (AHP) para ser consistente tem que ter o valor inferior a 0,1.

Quadro 5: Matriz da Comparação pareada dos componentes geocológicos.

Critérios	Uso da terra e cobertura vegetal	Geomorfologia	Pedologia	Geologia
Uso da terra e cobertura vegetal	1	7	4	7
Geomorfologia	0,1	1	2	3
Pedologia	0,3	0,5	1	2
Geologia	0,1	0,3	0,5	1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com o índice de consistência aceitável para análise, foi gerado os pesos para cada critério ou valor de contribuição geral para vulnerabilidade ambiental da SBHA, onde o critério com maior contribuição para vulnerabilidade ambiental foi o uso e cobertura da terra

com valor 0,616, seguido do critério geomorfologia, pedologia e geologia, conforme apresenta a tabela 2.

Tabela 2: Peso dos Componentes Ambientais para Vulnerabilidade Ambiental.

Pesos dos critérios	Valores
Uso da Terra e Cobertura Vegetal	0,616
Geomorfologia	0,199
Pedologia	0,121
Geologia	0,064

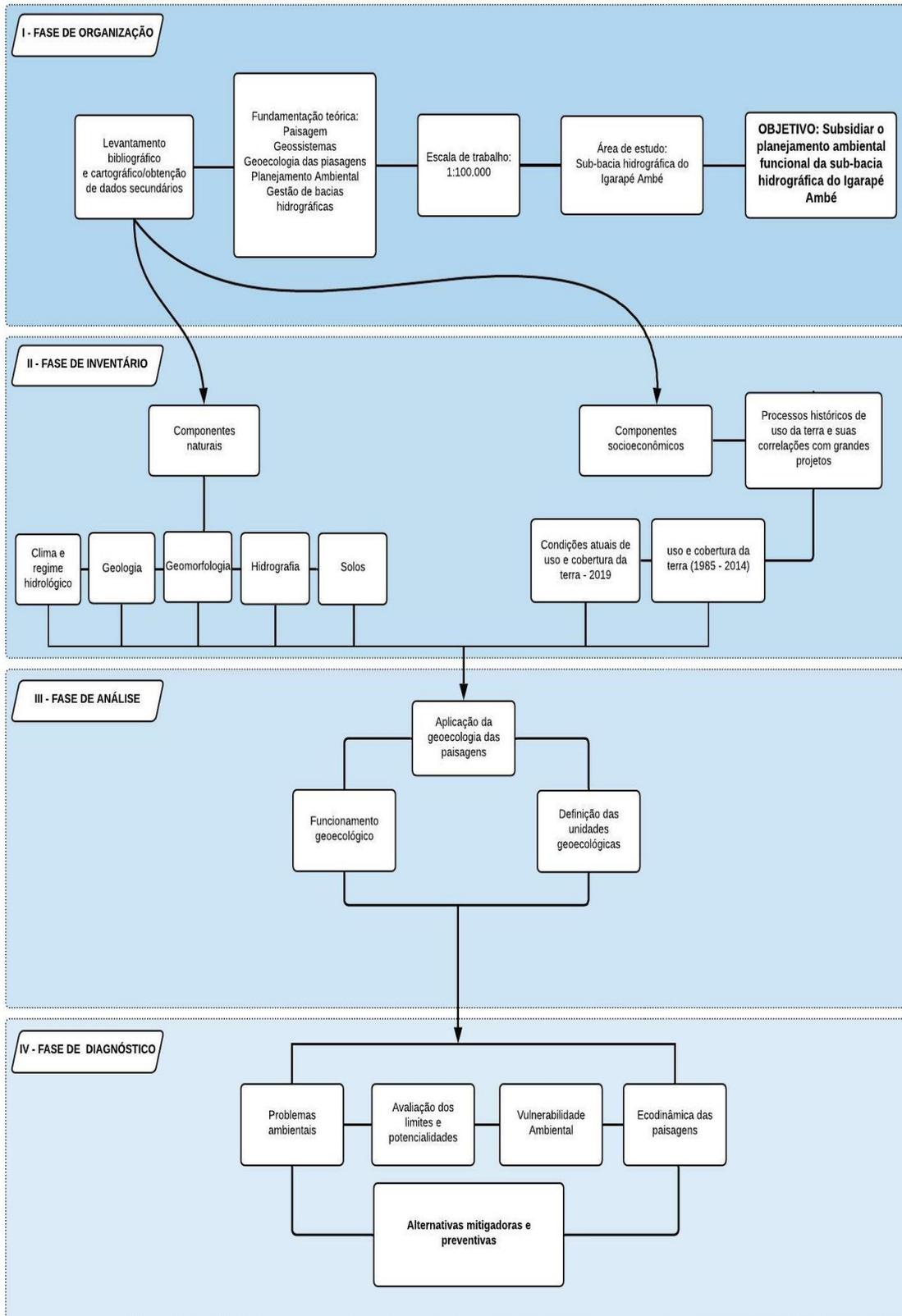
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com o resultado da análise no *software Arcgis (ArcToolbox - Spatial Analyst Tools – Map Algebra)* a superfície raster contendo a vulnerabilidade ambiental foram reclassificadas 5 classes: muito alta, alta, moderada, baixa e muito baixa.

2.3. Fase Prepositiva

Apresenta proposta de planejamento ambiental elaborados para SBHA com base na vulnerabilidade ambiental e ecodinâmica das paisagens, propondo algumas medidas preventivas e mitigadores para manutenção do equilíbrio ecodinâmica e vulnerabilidade ambiental, bem como, recuperação de áreas para restabelecimento ou diminuição do grau de vulnerabilidade ambiental. A Figura 6 apresenta o fluxograma de síntese das fases da pesquisa.

Figura 6: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Rodriguez e Silva (2013) e Trombetas (2015).

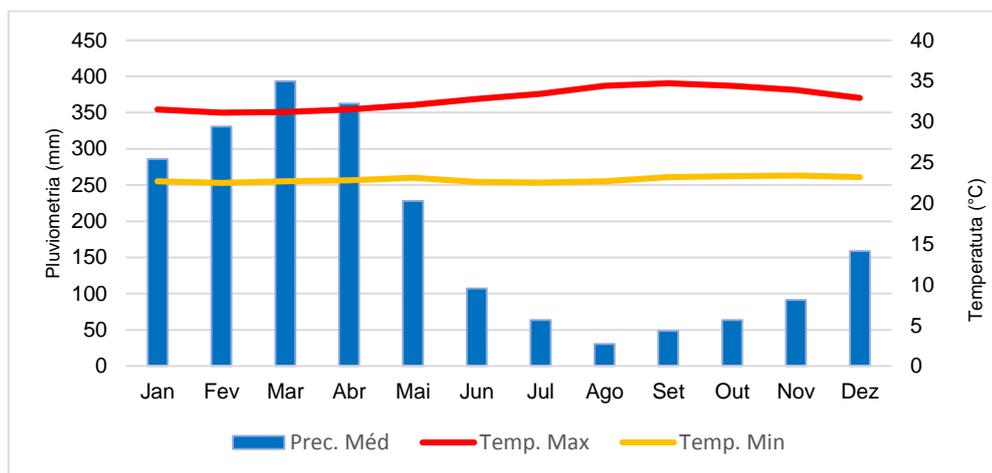
CAPÍTULO 3: INVENTÁRIO GEOECOLÓGICO DA SBHA

3.1. Clima e regime e hidrológico

A sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé está inserida no contexto climático regional do Baixo Rio Xingu (sistema de otobacias ordem 3). Com base na caracterização morfoclimática de Ab'Sáber (2003), De Paula (2017) constatou que o Baixo Rio Xingu está localizado no extremo leste do macro domínio morfoclimático amazônico, sendo este caracterizado pela forte entrada de energia solar, alta nebulosidade, baixa amplitude térmica anual e precipitações pluviiais anuais entre 1600 e 3600 mm.

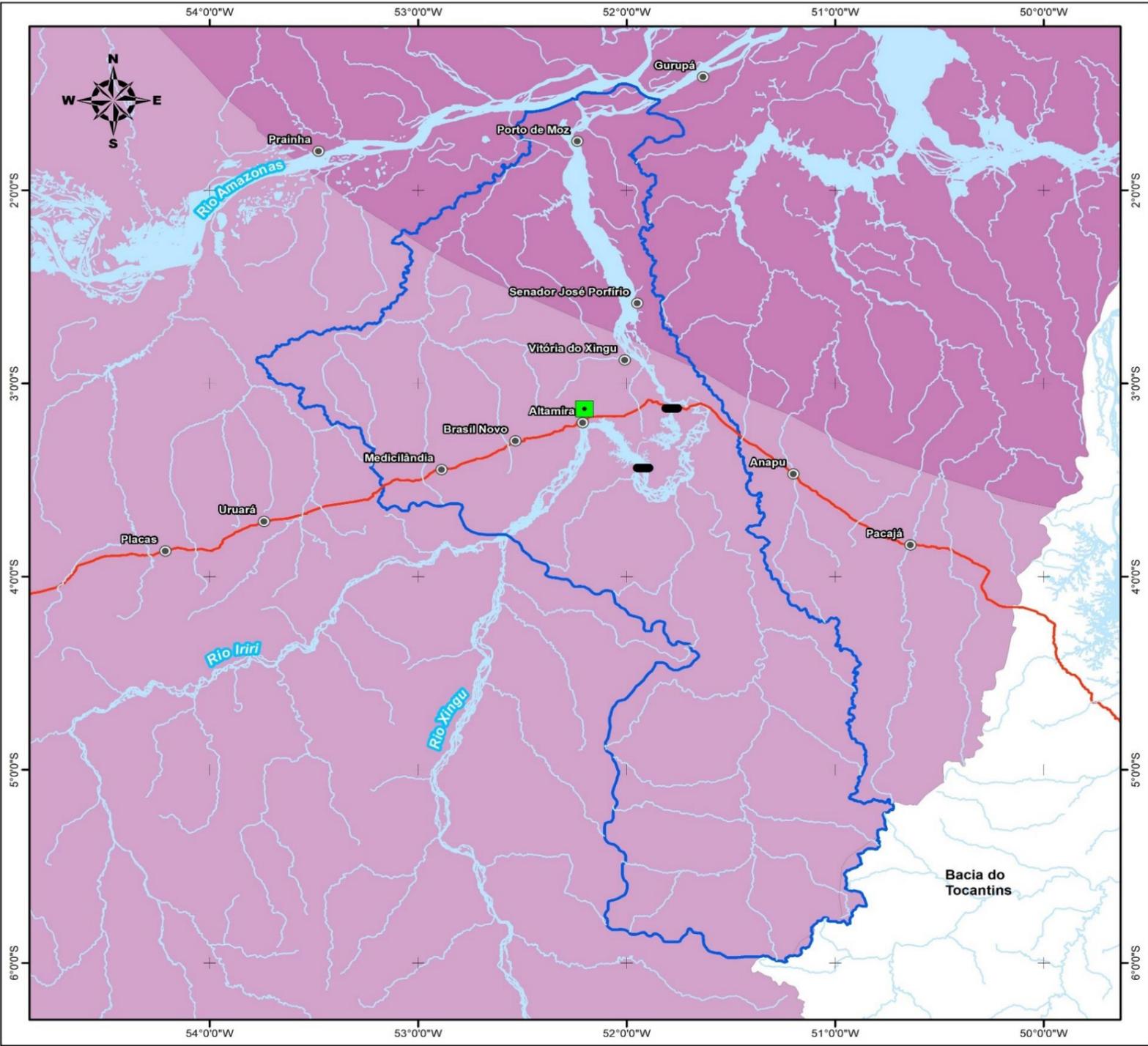
Com base na metodologia de Nimer (1979) e analisando os dados de temperatura e precipitação nos últimos trinta anos (1989-2019) provenientes da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na cidade de Altamira, classificou-se o clima da SBHA como Quente Úmido. Quente por ter médias de temperatura anuais superiores a 18°C para o mês mais frio (fevereiro), onde a temperatura mínima registrada foi 22,5°C. Úmido por ter apenas três meses secos, agosto com precipitação média de 31mm e 34,4°C, setembro 49 mm e 34,7°C, outubro 63 mm e 34,4°C. O Gráfico 1 apresenta a variabilidade climática na SBHA.

Gráfico 1: Pluviometria Média, Temperatura Min e Max Média mensal entre 1989 e 2019, mensurados pela estação de Altamira.



Fonte: Fonte INMET.

Mapa 2: Mapa do Contexto Climático Regional da SBHA.

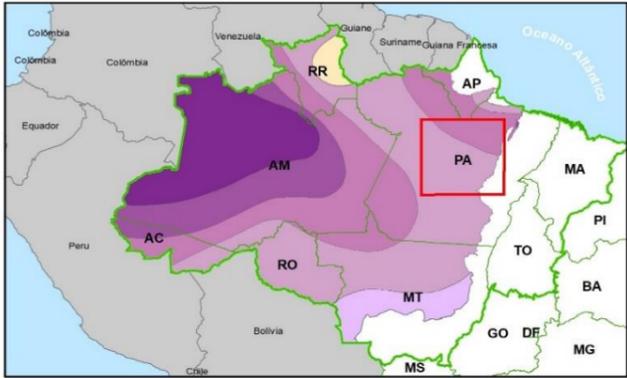


Universidade Federal do Pará
 Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
 Programa de Pós - Graduação em Geografia

ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO
 AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
 HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ, ALTAMIRA-PA

Autor: Alexandre Lobato
 Orientador: Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo
 Coorientador: Dr. Éder Mileno Silva de Paula

**Contexto Climático Regional da SBHIA -
 Baixo Rio Xingu e Bacia Amazônica**



Legenda

- Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, super-úmido sem seca
- Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, super-úmido subseca
- Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, úmido 1 a 2 meses secos
- Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, úmido 3 meses secos
- Tropical Brasil Central, quente - média > 18° C em todos os meses, semi-úmido 4 a 5 meses secos
- Tropical Zona Equatorial, quente - média > 18° C em todos os meses, semi-úmido 4 a 5 meses secos

Convenções Cartográficas

- Sub-bacia Hidrográfica do Igarapé Ambé
- Barragens UHE Belo Monte
- Sedes municipais
- Rios e Igarapés
- Rodovia Transamazônica (BR-230)
- Massa d'água
- Limites estaduais



Fonte: Reambulação do Mapa de Geológico do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte; Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (BRASIL, 2010 e 2013); Agência Nacional das Águas (ANA, 2010).

Sistema de Projeção UTM - Universal de Transversa de Mercator
 Zona 22M, Datum SIRGAS 2000

A partir da análise histórica de 30 anos (Gráfico 1) foi possível compreender os padrões de chuvas e temperaturas da área em estudo, onde se notou uma correlação entre a temperatura e o regime pluviométrico, onde os meses com baixa pluviometria são os meses que registram mais elevadas temperaturas.

Os meses com maiores pluviometrias são fevereiro (331 mm), março (393 mm) e abril (362 mm). A média anual registrada pela estação de Altamira é de 2.164 mm, sendo que, entre dezembro e maio são acumulados 1.758 mm, representando 81% do acúmulo anual. De junho a novembro o acumulado de precipitação é de 405 mm o que representa 19% do acumulado anual, deixando nítido dois períodos pluviométricos distintos para SBHA.

A partir do entendimento da variabilidade pluviométrica, é possível afirmar que os meses entre Verão Austral (dezembro, janeiro e fevereiro) e Outono Austral (março, abril e maio) é o período chuvoso conhecido popularmente como “inverno amazônico”. Nestes meses são registrados as mais baixas temperatura.

No Inverno Austral de (junho a setembro) é o período seco, conhecido popularmente como “verão amazônico”, onde são registradas as mais altas temperaturas e os maíos baixos índices pluviométricos. Neste período a redução das chuvas no Xingu a partir de maio até setembro (Gráfico 1) é causado pelo deslocamento de uma massa de ar seco, denominada de Anticiclone ou Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), do Oceano Atlântico para continente, fazendo com que os sistemas frontais que causam chuvas na Amazônia se desloquem para o mar (PAIVA, 2015 apud AZAMBUJA, 2018).

A partir do mês de outubro até março o aumento das chuvas se dá pela perda de força do ASAS, que deixa de agir sobre o continente e se desloca para o Oceano Atlântico, fazendo com que um outro sistema atmosférico gerador de chuvas na Amazônia passe a agir, denominado de Alta da Bolívia (AB), que é a circulação de ventos no sentido anti-horário a mais de 10 km de altitude que se alimentam do calor e umidade da Amazônia (PINTO et al., 2011).

Os outros dois sistemas atmosféricos indutores das chuvas na região da SBHA é o sistema atmosférico da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCAS é uma banda de nebulosidade que pode permanecer semi-estacionária por diversos dias, favorecendo a ocorrência de precipitações acima da média (AZAMBUJA, 2018). Por sua vez, a ZCIT corresponde à região de alta atividade convectiva e de confluência dos ventos alísios, é conhecida como o principal indutor das chuvas durante o pico da estação chuvosa (fevereiro, março e abril) na região amazônica,

já nos meses de julho a agosto a ZCIT se desloca para o Hemisfério Norte, o que explica a baixa precipitação nesses meses (HASTENRATH, 1991 apud REBOITA et al., 2010 apud AZAMBUJA, 2018).

A variabilidade sazonal das chuvas na região da SBHA, assim como toda a Amazônia, está diretamente ligado a mecanismos de escala global que acontecem nos dois oceanos tropicais: o Oceano Pacífico e o Oceano Atlântico (DE SOUZA et al., 2004 apud SOUZA; CUNHA, 2010).

No Oceano Pacífico, o mecanismo climático que mais influencia as precipitações na Amazônia é o fenômeno El Niño/Oscilação Sul (ENOS) e suas fases extremas conhecidas como El Niño e La Niña.

O El Niño e La Niña são as fases extremas ligadas ao aquecimento ou ao resfriamento anômalo das águas do referido oceano, durando no mínimo cinco meses entre o verão e o outono (TRENBERTH, 1997 apud SOUZA; CUNHA, 2010).

De acordo com Fu et al. (2001) os eventos de La Niña na Amazônia, acarretam precipitações acima da média climatológica para o período chuvoso, enquanto durante o El Niño, os padrões de chuvas são inversos, ocasionando precipitações abaixo da média.

No Oceano Atlântico o mecanismo climático atuante que contribui para a ocorrência de chuvas na região amazônica denomina-se Padrão Dipolo (HASTENRATH & HELLER, 1977; MOURA & SHUKLA, 1981; NOBRE & SHUKLA, 1996; DE SOUZA & NOBRE, 1998 apud SOUZA; CUNHA, 2010) ou atualmente conhecido Gradiente Meridional do Atlântico Tropical (GMAT), que se caracteriza pela ocorrência de anomalias de Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) nas bacias norte e sul (LIMBERGER; SILVA, 2016).

De acordo com Limberger e Silva (2016), a fase positiva da GMAT (anomalias de TSM positivas e negativas na região tropical do Atlântico Norte e Sul, respectivamente) induz precipitação abaixo da média na região amazônica, devido ao enfraquecimento dos ventos alísios do nordeste, acarretando deslocamento mais ao norte da ZCIT, com o GMAT negativo, geralmente as condições são inversas.

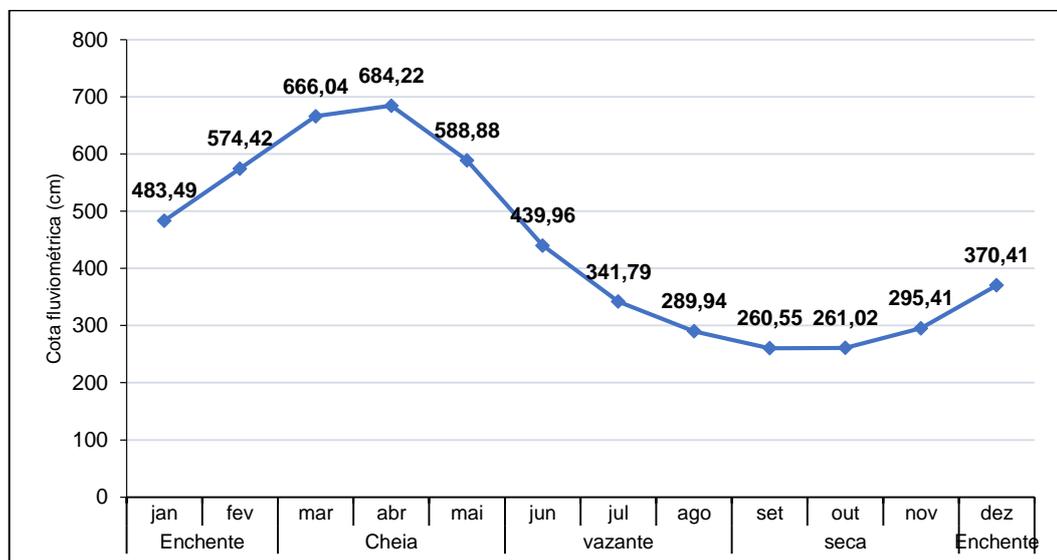
Ao analisar o Gráfico 2 da média mensal da cota fluviométrica natural do rio Xingu entre 1989 e 2015, provenientes da estação de Altamira (cerca de 3 km do exutório da SBHA) nota-se que os meses com mais elevadas cotas são abril (684,22 cm), março (666,04 cm) e maio (588,88 cm), sendo abril e março os meses com as maiores precipitações analisadas no Gráfico 1.

A partir do mês de outubro as cotas começam a ter aumentos progressivos até abril, demorando entorno de 4 meses até atingir o ápice da cheia sazonal nos meses entre março e abril, sendo 666,04 cm e 684,22 cm respectivamente. A partir de abril inicia-se progressivamente a diminuição da cota fluviométrica, até alcançar os níveis mais baixos nos meses de agosto (289,94 cm) e setembro (260,55 cm), sendo estes, os meses com mais baixas precipitações.

O início da elevação das cotas fluviométrica é o mesmo período de aumento das precipitações, mostrando que essas variáveis são interdependentes, assim com os aumentos das precipitações a elevação da cota fluviométrica, fator este, que já foi descrito por De Paula (2017) ao analisar a dinâmica hidrológica do baixo rio Xingu.

Franco et al. (2015) constatou que nos anos de *Lã Nina* foram registros de cota fluviométrica acima da média, e em anos de *El Nino* foram registradas cotas abaixo da média, porém, de acordo com De Paula (2017) este fenômeno só acontece no trecho à montante da Volta Grande do Xingu, pois à jusante o regime hidrológico do Xingu está subordinado também as flutuações do Rio Amazonas.

Gráfico 2: Cota média mensal entre 1989 e 2015, mensurados pela estação de Altamira da CPRM.



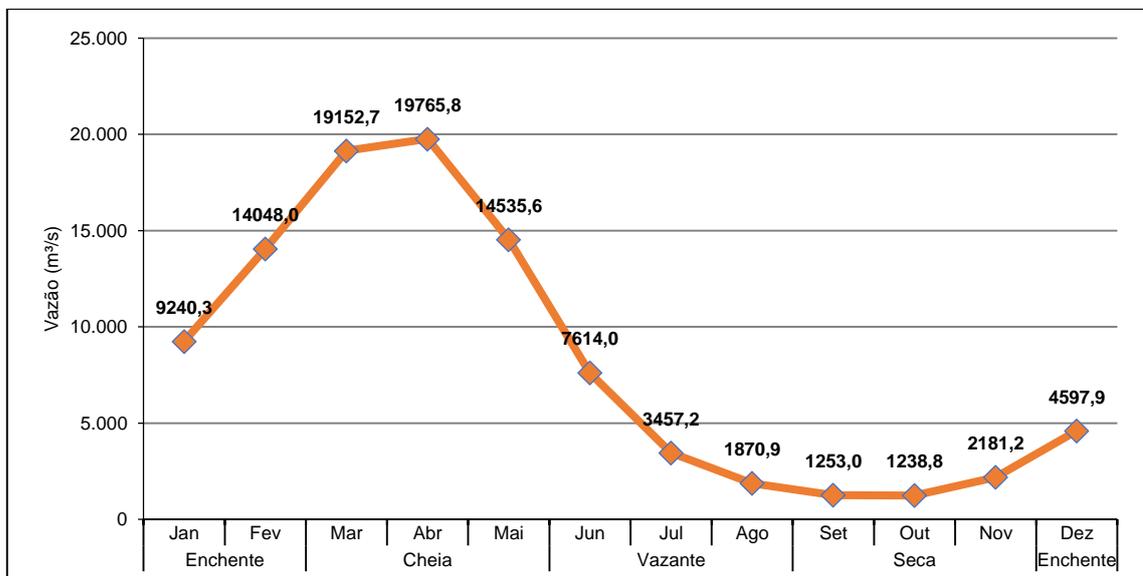
Fonte: Hidroweb ANA, 2019.

Os dados de vazão provenientes da Estação de Altamira, estão expressos no Gráfico 3. A vazão média anual desde 1989 até 2015 registrados pela Estação de Altamira é de 8.048,7 m³/s. Os picos das vazões são registrados nos meses de março e abril, quando atinge a média de 19.152,7 e 19.765,8 m³/s, respectivamente. Nos meses de setembro e outubro ocorrem as menores vazões registradas na série histórica, 1.253,0 m³/s e 1.238,6 m³/s.

Com base na classificação de Cunha, Piedade e Junk (2015), Oliveira (2017) classificou o regime hidrológico do rio Xingu como monomodal, pois apresenta alta amplitude máxima acima de 4m, apresenta ordem superior a 5ª ordem e com curva de fluxo básico (“base-flow”), desta forma, apresenta fases hidrológicas de enchente (meses de dezembro, janeiro e fevereiro)/cheia (meses de março, abril e maio) e outro de vazante (meses de junho, julho e agosto)/seca (meses de setembro, outubro e novembro).

Oliveira (2017) ressalta que apesar da SBHA estar ligada sistemicamente ao regime fluvial do rio Xingu, apresenta regime hidrológico polimodal, com pulsos de inundações imprevisíveis, apresentando assim uma dinâmica hídrica “própria”, ligado principalmente a efeitos locais de chuvas, principalmente na época de chuvas intensas.

Gráfico 3: Vazão média mensal entre 1989 e 2015, mensurados pela Estão de Altamira da CPRM.



Fonte: Hidroweb ANA, 2019.

3.2. Geologia

Conhecer as características Geológicas da SBHA é de fundamental importância para se pensar o planejamento ambiental pautado na geocologia das paisagens, uma vez que os aspectos geológicos influenciam as formas do relevo, a formação vegetacional, composição dos solos e as formas de uso da terra.

De acordo com Farias (2015), mapear e compreender os aspectos geológicos contribui para o planejamento funcional da paisagem, pois a litologia mantém importantes ligações com outros componentes ambientais, interligados por características tectônicas e hidrológicas similares.

Nessa perspectiva, foram mapeados os aspectos geológicos da SBHA, a partir de dados provenientes da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2003), Estudo de Impacto Ambiental da UHE Belo Monte (LEME ENGENHARIA, 2009) e Vasquez e Rosa-Costa (2008).

A SBHA está localizada na borda sudoeste da Província Estrutural do Amazonas. As províncias são extensas áreas geológicas naturais que tem feições estratigráficas, tectônicas, magmáticas e metamórficas próprias (ALMEIDA et al., apud CPRM, 2003). A província Amazonas é formado por complexos de Bacias Intracratônicas Fanerozóicas (cerca de 542 milhões de anos até atualmente), sendo estas formadas pela deposição de espessas sequencias de rochas sedimentares paleozoicas, mesozoicas e cenozoicas (CPRM, 2003).

Na compartimentação regional proposta por Vasquez e Rosa-Costa (2008) a referida SBHA contém duas unidades litoestratigráficas, a de Cobertura Superficiais Cenozoicas e Bacia do Amazonas. A unidade litoestratigráficas Cobertura Superficiais Cenozoicas compreendem a sedimentos relacionados ao ciclo de aplainamento pós-mesozoico, sendo formado por sedimentos dendríticos em estágio inicial e final de consolidação (LEME, 2009). Já a Unidade da Bacia do Amazonas correspondem a camadas de rochas sedimentares (atingem cerca de 5 mil metros) do Mesozoico e Paleozoico que recobrem rochas pré-cambrianas (CUNHA et al., 1994 apud BIZZI, et al, 2003; VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

Correspondendo as Coberturas Superficiais do Cenozoico foram mapeados os Depósitos Aluvionares (ou aluvião), e referente a Bacia do Amazonas foram mapeados a Formação Alter do Chão, o Diabásio Penatecua e o Grupo Curuá, conforme apresenta quadro abaixo.

Quadro 6: Unidades das Unidades Litoestratigráficas presente na SBH do Igarapé Ambé.

Geocronologia		Unidade Litoestratigráfica	Litologia	Área (km ²)	%
Era	Período				
Cenozoico	Quaternário	Depósitos aluvionares	areia de granulação fina a grossa, cascalhos, argilas, argilas arenosas e orgânicas e siltes semi-consolidados a consolidados.	46,65	21%
Mesozoico	Cretáceo	Formação Alter do chão	arenito grosso, friável, de cores variadas, com estratificação cruzada, níveis lenticulares de conglomerados maciços e argilas vermelhas.	86,91	39%
	Jurássico	Diabásio Penatecaua	sills e diques de diabásio	87,28	39,2%
Paleozoico	Devoniano	Formação Curuá	folhelhos cinza-escuros a negros e siltitos arenosos, cinzas laminados	1,9	1%

Fonte: Adaptado de Brasil (2008) e LEME Engenharia (2009).

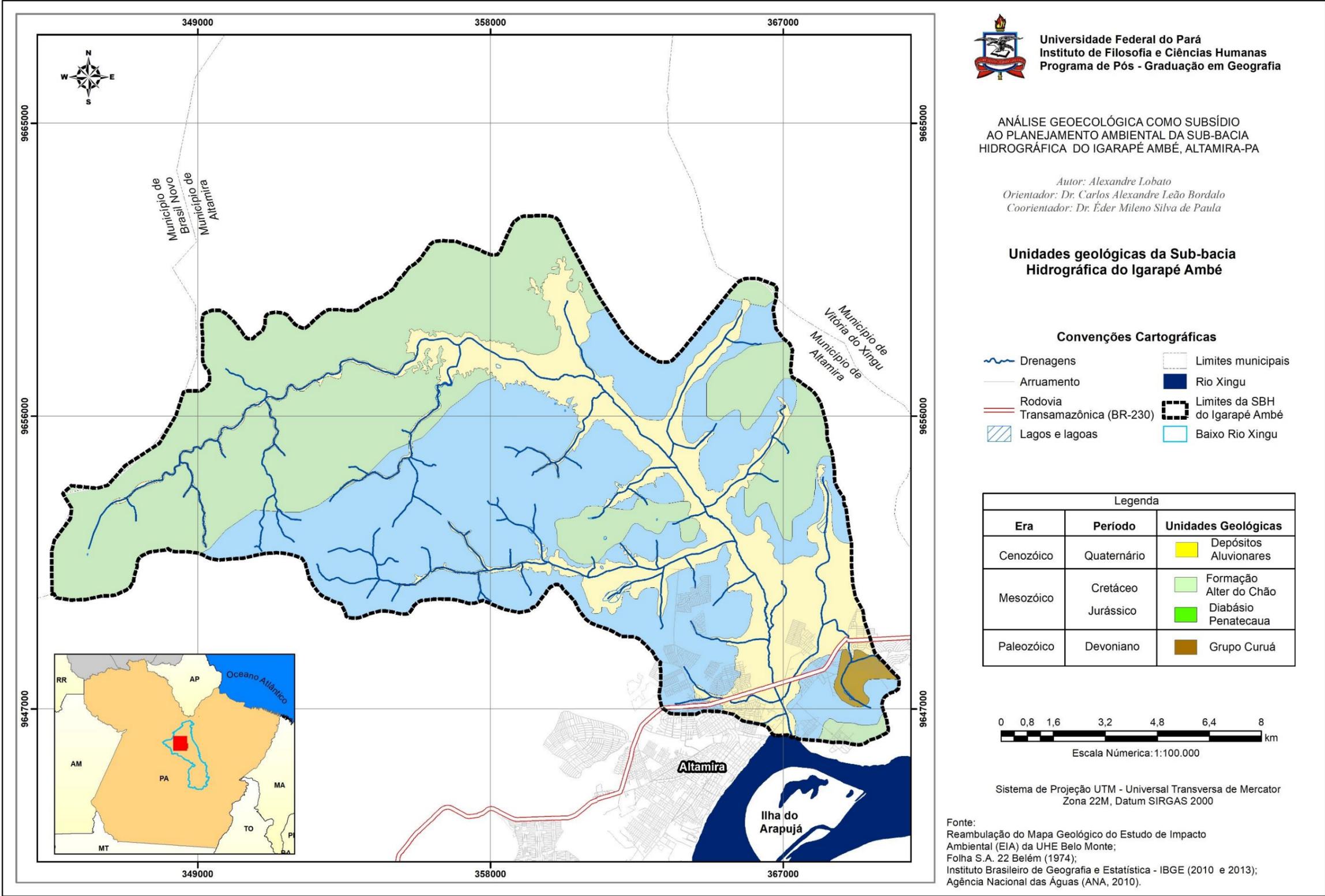
Os Depósitos Aluvionares ocupam uma área de 46,65 km², equivalente a 21% da área SBHA, sendo esta a unidade com formação mais recente, cerca de 11 mil anos até os dias atuais. Sua litologia é formada por areia de granulação fina a grossa, cascalhos, argilas, argilas arenosas e orgânicas e siltes semi-consolidados a consolidados (LEME, 2009). Esses sedimentos são erodidos das margens das vertentes e transportados pelas águas e, posteriormente, depositados nas margens dos canais fluviais, constituindo depósitos de canais e de várzea (GUERRA & GUERRA, 2008; LEME, 2009). Por sua litologia, os Depósitos Aluvionares apresentam grande importância como recurso mineral, sendo a areia e o cascalho bastante utilizados para a construção civil e a argila bastante utilizada para cerâmica.

Outra unidade mapeada é a formação Ater do Chão, correspondendo a era do Mesozoico (45 a 165 milhões de anos), ocupando 86,91 km², correspondendo a 39% da SBHA, sendo sua maior parte no alto curso na porção noroeste. Sua litologia é constituída por um espesso pacote de arenito grosso, friável, e de cores variadas, com estratificação cruzada, níveis lenticulares de conglomerados maciços e argilas vermelhas (LEME ENGENHARIA, 2009). O ambiente de deposição é fluvial de alta energia/lacustrino-deltáico (DAEMON, 1975 apud VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

Por sua vez, o Diabásio Penatecaua detém a primazia espacial de 87,28 km², representando 39,2% da área total da SBHA, sendo suas maiores porções no médio e baixo curso. Sua litologia é constituída por sill (soleiras) e diques de diabásio.

Pertencendo a era do Paleozoico tem a Formação Curuá, ocupa a formação Curuá ocorre na porção sudeste da referida SBHA, em uma mancha restrita e sem afloramento. Sua litologia é constituída essencialmente por folhelhos cinza-escuros a negros e siltitos arenosos cinzas (LEME ENGENHARIA, 2009). O mapa a seguir mostra as unidades geológicas supracitadas.

Mapa 3: Unidades geológicas da SBHA.



3.3. Geomorfologia

As unidades geomorfológicas são reflexos espaciais oriundos das trocas de energia, matéria e informações presentes nas paisagens. Desta forma, compreender as formas do relevo se torna essencial para se pensar o planejamento ambiental pautado na compreensão dos sistemas ambientais.

Nessa perspectiva, Silva (2018) discorre que as informações oriundas do mapeamento geomorfológico quando devidamente especializada através da cartografia, oferecem importantes subsídios para a análise em síntese. Para melhor determinação das formas do relevo foi necessário espacializar algumas informações para além das perceptíveis nas imagens de satélites, no mapeamento geológico (Mapa 3) e no trabalho de campo, tais como altimetria (Mapa 5) e declividade (Mapa 6).

O mapeamento geomorfológico realizado para a SBHA na escala de 1:100.000 se deu na quarta ordem de grandeza, constituindo assim os Modelados (IBGE, 2012). Os Modelados constituem formas do relevo com padrões similares em função de sua morfogênese (IBGE, op. cit.). Desta forma, constatou-se que na SBHA estão presentes as seguintes formas de relevos: Colinas Amplas e Suaves, a Planície de Fluvial e os Terraços Fluviais. O Mapa 4 espacializa as formações do relevo.

A Planície Fluvial e Terraço Fluvial são pertencentes ao modelado de acumulação fluvial onde os processos de agradação superam os de degradação, resultando em áreas deposicionais (GUERRA E GUERRA, 2008). Estes têm sua gênese relacionada a processos morfogenéticos do rio Xingu, sendo diferentes apenas por sua dinâmica fluvial atual.

Desta forma, a Planície Fluvial são áreas planas adjacentes ao canal fluvial, que periodicamente são inundadas pela elevação do nível das águas e que mantém fortes relações hidrológicas, sedimentologias e ecológicas com a dinâmica fluvial, correspondendo assim às várzeas (ou igapós) atuais (STEVANUX e LATRUBESSEM, 2017; IBGE, 2012).

Na SBHA, a Planície de Fluvial está situada em áreas Planas (0-3%) e Suaves Onduladas (3-8%), com elevações variando entre 58 metros e 120 metros. Essa forma de relevo ocupa 12,61 km², correspondendo a 5,7% da área total da SBHA.

As Planícies estão concentradas nas adjacências de alguns canais fluviais, sendo sua maior concentração na drenagem do Igarapé Ambé, principalmente, no baixo curso, nas proximidades com do exutório com o rio Xingu (Figura 7), nestes locais a Planície de Inundação alcança larguras de até 900.

Figura 7: Planície de Fluvial no baixo curso da SBHA.



Fonte: Alexandre Lobato/Trabalho de campo, 2021.

A Planície Fluvial tem sua composição formada por argilas, siltes, areais finos e cascalho, de cor acinzentado, rico em matéria orgânica. Devido a sua composição, as Planícies de Inundação apresentam grande importância como recurso mineral, sendo a areia e o cascalho bastante utilizados para a construção civil e a argila para cerâmica. De acordo com LEME (2009), os depósitos de argila mais importantes para economia local de Altamira associam-se, principalmente, às planícies dos igarapés Panelas e Ambé.

A partir do processo de enchimento do Reservatório Xingu em 2016, as atividades de exploração de argila na planície do Igarapé Ambé foram extintas, devido ao corpo argiloso estarem da cota de segurança de Belo monte, sendo esta cota a usada para formação do reservatório. Conseqüentemente, as atividades dos oleiros² também foram extintas.

No alto e médio curso da SBHA a planície fluvial tem larguras menores, variando entre 30 e 5 metros. Em alguns locais é recorrente processos de deposição de solos lixiviados, oriundos principalmente dos acessos não pavimentados, acarretando em assoreamento dos canais fluviais e alterando a dinâmica hídrica, conforme apresenta a Figura 8.

Figura 8: Planície Fluvial com processo de deposição de solos lixiviados no médio curso da SBHA.

² Os oleiros são aqueles que realizam a atividade de exploração de argila no Igarapé Ambé e Panelas (LEME, 2009).



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2020.

Diferentemente da Planície Fluvial que ainda mantém uma dinâmica direta com os pulsos de inundações do rio Xingu e, conseqüentemente, com os pulsos de inundações dos canais fluviais da SBHA, os Terraços Fluviais encontram-se em um nível topográfico mais alto em relação à Planície de Inundação, não sendo assim alcançados com a elevação do nível d'água. De acordo com Dantas (2013), os Terraços Fluviais constituem paleoplanícies de inundação, que estão em um nível mais elevado que as várzeas atuais e acima do nível das cheias sazonais.

Os Terraços Fluviais são de suma importância para interpretação geocronológica dos acontecimentos que formaram a paisagem da SBHA. Estes são antigas áreas de planícies de fluviais que pelo processo de deposição de sedimentos entre o pleistoceno e holoceno alcançaram níveis topográficos mais elevados, deixando de ser inundadas periodicamente pelas cheias (Figura 9).

Na SBHA essa forma de relevo ocupa uma área de 34,4 km², equivalente a 15,4%, situadas em áreas Planas e Suave Onduladas com elevações variando entre 120 e 130 metros, são áreas contínuas e levemente inclinadas no sentido do rio, sendo limitadas por um leve declive em relação à planície fluvial. Sua composição é constituída por areia fina e média argilosa, com grânulos e angulosos de quartzo, sendo sua base constituída por cascalho, apresenta erosão laminar em sulcos (LEME, 2009). É sobre os Terraços Fluviais do rio Xingu que se situa parte do perímetro urbano da cidade de Altamira.

Figura 9: Terraço Fluvial na SBHA.



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2020.

Por sua vez, sobre as Colinas Amplas e Suaves, Dantas (2013) discorre que esta forma de relevo é caracterizada por conter relevo colinoso com topos amplos ou convexos, bem como, com vertentes convexas e/ou retilíneo e/ou côncavos.

Na SBHA, esta forma do relevo é homogênea com topos convexos e amplos, ocupando uma área de 175,74 km², correspondendo a 78,9%, se estendendo por toda bacia, com pequenas elevações variando no intervalo de 130 a 228 metros e, também, com vertentes convexas e retilíneo.

A declividade varia entre Suave Ondulado (3 a 8%), Ondulado (8 a 20%) e Fortemente Ondulado (20 a 40%), sendo que nesta forma de relevo, atuam processo de dissecação em sucus de ravinas, caracterizado por alta atuação predominante da erosão pluvial (IBGE, 2009b), principalmente em áreas com os solos desnudos.

Essas formas de relevo são constituídas por sustento nas unidades geológicas da Formação Alter do Chão, Diabásio Penatecua e Grupo Curuá, tendo com substrato rochoso os diabásios, arenitos, arenitos conglomeráticos, folhelhos, siltitos e ritmitos, possuindo um sistema de drenagem principal, com deposições de planícies aluviais com vales menos encaixados (LEME, 2009; IBGE, 2009).

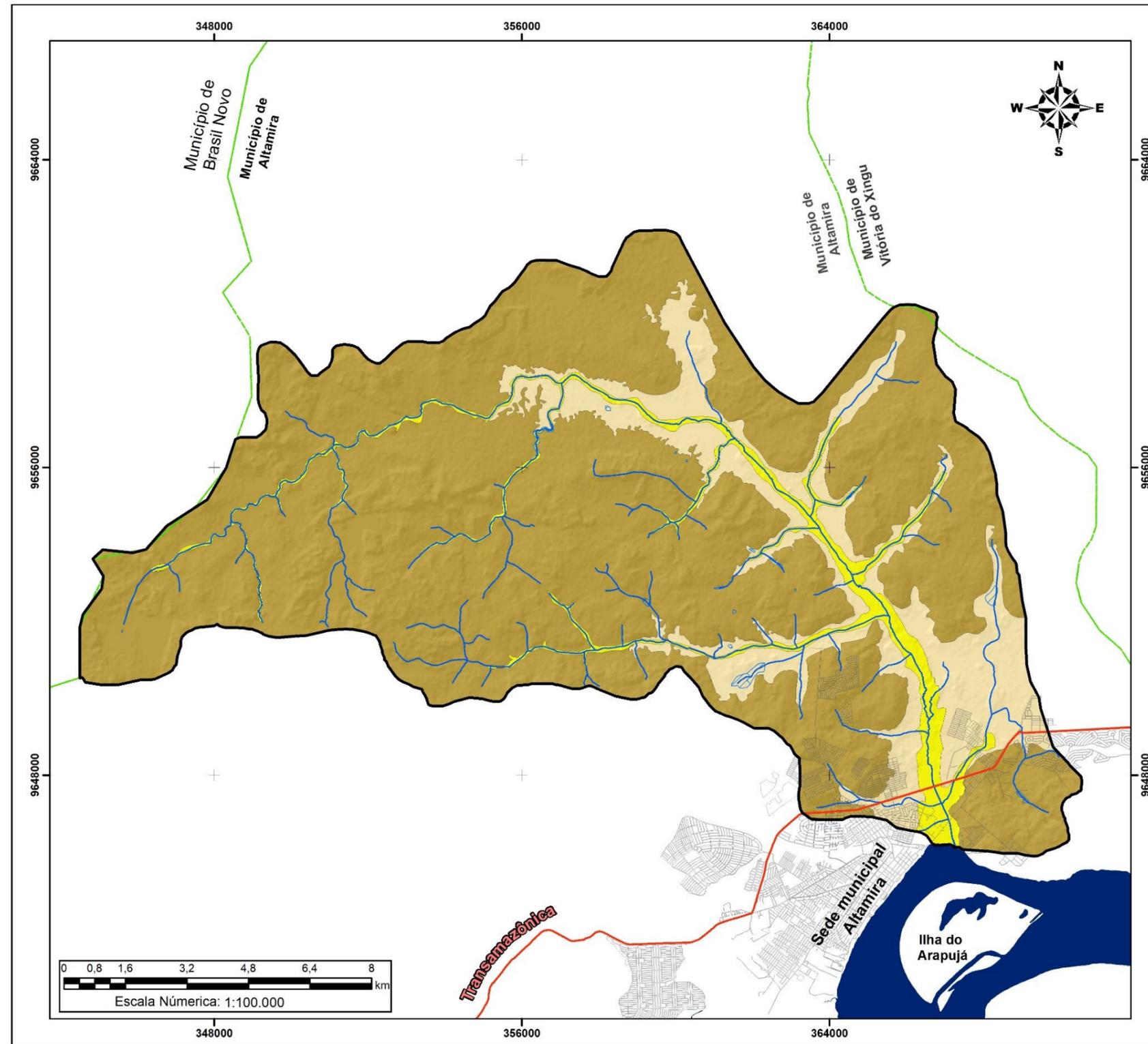
Esta forma de relevo apresenta ocorrências de processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas ou voçorocas) que devido a escala de mapeamento não constam cartograficamente no mapa de geomorfologia.

Figura 10: Colinas Amplas e Suaves com topos convexos.



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2020.

Mapa 4: Espacialização das formas do relevo da SBHA.



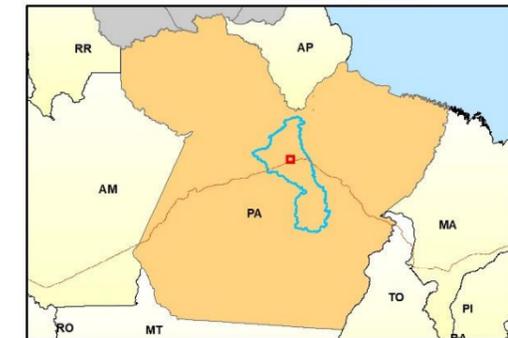
Universidade Federal do Pará
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós - Graduação em Geografia

ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO
AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ-BAIXO RIO XINGU

Autor: Alexandre Lobato
Orientador: Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo
Coorientador: Dr. Éder Mileno Silva de Paula

Geomorfologia da Sub-bacia do Igarapé Ambé

Inserção regional da Área em estudo



Convenções Cartográficas

Rodovia Transamazônica (BR-230)	Lagos e lagoas
Arruamento	Limites da SBH do Igarapé Ambé
Drenagem	Rio Xingu
Limites municipais	

Legenda

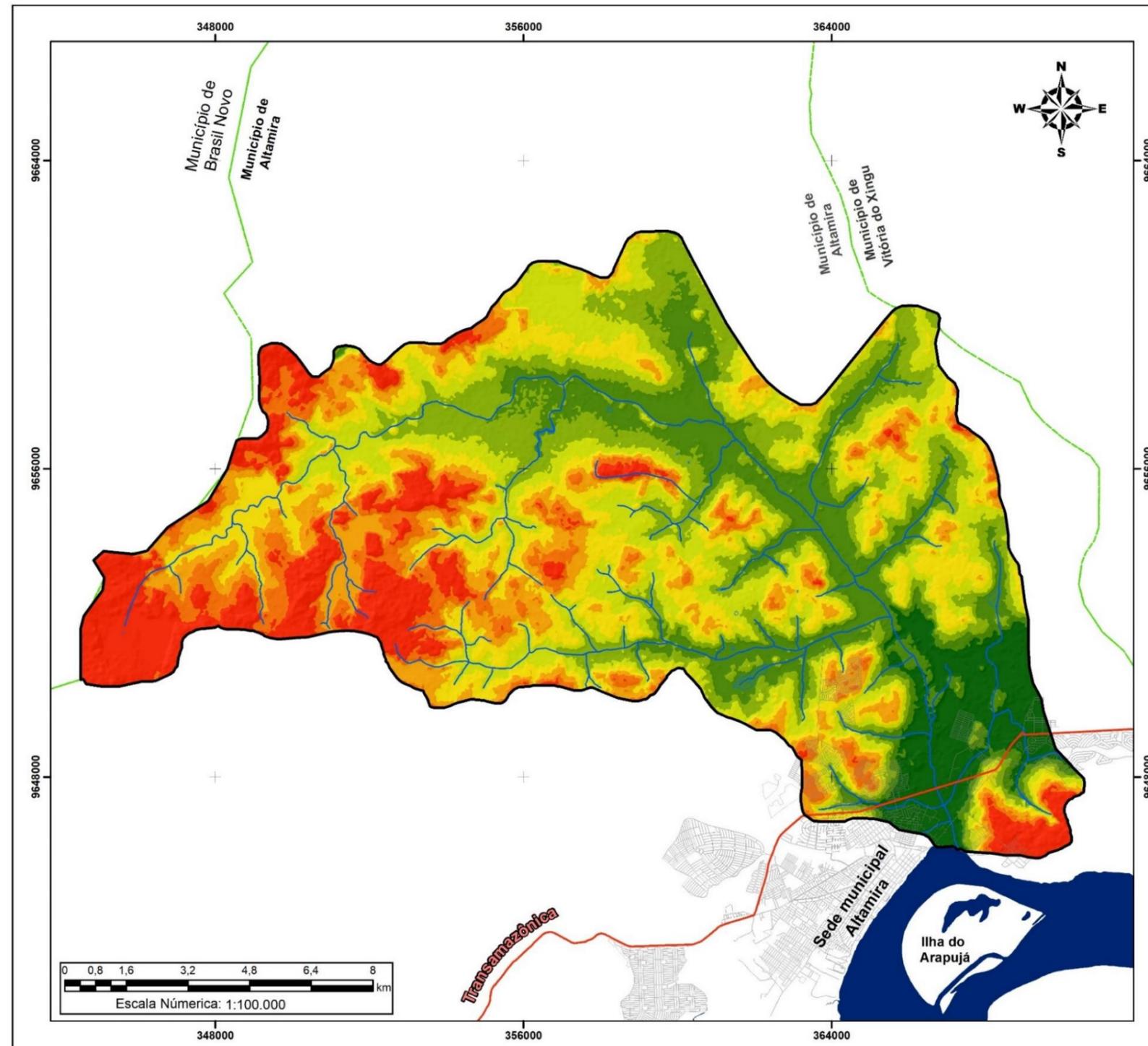
Unidades Geomorfológicas

Colinas Amplas e Suaves
Planície Fuvial
Terraço Fluvial

Fonte: Reambulação do Mapa de Geológico do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte; Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (BRASIL, 2010 e 2013); Agência Nacional das Águas (ANA, 2010).

Sistema de Projeção UTM - Universal de Transversa de Mercator
Zona 22M, Datum SIRGAS 2000

Mapa 5: Altimetria da SBHA



Universidade Federal do Pará
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós - Graduação em Geografia

ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO
AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ-BAIXO RIO XINGU

Autor: Alexandre Lobato
Orientador: Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo
Coorientador: Dr. Éder Mileno Silva de Paula

Altimetria da Sub-bacia do Igarapé Ambé

Inserção regional da Área em estudo



Convenções Cartográficas

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Rodovia Transamazônica (BR-230) | Lagos e lagoas |
| Arruamento | Limites da SBH do Igarapé Ambé |
| Drenagem | Rio Xingu |
| Limites municipais | |

Legenda

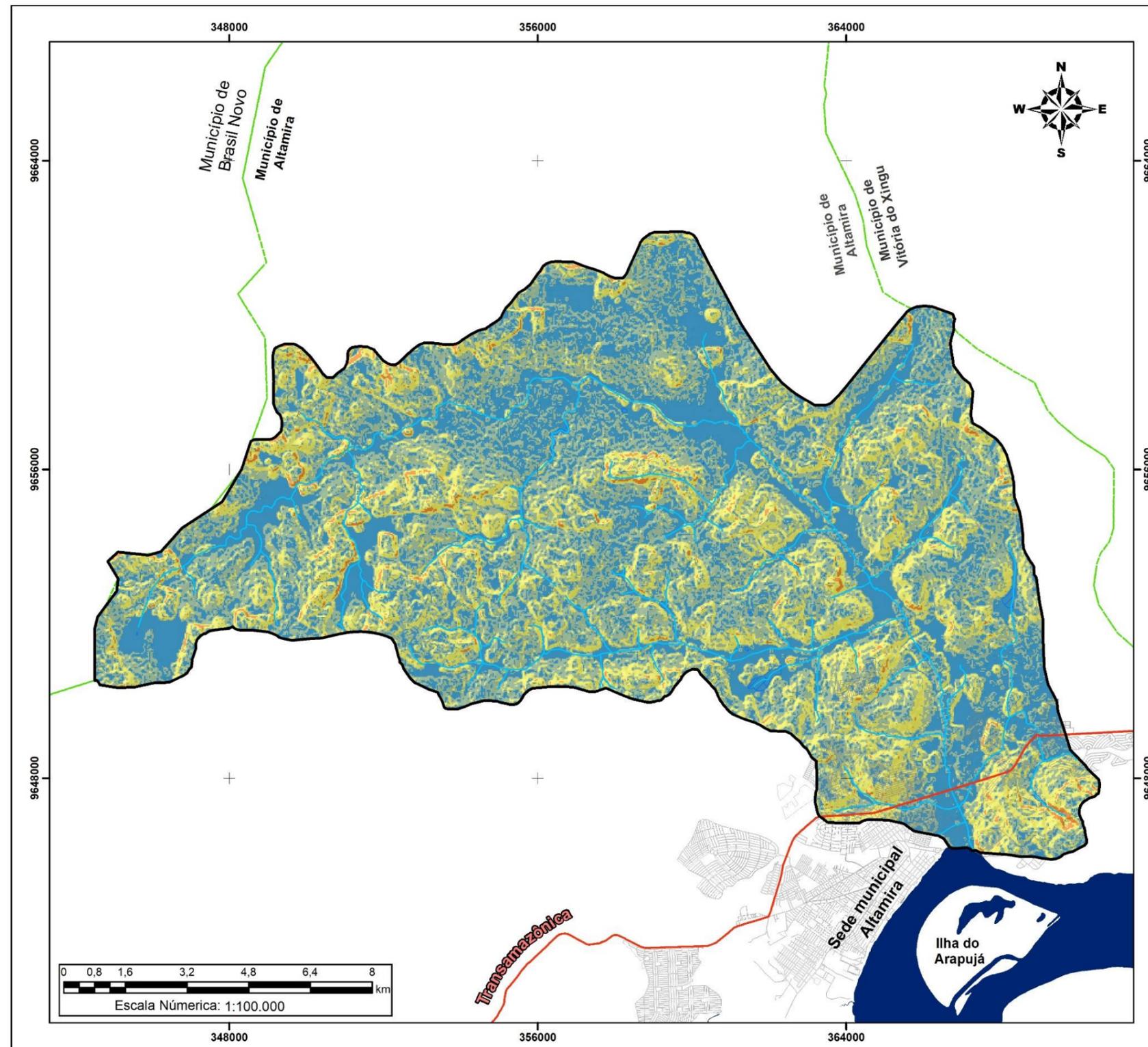
Elevação

- | | |
|------------------|------------------|
| 58 a 110 metros | 140 a 150 metros |
| 110 a 120 metros | 150 a 160 metros |
| 120 a 130 metros | 160 a 170 metros |
| 130 a 140 metros | 170 a 228 metros |

Fonte: Reambulação do Mapa de Geológico do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte; Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (BRASIL, 2010 e 2013); Agência Nacional das Águas (ANA, 2010).

Sistema de Projeção UTM - Universal de Transversa de Mercator
Zona 22M, Datum SIRGAS 2000

Mapa 6: Declividade da SBHA.



Universidade Federal do Pará
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós - Graduação em Geografia

ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO
AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ-BAIXO RIO XINGU

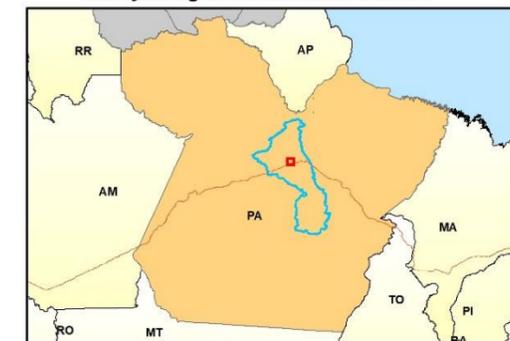
Autor: Alexandre Lobato

Orientador: Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo

Coorientador: Dr. Éder Mileno Silva de Paula

Declividade da Sub-bacia do Igarapé Ambé

Inserção regional da Área em estudo



Convenções Cartográficas

- | | | | |
|--|--------------------------------|--|--------------------|
| | Limites da SBH do Igarapé Ambé | | Lagos e lagoas |
| | Rodovia | | Rio Xingu |
| | Transamazônica (BR-230) | | Limites municipais |
| | Arruamento | | |

Legenda

Classes de declividade

- | | |
|--|--------------------------------|
| | Plano (0 a 3%) |
| | Suave Ondulado (3 a 8%) |
| | Ondulado (8 a 20%) |
| | Fortemente Ondulado (20 a 40%) |

Fonte: Reambulação do Mapa de Geológico do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte; Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (BRASIL, 2010 e 2013); Agência Nacional das Águas (ANA, 2010).

Sistema de Projeção UTM - Universal de Transversa de Mercator
Zona 22M, Datum SIRGAS 2000

3.4. Hidrografia

Os estudos relacionados com compreensão das drenagens fluviais são de suma importância para o entendimento da gênese e formação das paisagens, pois “os cursos d’água constituem processos morfogenéticos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 102).

Nessa perspectiva, Cunha (2008) discorre que os estudos que buscam entender a dinâmica fluvial de uma rede de drenagem devem considerar algumas informações, sendo estas: tipos de leitos, tipos de canal, hierarquia fluvial, tipos e padrão de drenagem. Desta forma, buscou-se compreender a dinâmica fluvial da SBHA na escala de 1:100.000, tornando-se uma das abordagens essenciais para gestão da paisagem.

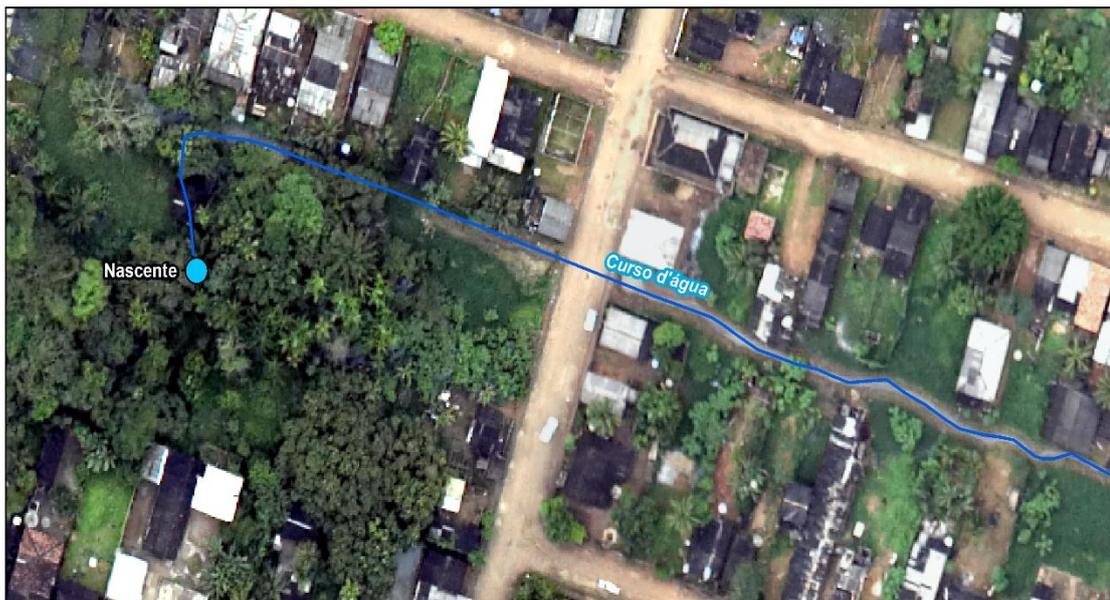
A sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA) possui uma área de 222,75 km², sua classificação é exorréica, pois sua drenagem deságua no Xingu e oceano (CHRISTOFOLETTI, 1980). Sua rede de drenagem apresenta padrão dendrítica e cursos d’água perenes e intermitentes. De acordo Christofolletti (op. cit.), este padrão de drenagem é tipicamente desenvolvido sobre estruturas sedimentares horizontais ou sobre rochas de resistências uniformes, sendo a drenagens da SBHA desenvolvidas sobre as Bacias Sedimentares do Fanerozóico.

O rio principal que dá o nome a sub-bacia, o Igarapé Ambé, apresenta comprimento de 34,44 km e desagua no rio Xingu. O comprimento total da rede de drenagem é de 159,23 km, com desníveis de até 170 metros, sendo a maior elevação de 228 metros e a menor de 58 metros, conforme apresenta o Mapa 7.

A SBHA apresenta 66 nascentes, sendo distribuídas 12 no alto curso, 45 no médio curso e 9 no baixo curso, conforme apresenta o mapa 6. Das 9 nascentes no baixo curso, 6 estão em áreas ou nas proximidades do perímetro urbana da cidade de Altamira. A Figura 11 apresenta uma das nascentes no baixo curso da SBHA dentro do perímetro urbano da cidade de Altamira.

Outro elemento importante a ser analisado na SBHA é sua hierarquia fluvial, que consiste no "processo de se estabelecer a de determinado curso de água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 106).

Figura 11: Vista a área de nascente dentro do perímetro urbano da cidade de Altamira, PA.



Fonte: Alexandre Lobato, 2020.

O Mapa 8 espacializa a hierarquia fluvial da SBHA, concluindo que a SBHA é uma bacia de 4° ordem e detém 74 km de canais de 1° ordem, 42,97 km de canais de 2° ordem, 15,37 km de canais de 3° ordem e 26,70 km de 4° ordem, conforme apresenta tabela abaixo:

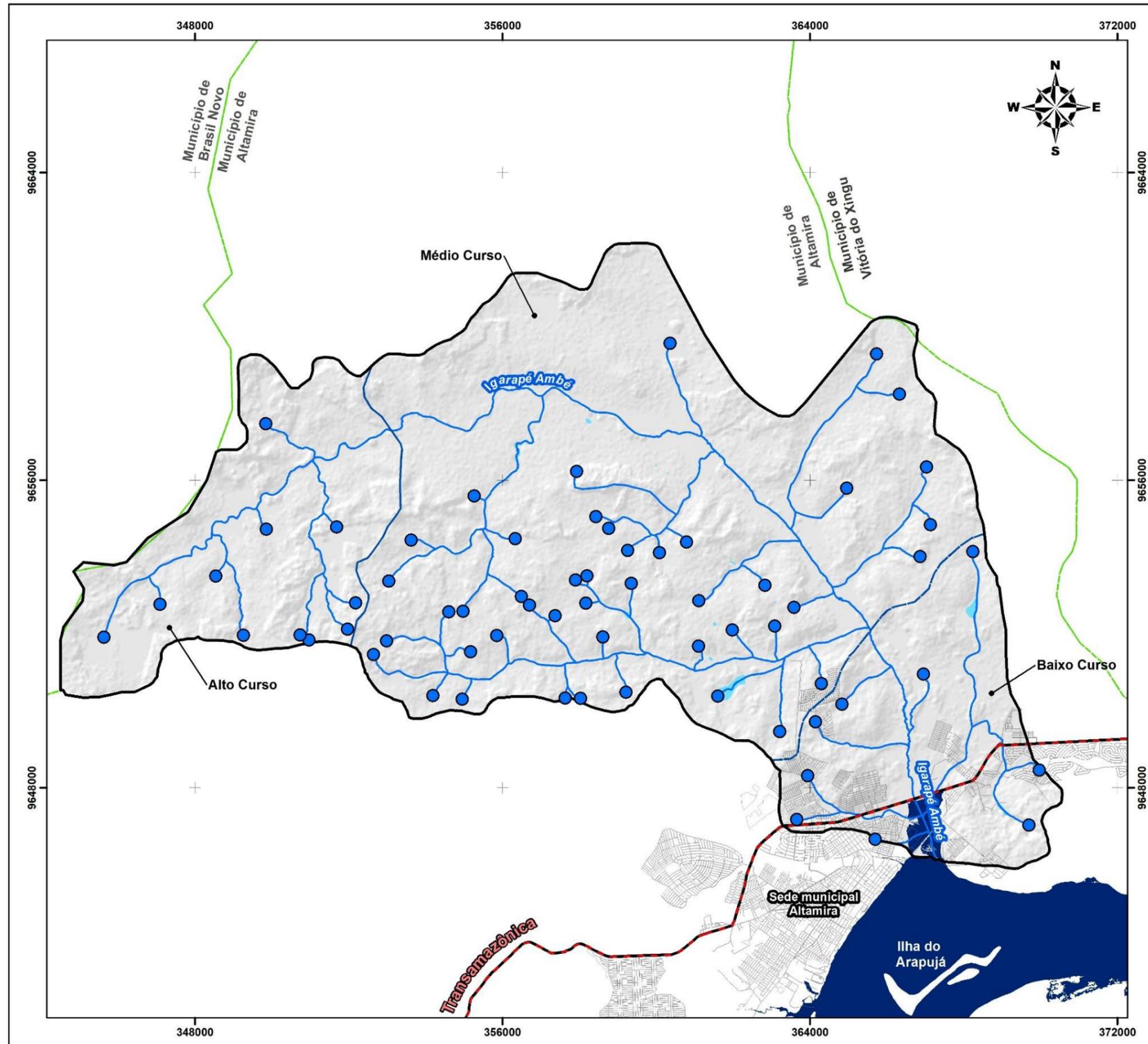
Tabela 3: Síntese das características dos canais fluviais da SBHA.

Curso da sub-bacia	Ordem de Strahler (1989)	n° de canais	comprimento em km
Alto curso	1° ordem	11	10,98
	2° ordem	4	5,65
	3° ordem	3	7,29
	4° ordem	1	2,59
Médio curso	1° ordem	45	45,45
	2° ordem	16	30,25
	3° ordem	1	8,07
	4° ordem	1	16,89
Médio curso	1° ordem	9	17,77
	2° ordem	3	7,08
	4° ordem	1	7,22

Fonte: Alexandre Lobato, 2020.

Segundo Strahler (1989 apud Christofletti, 1980), os canais ligados a nascente e no extremo denomina-se segmento de primeira ordem, e a junção de dois segmentos de mesma ordem forma um canal de ordem superior e assim por diante, exceto quando acontece a junção de um canal de ordem superior com um de ordem inferior, onde deve prevalecer o de maior ordem.

Mapa 7: Rede de drenagens e nascente da SBHA.



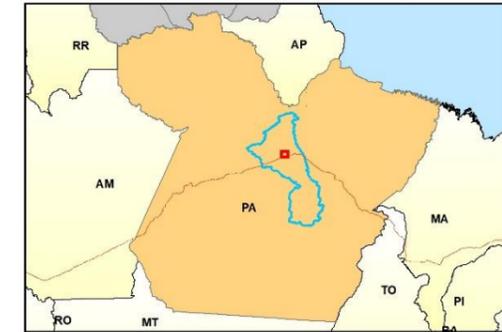
Universidade Federal do Pará
 Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
 Programa de Pós - Graduação em Geografia

ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO
 AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
 HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ, ALTAMIRA-PA

Autor: Alexandre Lobato
 Orientador: Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo
 Coorientador: Dr. Éder Mileno Silva de Paula

**Rede drenagem
 da Sub-bacia do Igarapé Ambé**

Inserção regional da Área em estudo



Convenções Cartográficas Legenda

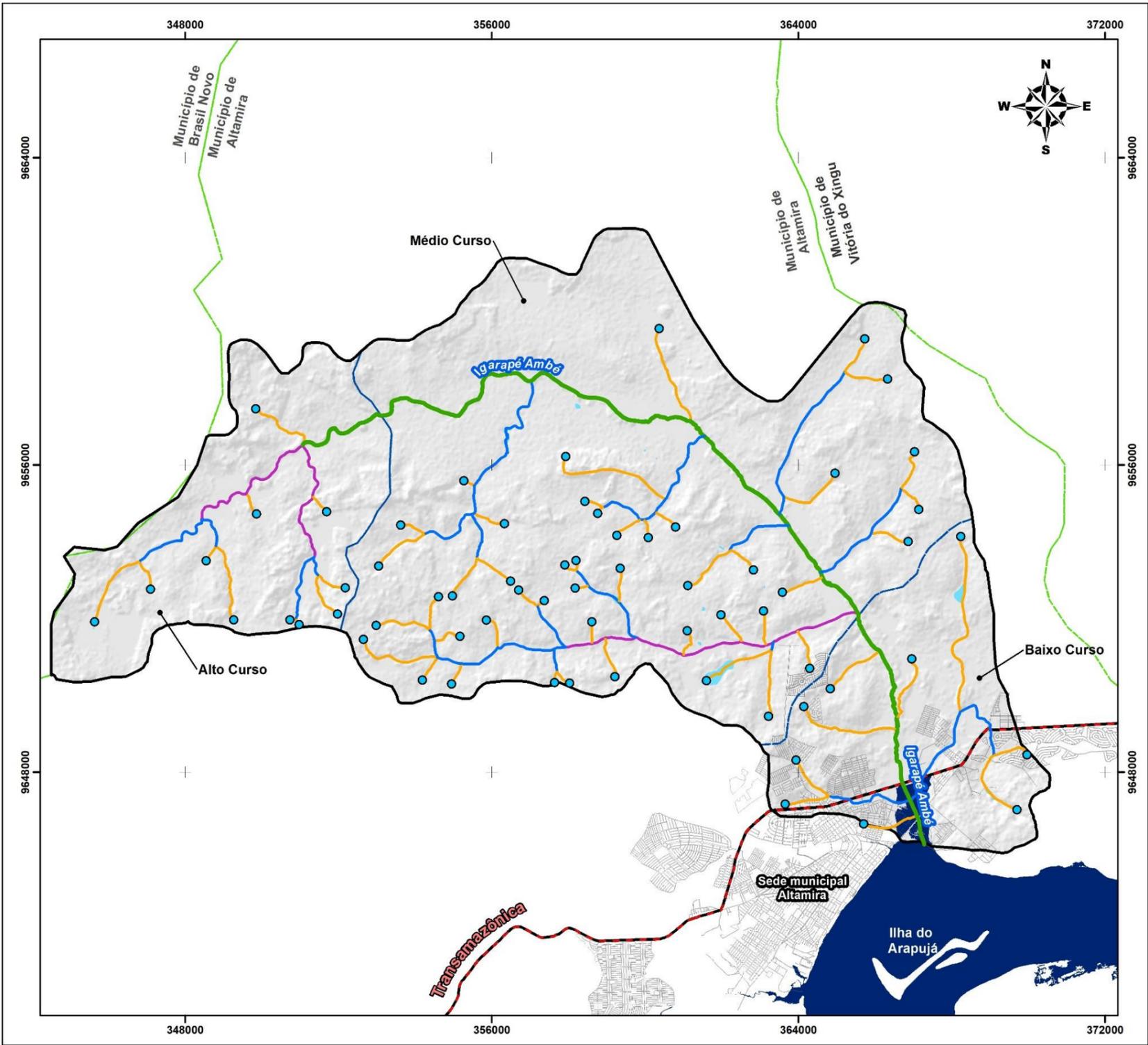
- Limites da SBH do Igarapé Ambé
- Rodovia Transamazônica (BR-230)
- Arruamento
- Rio Xingu Reservatório Xingu UHE Belo Monte
- Limites municipais
- Nascentes
- Limites da SBH do Igarapé Ambé
- Drenagens
- Lagos e lagoas



Fonte: Reambulação do Mapa de Geológico do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte; Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (BRASIL, 2010 e 2013); Agência Nacional das Águas (ANA, 2010).

Sistema de Projeção UTM - Universal de Transversa de Mercator
 Zona 22M, Datum SIRGAS 2000

Mapa 8: Hierarquia Fluvial da SBHA.



Universidade Federal do Pará
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós - Graduação em Geografia

ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO
 AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
 HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ, ALTAMIRA-PA

Autor: Alexandre Lobato
 Orientador: Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo
 Coorientador: Dr. Éder Mileno Silva de Paula

Hierarquia Fluvial da Sub-bacia do Igarapé Ambé

Inserção regional da Área em estudo

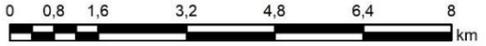


Convenções Cartográficas

- Nascentes
- ▭ Limites da SBH do Igarapé Ambé
- Rodovia Transamazônica (BR-230)
- Arruamento
- Rio Xingu Reservatório Xingu UHE Belo Monte
- ▭ Limites municipais

Legenda

- Nascentes
- ▭ Limites da SBH do Igarapé Ambé
- Lagos e lagoas
- Hierarquia fluvial**
- Classificação de Strahler (1989)**
- 1° ordem
- 2° ordem
- 3° ordem
- 4° ordem



Fonte: Reambulação do Mapa de Geológico do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte; Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (BRASIL, 2010 e 2013); Agência Nacional das Águas (ANA, 2010).

Sistema de Projeção UTM - Universal de Transversa de Mercator
 Zona 22M, Datum SIRGAS 2000

3.5. Associação de solos

Os solos são componentes ambientais complexos que refletem fatores de formação do relevo, geologia, clima e fatores bióticos, sendo suas propriedades físicas, químicas e biológicas definidoras de padrões ecológicos, de uso e cobertura da terra e de fatores socioeconômicos (JÚNIOR et. al., 2011).

As informações dos tipos de solos são essenciais para delimitação do potencial e das limitações presentes na paisagem, constituindo assim, uma base de dados de suma importância ao pensar o planejamento, manejo e conservação dos recursos naturais (IBGE, 2009c). Com base no mapeamento pedológico realizado no âmbito do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte (LEME, 2009) e do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), foram encontrados 4 Associações solos³ na SBHA, conforme apresenta o Mapa 9 e o Quadro 7.

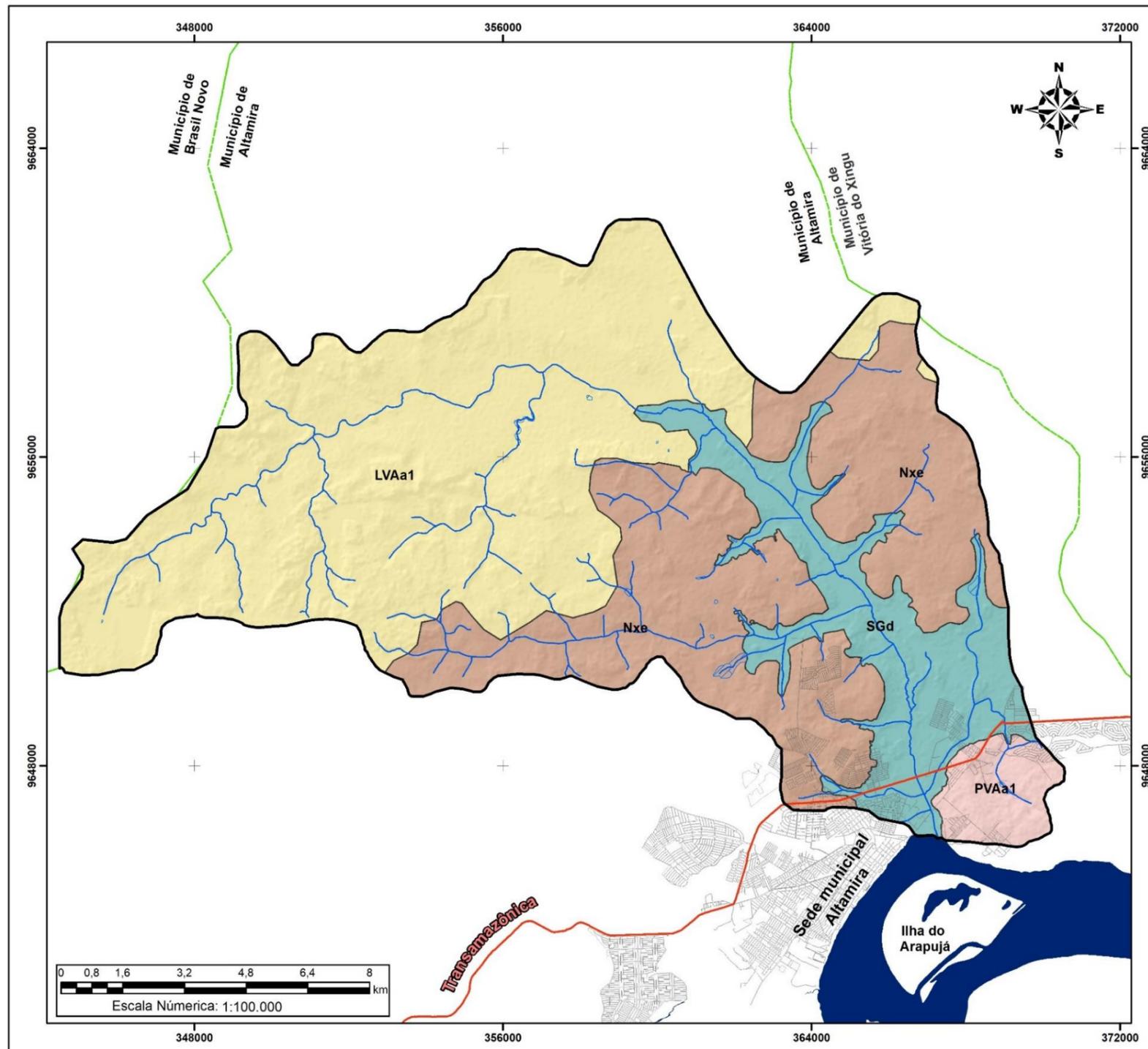
Quadro 7: Associação de solos da SBHA.

Tipo	Associações
SGd - Planossolo Hidromórfico	Associação de Planossolo Hidromórfico Distrófico Tb + Gleissolo Háptico Tb Alumínico + Plintossolo Háptico Alumínico
LVAa1 - Latossolo Vermelho-Amarelo	Associação de Latossolo Vermelho-Amarelo Alumínico + Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico Plíntico
NVe - Nitossolo Vermelho Eutrófico	Nitossolo Vermelho Eutrófico + Argissolo Vermelho Eutrófico + Argissolo Vermelho Eutrófico
PVAa1 - Argissolo Vermelho-Amarelo	Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico + Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico Típico + Nitossolo Háptico Eutrófico Típico

Fonte: Adaptado de LEME (2009).

³ A associação de solos é uma unidade de mapeamento definido pelo agrupamento taxonômico de classes de solos distintas, com limites nítidos ou pouco nítidos, sendo separados de solos pormenorizados, organizadas pela associação geográfica e regulamente num padrão de arranjo definido. Geralmente, a associação de solos é estabelecida pela necessidade de generalização cartográfica em função da escala de mapeamento e padrões de ocorrência (IBGE, 2009c). A junção das nomenclaturas dos tipos de solos é ligada pelo sinal (+).

Mapa 9: Associação de solos da SBHA



Universidade Federal do Pará
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós - Graduação em Geografia

ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO
AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ-BAIXO RIO XINGU

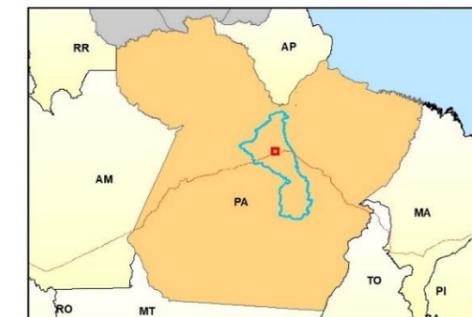
Autor: Alexandre Lobato

Orientador: Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo

Coorientador: Dr. Éder Mileno Silva de Paula

Associação de solos da Sub-bacia do Igarapé Ambé

Inserção regional da Área em estudo



Convenções Cartográficas

- | | | | |
|--|-------------------------|--|--------------------------------|
| | Rodovia | | Lagos e lagoas |
| | Transamazônica (BR-230) | | Limites da SBH do Igarapé Ambé |
| | Arruamento | | Rio Xingu |
| | Drenagem | | |
| | Limites municipais | | |

Legenda

- | | |
|--|---|
| | SGd - Planossolo Hidromórfico Distrófico Típico |
| | LVAa1 - Latossolo Vermelho-Amarelo Aluminico Típico |
| | Nxe - Nitossolo Háptico Eutrófico Típico |
| | PVAa1 - Argissolo Vermelho-Amarelo Aluminico |

Fonte: Reambulação do Mapa de Geológico do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte; Folha S.A. 22 Belém (1974); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010 e 2013); Agência Nacional das Águas (ANA, 2010).

Sistema de Projeção UTM - Universal de Transversa de Mercator
Zona 22M, Datum SIRGAS 2000

A associação de solos com maior predominância na SBHA é o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAA1) ocupando uma área de 112,51 km², equivalente a 51%, sendo sua maior porção encontrado no alto curso. São solos com baixa fertilidade, com o horizonte B latossólico, com textura arenosa e areno-argilosa, com estrutura grumosa nos horizontes superficiais, bem desenvolvidos, profundos e muito profundos, bem drenados e não hidromórficos (LEME, 2009; EMBRAPA, 2018).

São constituídos de minerais primários e secundários, em sua grande porção por arenitos com diversas intercalações de folhelhos, apresentam coloração predominante vermelho-amarelado (5YR 4/4) no horizonte A com espessura média de 40 cm, e no horizonte B bruno-avermelhado (5 YR 5/6 e 5/8) com espessura média de 120 cm (LEME, 2009).

Na SBHA, estes solos têm sua pedogênese ligado principalmente a formação Alter do Chão e ao Diabásio Penatecaua, sua ocorrência se dá em áreas mais elevadas, com declividade variando entre plano e fortemente ondulado, associados principalmente aos relevos colinosos com ocorrências voçoroca e ravinas, onde o uso predominante é a pecuária.

Apesar de serem solos bem drenados e bem permeáveis, devido as características supracitadas, necessitam de um bom manejo para evitar e controlar processos erosivos, principalmente devido à alta taxa pluviométrica de região e o uso agropecuário.

A associação de solos Nitossolo Vermelho Eutrófico (NVe), é a segunda associação com maior predominância na SBHA, ocupando uma área de 69,64 km², que representa 31% da área de pesquisa. São solos constituídos por material mineral, com elevado grau de intemperização, alta fertilidade, não hidromórficos, bem desenvolvidos, profundos, bem drenados, com horizonte B nítico e textura argilosa ou muito argilosa (LEME, 2009; EMBRAPA, 2018).

Figura 12: Área de Pastagem em Latossolo Vermelho e Amarelo.



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2020.

Estes solos correspondem a antiga denominação de Terra Roxa Estruturada (EMBRAPA, 2018). Possuem horizonte A, B e C, onde o horizonte A tem espessura média de 30 cm e cores bruno-avermelhado-escuro (2,5YR3/4), o horizonte Bt tem espessura média de 110 cm e com cores vermelho-escuro (2,5YR3/6) ou mais vermelho (LEME, 2018).

Ocorre principalmente no baixo e médio curso da SBHA, em áreas com declividades variando entre plano e fortemente ondulado, com altimetria elevada e com relevo colinoso, onde também há ocorrência de voçorocas. Está associado principalmente com o Diabásio Penatecaua, apesar de ser um solo com alto grau de fertilidade, o uso predominante é de pastagem, porém com pequenas áreas de cultivos de cacau e culturas anuais de subsistência.

A associação de solos Planossolo Hidromórfico Distrófico (SGd) está presente em uma área de 33,22 km², representando 15% da área total da SBHA. Compreendem solos minerais de baixa fertilidade, hidromórficos, profundos, bem desenvolvidos, imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subperifical aluvial, de textura mais leve, que contrasta com o horizonte o horizonte B plânico imediatamente subjacente, com alta concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta (LEME, 2009; EMBRAPA, 2018).

Devido ao excesso de umidade esses solos apresentam cores menos vivas, o horizonte A apresenta cores cinza (7,5YR5/1) e espessura média de 20 cm e textura arenosa. No horizonte E, a espessura é de aproximadamente 35 cm, com cor cinzento-claro (7,5YR6/1) e textura areia ou areia-franca. O horizonte Btg plânico, possui espessura média de 110 cm,

com cor dominante cinzento-claro (N7/), com mosqueado pouco, pequeno e proeminente de cor vermelho-amarelado (5YR 4/8) e textura argila-arenosa (LEME, 2009).

Estes solos estão associados aos depósitos Aluvionares do Quaternário, as formas do relevo Terraço Fluvial e Planície de Inundação, ocorrem em áreas com declividade plana, suave ondulado e ondulado e nas áreas com baixas elevações, correspondendo assim, a áreas sazonalmente inundadas pelas cheias do Rio Xingu (Figura 13).

Figura 13: Planossolos Hidromórficos Distróficos com cobertura herbácea no exutório da SBHA.



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2020.

Devido ao alto teor de argila presente nos Planossolos, estes eram bastante utilizados na indústria da cerâmica, principalmente, no baixo curso da SBHA, onde eram retiradas cerca de 30 a 40 toneladas anualmente (LEME, 2009). Após o enchimento do Reservatório Xingu em 2016 essa atividade foi extinta.

A associação de solos Argissolo Vermelho-Amarelo (PVaa1) corresponde a menor porção de solos identificados na SBHA, correspondendo uma área de 7,38 km², representando 3% da área total. Compreendem a solos minerais, bem desenvolvidos, muito intemperizados, profundos e bem drenados, que apresentam o horizonte B textural de argila de atividade baixa (LEME, 2009; EMBRAPA, 2018).

Possuindo textura franco-argilo-arenosa, o horizonte A possui espessura média de 30 cm e cores bruno-avermelhado (5YR5/3) e bruno (7,5YR5/4). O horizonte B tem a espessura média de 120 cm e coloração vermelho-amarelada (5YR5/6 e 5/8) (LEME, 2009).

Estes solos têm sua pedogênese associada a três unidades geológicas, a Formação Alter do Chão, o Diabásio Penatecaua e o Grupo Curuá. Sua ocorrência se dá em uma macha restrita no baixo curso da SBHA, em uma área com declividade variando entre plano a fortemente ondulado, bastante elevada com relevo colinoso. Esses solos são bastante utilizados para construção civil.

Figura 14: Argissolo Vermelho-Amarelo.



Fonte: Alexandre Lobato/Trabalho de Campo, 2020.

3.6. Histórico de ocupação, usos da terra e cobertura vegetal da sub-bacia hidrográfica do igarapé Ambé (SBHA)

O levantamento de uso e cobertura da terra é de suma importância para construção de indicadores ambientais e para avaliação da capacidade de suporte ambiental das paisagens, constituindo uma importante ferramenta de planejamento ambiental e de apoio à tomada de decisão (IBGE, 2013).

Santos (2004) discorre que o uso e cobertura da terra retrata as atividades humanas e pressões e impactos sobre os elementos naturais, desta forma se torna um tema básico para o planejamento ambiental. De acordo com IBGE (2013) o levantamento de uso e cobertura da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre.

Nessa perspectiva, Batistella e Moran (2005) discorrem que uma das variáveis para compreensão das dinâmicas territoriais nas paisagens amazônicas, é o estudo das alterações de uso da terra e cobertura vegetal.

Desta forma, para se pensar o planejamento ambiental funcional das paisagens da sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA), fez-se necessário compreender os principais vetores históricos de transformações no uso da terra e cobertura do vegetal, fazendo conexões com os usos atuais e com a forma de organização do espaço, possibilitando mais tarde a sua correlação com estruturas verticais da paisagem, como geomorfologia, geologia e solos.

3.6.1. Principais vetores históricos de alterações no uso da terra e cobertura vegetal da SBHA

De acordo com Becker (1991) as intervenções humanas na região amazônica são intensificadas a partir da década de 1960. Nesta década, o governo militar inicia um grande plano estatal de exploração dos recursos naturais na região Amazônica, através do chamado Programa de Integração Nacional (PIN), que visava uma série de grandes investimentos em infraestrutura, como estradas, portos, hidrelétricas, plantas de exploração de minério, entre outros (BECKER, 2001; BRONDÍZIO, 2009; GONÇALVES, 2001).

Entre as obras do Plano de Integração Nacional (PIN), estava a construção da Rodovia Transamazônica (BR-230) (

Figura 15), onde seu eixo rodoviário estava previsto instalação de milhares de famílias, em sua grande maioria agricultores oriundos de outras regiões do país (KOHLHEPP, 2002; MORAN, 1981, 2016).

Figura 15: Trecho da Rodovia Transamazônica em construção na década de 1970.



Fonte: Jornal Folha de São Paulo, 1970.

As terras no eixo da Rodovia Transamazônica foram divididas, predominantemente, em lotes de 100 hectares, dentro de um padrão ortogonal cortado por acessos, chamado de vicinais, com o eixo principal voltado para a Transamazônica, passando a ser conhecido com assentamentos “espinha de peixe” (BATISTELLA; MORAN, 2005; MORAN; BRONDÍZIO; VANWEY, 2005; PFAFF et al., 2009).

A partir dessa política de Estado, têm-se importantes modificações nas paisagens ao longo da referida rodovia, moldando as atividades econômicas que antes eram pautadas no extrativismo dos recursos da floresta, para uma base voltada ao manejo de áreas agrícolas com cultivares perenes (KOHLHEPP, 2002; MORAN, 1981).

A partir dos dados do IBGE (2010), constatou-se que, no intervalo entre 1970 e 1980, houve um aumento 108% na população rural e de 356% na população urbana do município de Altamira, sendo este aumento proveniente principalmente da abertura da Rodovia Transamazônica e do Projeto Integrado de Colonização Amazônica (PIC). Pela primeira vez a população urbana do município de Altamira ultrapassa a rural.

Entre 1980 e 1991 houve um aumento de 86% na população urbana da cidade de Altamira e um ligeiro aumento de 14% na população rural. Quando comparado os valores absolutos da população rural de 1980 com a de 1991, o incremento populacional foi de apenas 2.672 pessoas, não acompanhando assim a tendência de elevado crescimento populacional registrada em 1980. Já nos anos de 1996 a 2010 houve sucessivos decréscimos populacionais

nos domicílios rurais, em detrimento dos aumentos progressivos da população urbana, alcançando a taxa de 85% em 2010, conforme apresenta o Quadro 8.

Quadro 8: População no município de Altamira entre 1960 e 2010.

Valores absolutos								
Município de Altamira	Domicílio	1960	1970	1980	1991	1996	2000	2010
	Urbana	3.118	5.905	26.905	50.145	54.235	62.285	84.092
	Rural	8.972	9.440	19.591	22.263	24.547	15.154	14.498
	Total	12.090	15.345	46.496	72.408	78.782	77.439	99.075
Valores percentuais								
Município de Altamira	Domicílio	1960	1970	1980	1991	1996	2000	2010
	Urbana	26%	38%	58%	69%	69%	80%	85%
	Rural	74%	62%	42%	31%	31%	20%	15%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do IBGE, 2010.

Devido a sua posição de centralidade regional, Altamira atraiu boa parte das pessoas que saíam das áreas rurais, acarretando alterações no uso e cobertura da terra dentro da área urbana e nas suas adjacências. De acordo com Miranda Neto (2016), o intenso processo migratório na década 1980 e 1990 alterou definitivamente a organização espacial da cidade de Altamira, sendo necessária a criação de novos loteamentos e intervenções estratégicas na cidade, principalmente no contexto de habitações.

De acordo com o autor citado, como resultado do êxodo rural a cidade de Altamira sofreu um processo de urbanização precário e sem um planejamento adequado, principalmente através do surgimento de ocupações nos leitos dos rios que drenam a área urbana, gerando aglomerados humanos irregulares em diversos pontos, indo assim de contrário com as hipóteses de desenvolvimento anunciadas pelo Estado, evidenciando a terrível face da desigualdade que se aprofundava a área urbana em decorrência da crise no campo.

Como forma de tentar amenizar os processos de ocupação irregulares que já ocorriam, principalmente, nas áreas de planície fluvial do Igarapé Altamira, a igreja católica assume papel de organizar a sociedade civil com a criação do loteamento Nossa Senhora de Aparecida em 1985. A princípio, foram destinadas áreas dentro da sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA) onde os pulsos de inundações sazonais não alcançassem. Contudo, apesar de todo o planejamento da igreja católica, o processo de urbanização adentrou para áreas de Planície de Inundação da SBHA, onde nessas áreas formaram-se aglomerados

subnormais⁴ com moradias essencialmente em cima de palafitas e com acessos formados principalmente por pontes.

De acordo com dados do Estudo de Impacto Ambiental da UHE Belo Monte (LEME, 2009), na SBHA em 2008, residiam em áreas sujeitas a inundação cerca de 7.240 pessoas, distribuídas em 2.503 edificações, onde 38% eram palafitas. As condições sanitárias dessas edificações eram precárias, onde apenas três edificações eram ligadas a rede de esgotamento sanitário e apenas nove edificações possuem fossa séptica. Com relação ao abastecimento de água, cerca de 69,6% das edificações são atendidas por poços particulares e 5,7% são abastecidos pela rede da prefeitura. As figuras 16 e 17 trazem as moradias em cima de palafitas na SBHA.

Figura 16: Moradias na cidade de Altamira em cima de palafitas na planície fluvial do Igarapé Ambé.



Fonte: Miranda Neto, 2013.

⁴ Aglomerado Subnormal é uma forma de ocupação irregular de terrenos de propriedade alheia – públicos ou privados – para fins de habitação em áreas urbanas e, em geral, caracterizados por um padrão urbanístico irregular, carência de serviços públicos essenciais e localização em áreas com restrição à ocupação (IBGE, 2019).

Figura 17: Imagem da aérea das ocupações irregulares na cidade de Altamira na planície de fluvial da SBHA nas proximidades do exutório.



Fonte: Greenpeace, 2009.

Entre 1987 e 2007 na SBHA foram abertos 7 novos empreendimentos imobiliários (Quadro 9), entre loteamentos pertencentes a prefeitura e o setor privado, indo de contraste com a realidade das ocupações irregulares que se formavam na planície de inundação.

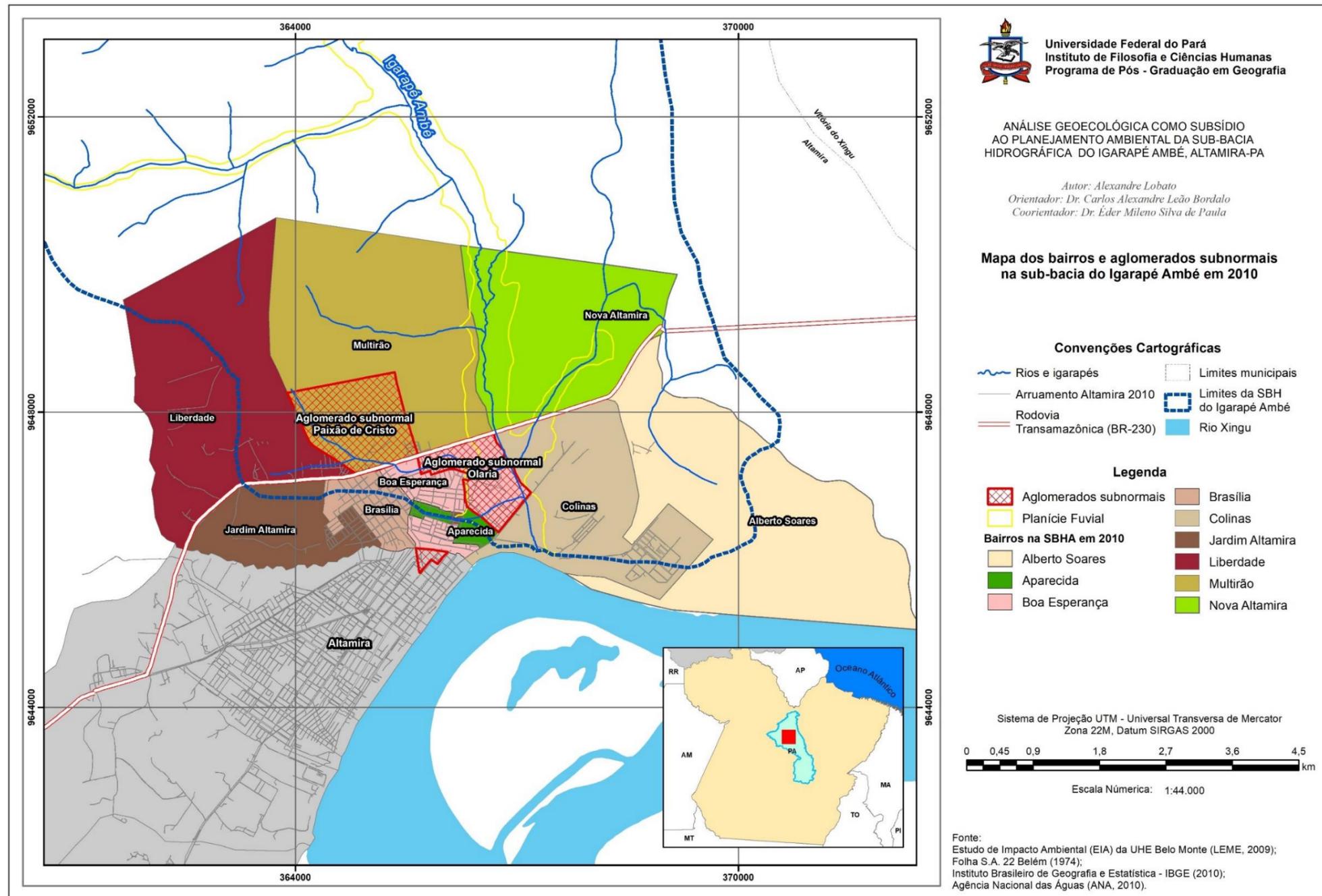
Quadro 9: Empreendimentos imobiliários entre os anos de 1981 e 2009 dentro da SBHA.

Empreendimento	Ano de criação
Santa Ana	1981
Colina	1984
Loteamento Aparecida 3	1985
Loteamento Aparecida 4	1991
Mutirão	1997
Altaville	2003
Jardim França	2003
Nova Altamira	2007

Fonte: Costa, 2013.

A partir desses loteamentos e do processo de expansão urbana, na SBHA até 2010, têm-se 9 bairros e dois aglomerados subnormais, o aglomerado Olaria e Paixão de Cristo, conforme apresenta o mapa.

Mapa 10: Bairros e aglomerados subnormais na SBHA em 2010.



De acordo com Miranda Neto (2016) como forma de fornecer emprego e renda para os moradores do loteamento Nossa Senhora de Aparecida e da Invasão dos Padres, foi criado o “Projeto de Olarias Aparecida” (OLAP), que consistia na fabricação de tijolos.

A argila usada era extraída da planície fluvial do Igarapé Ambé. Apesar de ser uma atividade predominantemente artesanal, e que era exercida sazonalmente no período de julho a dezembro (período de seca e início do período de enchente do rio Xingu), a atividade exercia forte pressões antrópicas na paisagem, retirando mensalmente cerca de 30 a 40 toneladas, levando algumas jazidas a serem exauridas (LEME, 2009).

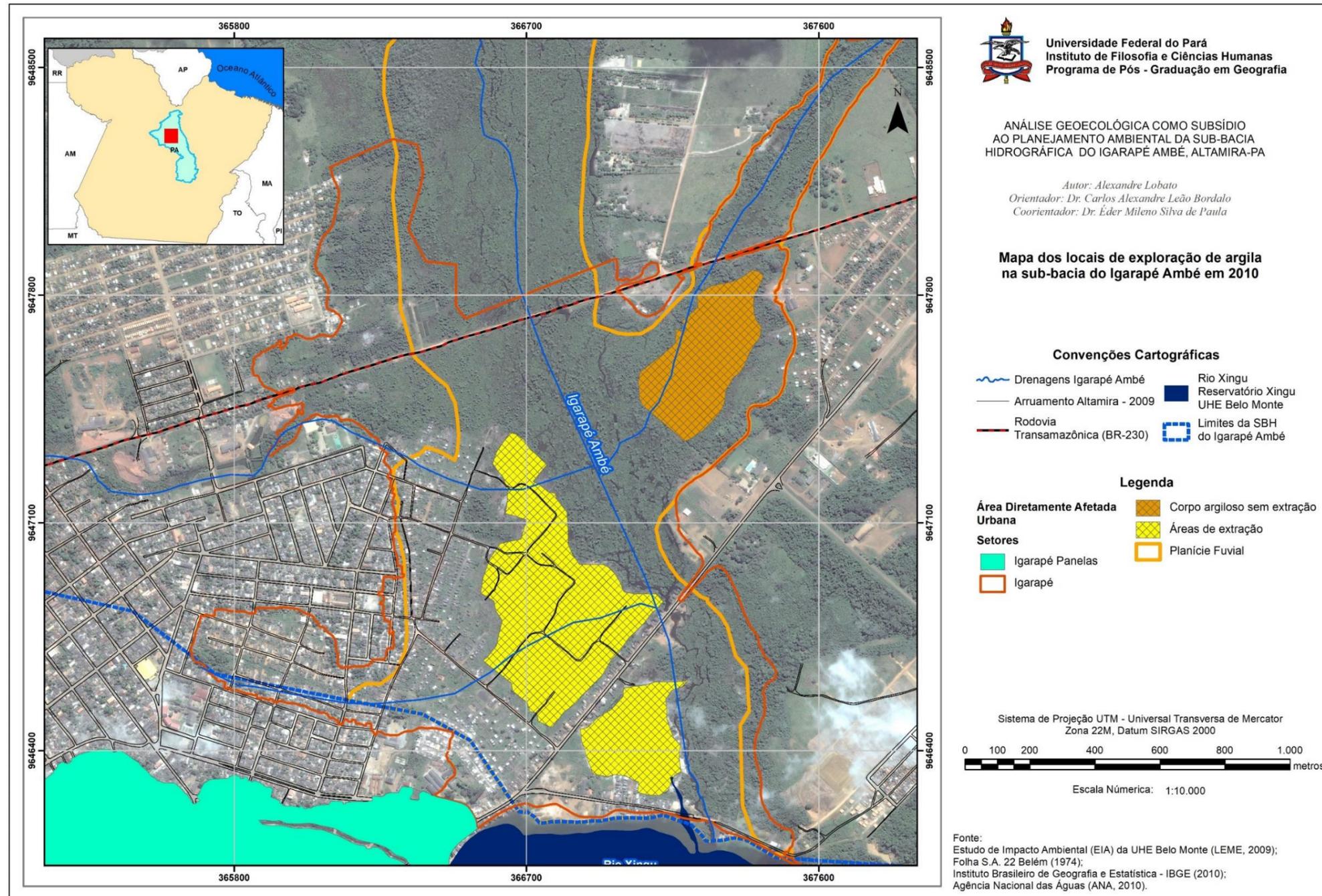
Figura 18: Produção de tijolos manual na cidade de Altamira na planície do SBHA.



Fonte: LEME, 2009.

Com o início da construção do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte na Volta Grande do Xingu em 2011, a área urbana da cidade de Altamira passou a integrar a Área Diretamente Afetada (ADA) e a Área de Influência Direta (AID) pela construção e operação de Belo Monte. De acordo com o a Eletrobrás (1997), as áreas de influência direta referem-se à porção territorial onde a abrangência dos impactos incidem diretamente sobre os recursos ambientais e a rede de relações sociais, econômicas e culturais.

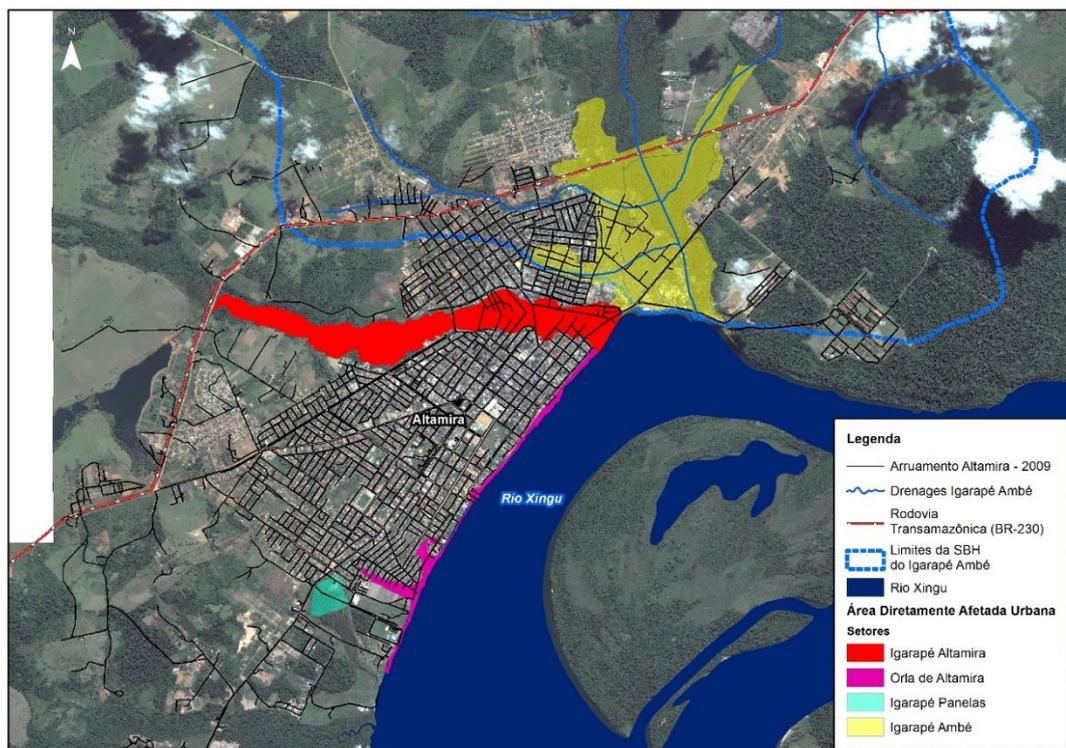
Mapa 11: Locais de exploração de argila na SBHA em 2010.



As características da ADA Urbana, em Altamira, correspondem às áreas necessárias para formação dos Reservatórios da UHE Belo Monte, na cota altimétrica 97 metros, onde o Reservatório Xingu (RX) opera nas suas condições normais; as Áreas de Preservação Permanente (APP) de 30 metros formadas a partir do enchimento do RX; e pela cota altimétrica de segurança de 100 metros, onde ocorria as cheias centenárias do Rio Xingu (LEME, 2009).

A ADA Urbana foi dividida em 4 setores, Igarapé Ambé, Altamira, Igarapé Pannels e Orla de Altamira (Figura 19). A ADA do Igarapé Altamira é onde tem a maior extensão territorial com cerca de 285,86 ha e 7.240 habitantes (LEME, 2009). Nessas áreas a população residente foi indenizada através da carta de crédito ou reassentada nos Reassentamentos Urbanos Coletivos (RUC), construídos pela Norte Energia nas áreas colinosas ao redor do perímetro urbano de Altamira.

Figura 19: Localização da ADA Urbana em Altamira.



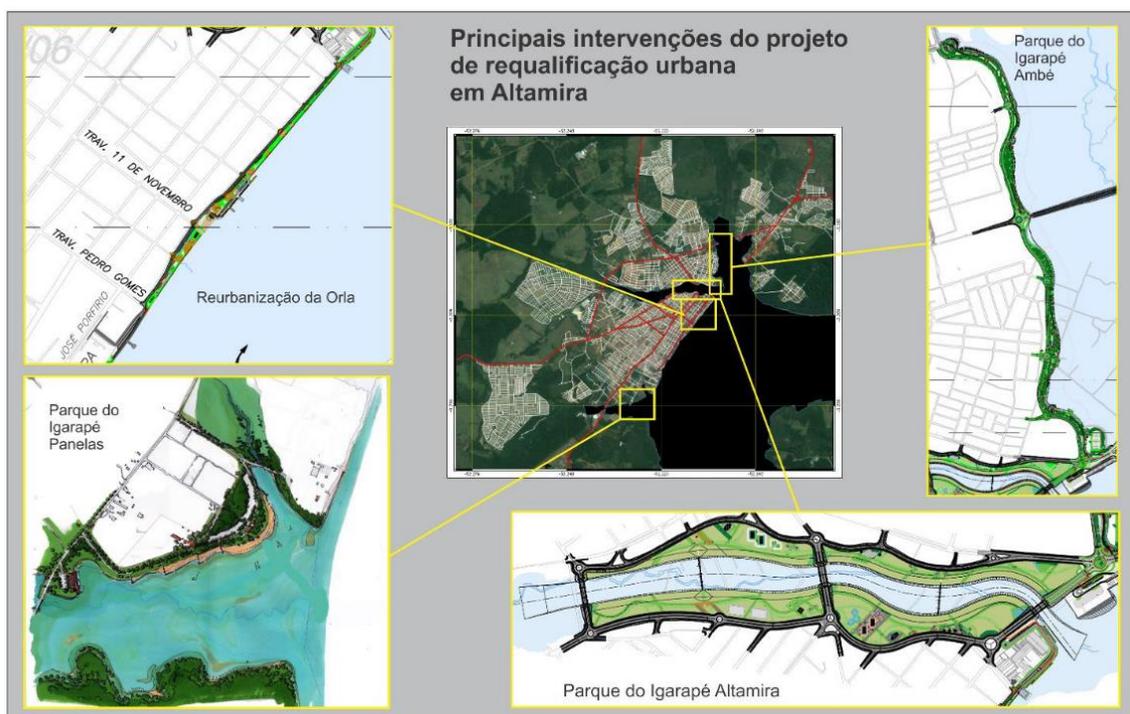
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados de LEME, 2009.

A atividade de extração de argila na planície fluvial do Igarapé Ambé também foi extinta. Porém, nos locais onde aconteciam a extração não houve nenhum processo de recuperação ambiental, as crateras ainda estão visíveis na paisagem e em algumas delas passaram a crescer algumas espécies vegetacionais arbustivas e/ou herbáceas. As moradias

que estavam dentro da ADA Urbana foram demolidas e a população foi indenizada ou reassentada em novos bairros planejados, os RUC, construídos nas áreas colinosas ao redor do perímetro urbano de Altamira.

Foram removidas cerca de 7 mil construções, e nestes locais foram previstas três grandes obras: Parque do Igarapé Altamira, Parque do Igarapé Ambé e orla da cidade, redefinindo assim a função social desses locais (MIRANDA NETO, 2016). A Figura 20 espacializa os projetos de requalificação Urbana para a ADA da cidade de Altamira.

Figura 20: Projetos de requalificação da ADA Urbana da cidade de Altamira.



Fonte: Miranda Neto, 2016.

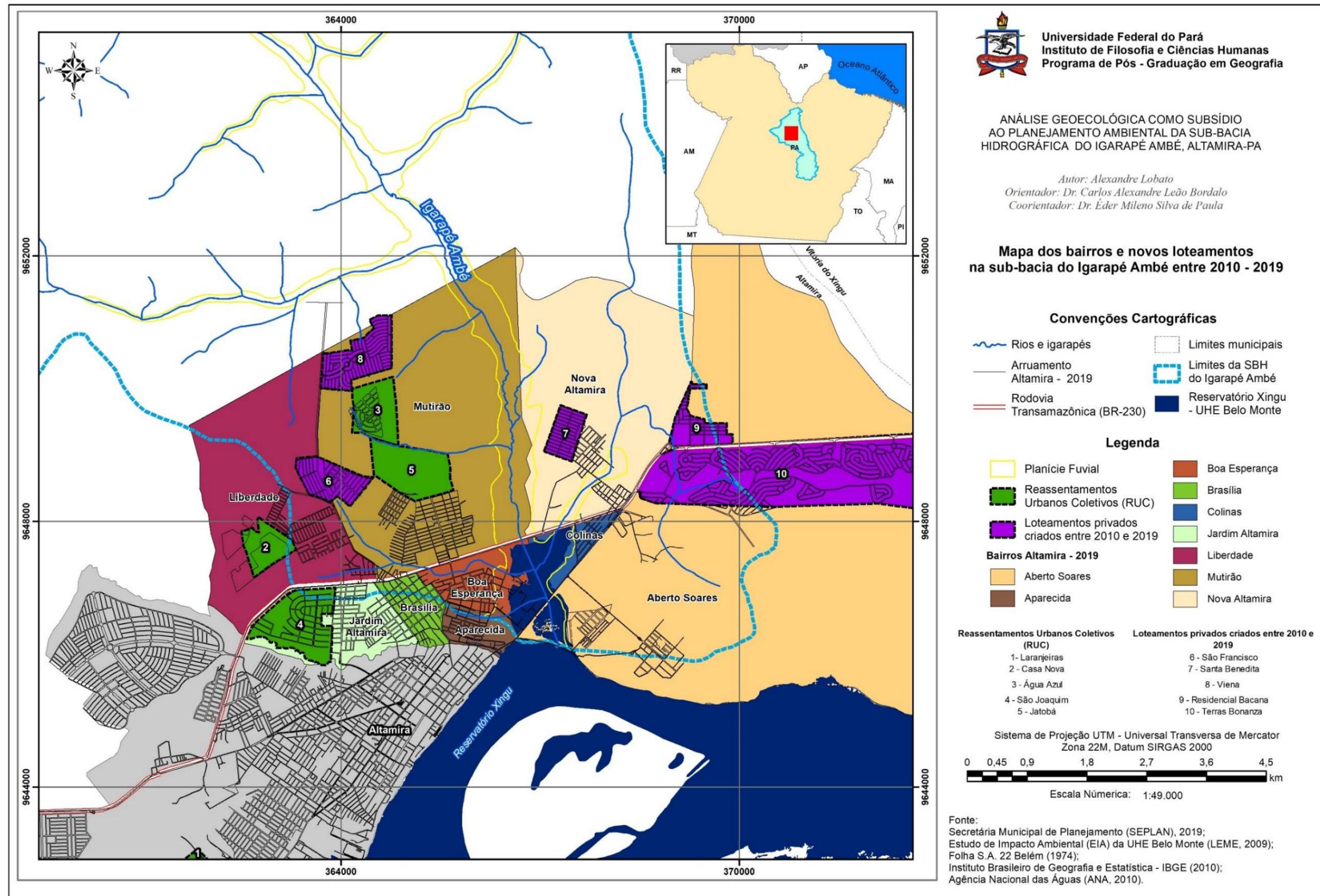
Apesar do atraso de cerca de dois anos na conclusão das obras da orla de Altamira e do parque Igarapé Altamira, estas já foram concluídas e entregues para gestão municipal em 2019, porém a obra do igarapé Ambé até o presente momento não foi concluída. No local está crescendo espécies de vegetação arbustivas e herbáceas, conforme será apresentado com maior detalhe no 3.6.2.

Ao mesmo tempo que as antigas áreas de aglomerados subnormais dentro da SBHA passam a ter uma nova função social, a expansão urbana ainda ocorreu para novas áreas dentro do terraço fluvial por meio de loteamento privados, como o Terra de Bonanza (criado em 2013) e Residencial Santa Benedita (criado em 2010) e por meio da criação dos RUC nas

áreas de colinas amplas e suaves, como o RUC Jatobá (criado em 2013) e RUC Água Azul (criado em 2013) (OLIVEIRA, 2017).

O Mapa 12 apresenta todos os loteamentos criados entre 2010 e 2019, bem como, a nova configuração urbana no baixo curso da SBHA.

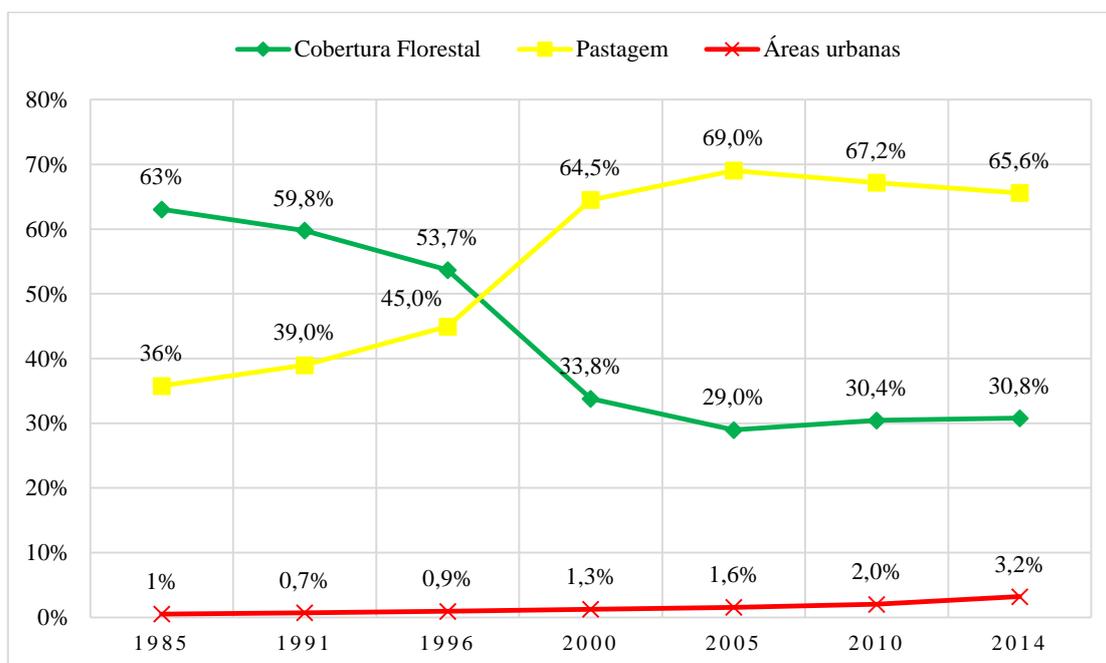
Mapa 12: Bairros e aglomerados subnormais na SBHA entre 2010 e 2019.



Com a criação dos novos loteamentos privados e dos RUC, ocorreu uma expansão das áreas urbanas para algumas áreas de colinas amplas e suaves, que antes serviam como fator limitante para expansão urbana, que se concentrava principalmente nas planícies dos três igarapés Altamira, Ambé e Panelas.

Para além das alterações nas áreas urbanas, o médio e alto curso da SBHA também sofreram com fortes alterações nas paisagens a partir da década de 1970. Para tanto, utilizou-se de dados do projeto Mapbiomas para realizar um inventário multitemporal das alterações ocorridas nos usos da terra entre 1985 e 2014 (Gráfico 4), destacando as classes para escala de 1:150.000, sendo as classes: cobertura florestal, pastagem e áreas urbanas.

Gráfico 4: Proporção de uso da terra e cobertura vegetal da SBHA entre 1985 e 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do projeto Mapbiomas, 1985 e 2014.

Proporcionalmente, a classe de uso com maior ganho foi a pastagem, saindo de 36% em 1985 (79,7 km²) para 65% (146,1 km²) em 2014, sendo seu maior aumento registrado entre os anos de 1996 e 2000, com aumento de 30,3% (incremento de 43,5 km²). Por sua vez a cobertura florestal reduziu de 63% (140,4 km²) em 1985 para 30,8% (68,6 km²), deixando de ser a classe predominante na SBHA.

No intervalo entre 1996 e 2000, a classe cobertura florestal perde 58,8% (44,3 km²) de sua área, sendo esta a maior perda de floresta para os anos analisados. Neste mesmo período é registrado o maior aumento percentual para a classe pastagem,

mostrando uma correlação entre a perda de cobertura florestal e o aumento das áreas de pastagem.

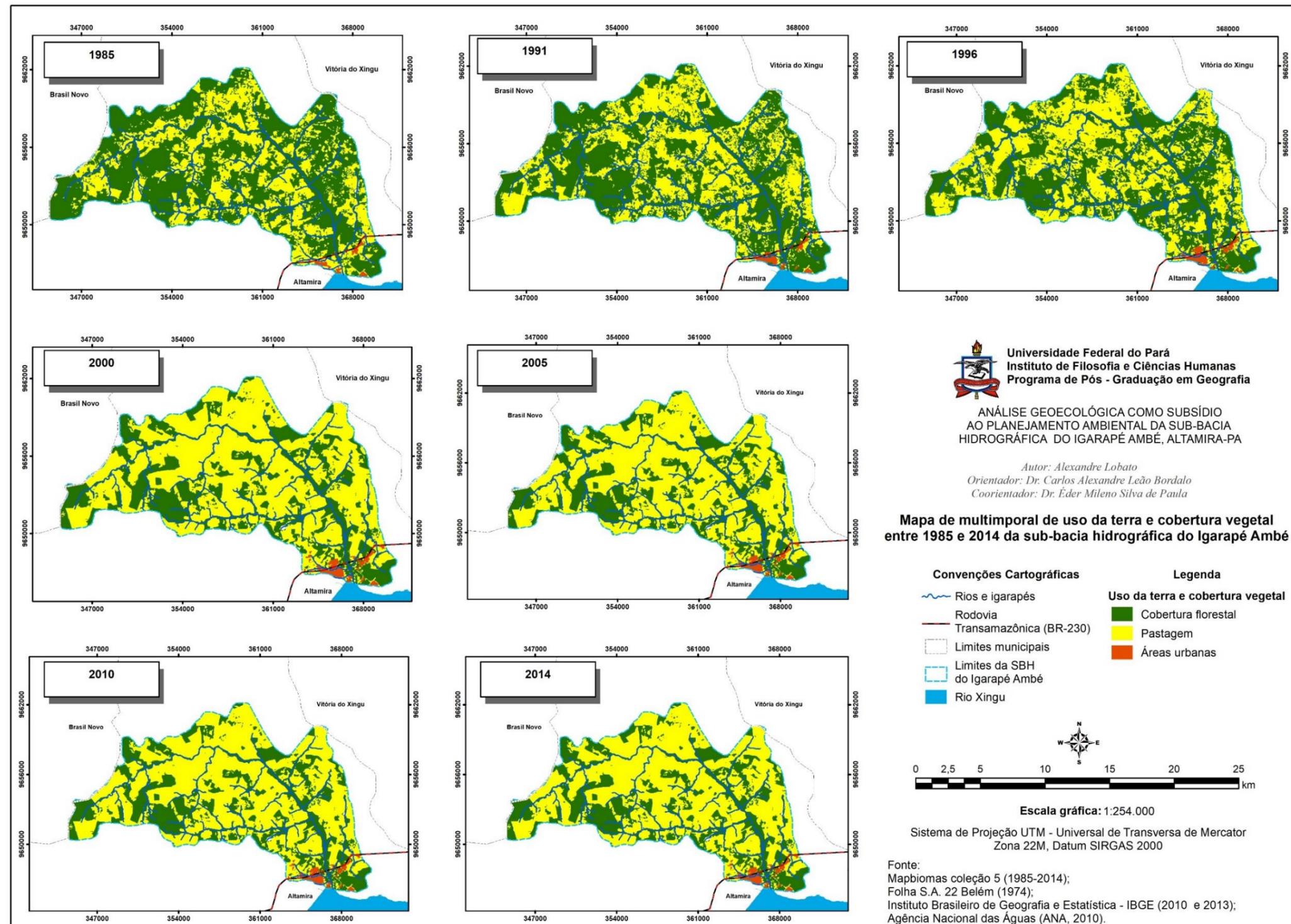
Ao analisar a cobertura florestal no intervalo entre os anos de 2005 e 2014, nota-se progressivos aumentos, 4,8% (3,28 km) entre 2005 e 2010 e de 1,1% (0,76 km²) entre 2010 e 2014. Calvi (2019) ao estudar o uso da terra na região da Transamazônica, constatou um aumento de vegetação secundária entre 2003 e 2014, fruto do abandono das áreas de pastagem e do plantio de novas áreas consorciadas de espécie florestais com as lavouras de Cacau. O referido autor acrescenta que a chegada da UHE Belo Monte ajudou no abandono das áreas de pastagem, contribuindo assim para o crescimento de vegetação secundária, pois parte da mão de obra do campo se desloca para a cidade de Altamira em busca de trabalho na construção de Belo Monte.

Outro fator que ajuda a entender o crescimento da classe vegetação secundária é o combate ao desmatamento ilegal na região, principalmente pela Operação Arco de Fogo em 2008, acarretando o abandono de frentes de desmatamento (BARRETO et al., 2011; DE PAULA, 2017; CALVI, 2019).

A classe áreas urbanas se expandiu principalmente no intervalo de 2010 a 2014, crescendo 37% (incremento de 2,6 km²). Conforme discorrido acima, neste período houve a criação de novos bairros, loteamentos privados e loteamentos destinado ao reassentamento da população removida compulsoriamente pela construção de Belo Monte (LETURCQ, 2016; OLIVEIRA, 2017; MIRANDA NETO, 2014; 2016).

Em síntese, todas as classes analisadas perderam ou ganharam área nos anos analisados, sendo a perda mais expressiva na classe cobertura florestal, que apresentou uma perda líquida de 51% (71,9 km²). As áreas cresceram com mais ênfase a partir de 2010, e a classe pastagem se consolidou como a classe predominante na SBHA, ocupando 65,6%. O Mapa 12 espacializa a dinâmica de uso da terra e cobertura vegetal da SBHA entre 1985 e 2019.

Mapa 13: Mapa multitemporal de uso da terra e cobertura vegetal da SBHA entre 1985 e 2019



3.6.2. Uso da terra e cobertura vegetal da SBHA – 2019.

O mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal foi realizado a partir de imagens do satélite Sentinel-2B, sensor *Multispectral Instrument* (MSI) com resolução espacial de 10 metros, imageado em 23 de julho de 2019. Os resultados da classificação indicam que a acurácia geral ficou em 90,2% e o coeficiente de Kappa entre 0.88. De acordo com Lu et al. (2013) e Feng et al. (2017) valores de exatidão global entre 85% e coeficiente de Kappa de 0.80 indicam precisões adequadas para confiabilidade dos resultados.

O Mapa 4 apresenta espacialmente os tipos de uso da terra e cobertura vegetal dentro da SBHA. Constatou-se que o uso predominante é a pastagem, ocupando uma área equivalente a 131,15 km², correspondendo a cerca de 59% da área total. Sobre essas áreas se desenvolve as atividades voltada a pecuária de corte, voltada principalmente à produção de gado bovino, nessas áreas acontece o plantio de espécies herbáceas, principalmente espécies do gênero *Bachiaria*.

As áreas de pastagens estão principalmente sobre o relevo colinoso com classes de declividades variando entre plano (0 a 3%) e ondulado (8 a 20%) (

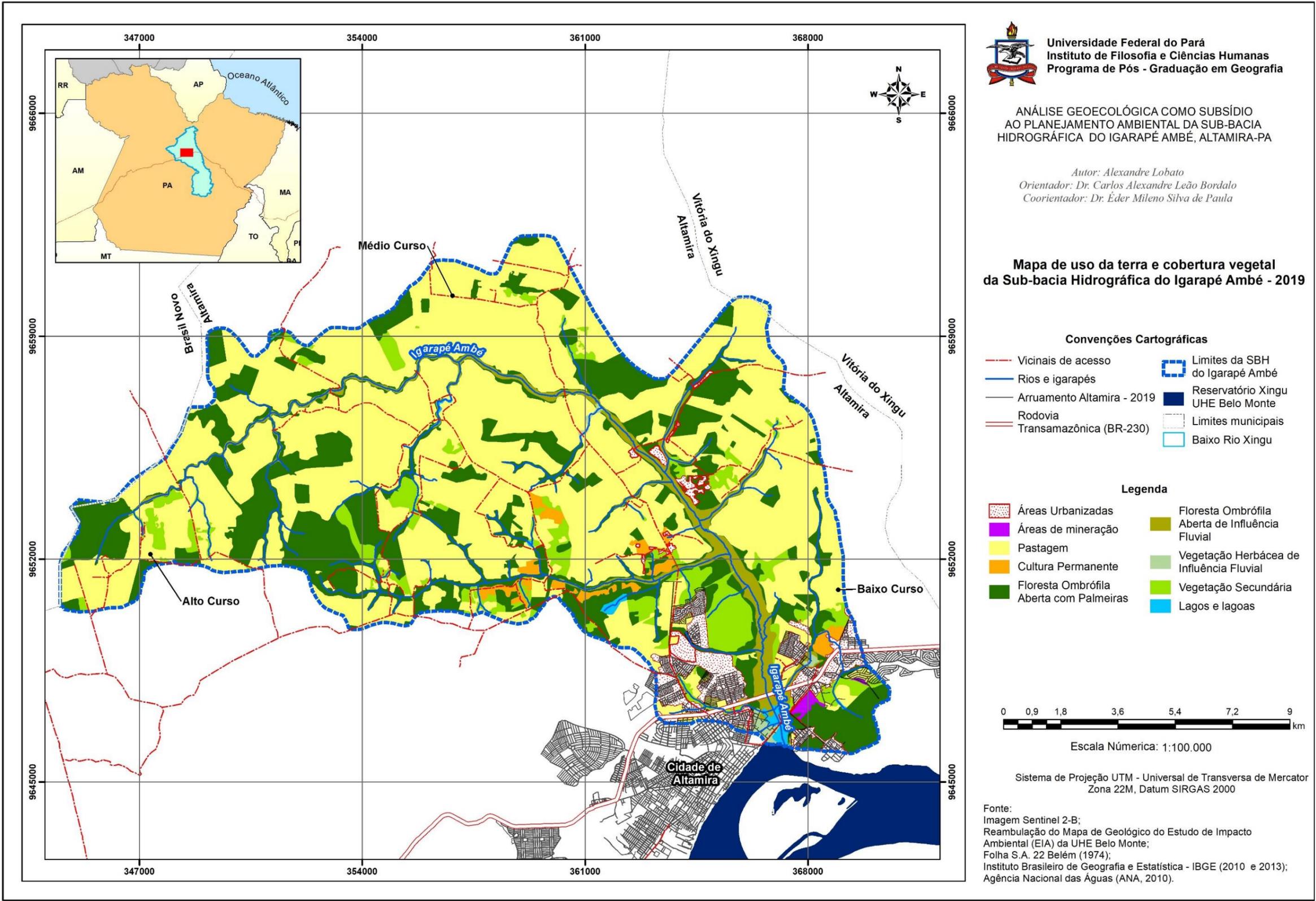
Figura 21). Nessas áreas também ocorrem a presença de pasto sujo, onde nota-se o início de um processo de regeneração natural, principalmente pelo surgimento de espécies de ervas daninhas, conhecidas popularmente como Juquirá.

Figura 21: Área de Pastagem na SBHA.



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2020.

Mapa 14: Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da SBHA.



As áreas de pastagem estão principalmente na margem de acessos que tem como eixo principal Rodovia Transamazônica, o que facilita o processo de escoação do gado e consolida o uso dessas terras pela pecuária extensiva (Figura 22). Destaca-se que a pecuária extensiva é uma das principais atividades econômicas exercidas no município de Altamira (PARÁ, 2019).

Figura 22: Áreas de pastagem sob relevo colinoso e vias de acesso na SBHA.



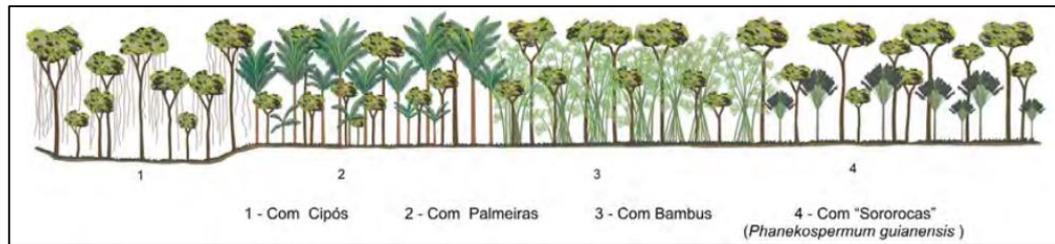
Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2019.

A segunda classe predominante na SBHA é Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (Figura 24), ocupando uma área de 59,23 km², correspondendo a 27% da área em estudo. Este tipo de vegetação foi denominado a primeira vez pelo Projeto RADAMBRASIL (VELOSO et al., 1975).

A Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras é classificada como fisionomia florestal com árvores mais espaçadas, com o estrato arbustivo pouco denso, sua fitofisionomia é caracterizada pela presença de grandes palmeiras de até 30 metros de altura, com predominância das espécies como o babaçu (*Attalea speciosa*), inajá (*Attalea maripa*), paxiúba (*Socratea exorrhiza*), bacaba (*Oenocarpus bacaba*) e em menor escala o patauá (*O. bataua*) (VELOSO, et al., 1975; LEME, 2009; IBGE, 2012).

Esta classe é uma das 4 faciações florísticas do domínio fitogeográfico de Floresta Ombrófila Aberta Submontana, conforme apresenta a figura abaixo (Figura 23):

Figura 23: Perfil esquemático das fâcias da Floresta Ombrófila Aberta Submontana.



Fonte: IBGE, 2012.

Figura 24: Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras na SBHA.



Fonte: Alexandre Lobato/Trabalho de campo, 2020.

Apesar de ser uma das fitofisionomias naturais da SBHA, a Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras, está dispersa em fragmentos florestais remanescentes e desconexos, oriundo do processo de conversão de área natural para atividades agrícolas, incentivadas pelo governo brasileiro a partir da década de 70. Atualmente estes fragmentos remanescentes consistem em Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente (APP) das propriedades rurais, entretanto ainda acontece o corte seletivo de madeiras nas bordas e centro desses fragmentos, além da

derrubada e queima para conversão dessas áreas em áreas agrícolas, conforme apresenta a Figura 25.

A classe de Vegetação Secundária ocupa área de 14,77 km², equivalente a 5% da SBHA, com sua maior concentração no baixo curso e perto das drenagens principais. Esta classe é popularmente conhecida como “juquirá” e/ou “capoeira”, compreende a áreas antropizadas anteriormente para fins agrícolas (pecuária ou plantio de culturas perenes) que estão em processo inicial e médio de sucessão vegetal.

Além disso, devido a resolução média do satélite sentinelá 2-B, pequenas áreas de lavouras de cacau foram incorporando-se a esta classe, tendo em vista a semelhança espectral e estrutura florestal das espécies de vegetação secundária. A Figura 26 exemplifica as áreas de vegetação secundária observadas em campo dentro da SBHA.

Figura 25: Corte e queima de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras na SBHA.



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2020.

Figura 26: Áreas de Vegetação Secundária na SBHA.



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2020.

As áreas urbanizadas correspondem a 10,69 km², 5% da SBHA, sendo essas áreas pertencentes a cidade de Altamira. Sua maior concentração está no baixo curso nas proximidades do exutório onde estão as áreas urbanas mais densas. Nos últimos anos em decorrência da construção do Complexo Hidrelétrico de Belo Monte, as estruturas urbanas da cidade de Altamira passaram por grandes modificações, principalmente com a construção de novos bairros privados e outros destinados ao reassentamento da população desterritorializada das planícies de inundações dos igarapés Altamira e Ambé (LETURCQ, 2016; MIRANDA NETO, 2014).

As moradias de palafitas que antigamente se localizavam às margens fluviais dos igarapés urbanos, em especial o do Igarapé Ambé, foram removidas para permitir a formação do reservatório da barragem (cota 97 metros NA Normal) e com a intenção de manter uma cota de segurança (cota 100 metros) para casos das cheias extraordinárias do Rio Xingu. Desta forma, as populações abaixo da cota 100 que residiam nas planícies foram reassentadas em bairros localizados nas áreas colinosas situados nas porções nordeste e leste da cidade de Altamira. Apesar da cidade ter passado por essa reorganização das áreas urbanas, ainda há locais na planície de inundação do Igarapé Ambé onde residem pessoas em moradias de palafitas, conforme apresenta imagem abaixo.

Figura 27: Área urbana com moradias de palafitas na SBHA.



Fonte: Alexandre Lobato/Trabalho de campo, 2021.

Na SBHA a Floresta Ombrófila Aberta de Influência Fluvial é um estirão fitogeográfico a margem das drenagens principais, ocupando uma área de 2,02 km², onde sua maior concentração está na drenagem do Igarapé Ambé. Este tipo de vegetação está associado a planície de inundação do Igarapé Ambé e baixos terraços fluviais, em áreas planas e com baixa altitude, correspondendo assim, as áreas que sofrem sazonalmente inundações acarretadas pelas cheias do Rio Xingu e pelas cheias do Igarapé Ambé, “constituindo fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, respectivamente” (IBGE, p. 79, 2012).

Sua composição florística e características ecológicas semelhantes às da Floresta Ombrófila Densa Aluvial, porém sua fisionomia apresenta um grande número de palmeiras de grande porte e lianas lenhosas (IBGE, op. cit.).

Figura 28: Área de Floresta Ombrófila Aberta de Influência Fluvial na SBHA.



Fonte: Alexandre Lobato/Trabalho de campo, 2020.

Outra vegetação presente na SBHA de influência fluvial é a fitofisionomia de Vegetação Herbácea, ocupando uma área pequena de 0,84 km², equivalente a 0,4%. Este tipo de vegetação ocupa áreas com solos recém-formados provenientes das deposições sedimentos do quaternário. Sua ocorrência é somente no baixo curso, no executório da SBHA, nas áreas de planície de inundações que antigamente eram ocupadas por moradias.

Nesta classe estão agrupados ervas e arbustos terrestres, além de espécies de macrófitas (ALMEIDA et al., 1986 apud LEME, 2009). De acordo com Irgang e Gastal Jr. (1996) as macrófitas são de suma importância para os ecossistemas aquáticos, pois acrescentam heterogeneidade no ambiente, além de aumentar a diversidade de espécies e proporcionar abrigo, alimento e hábitat para diversas espécies de ictiofauna.

Na porção da planície de inundação que era ocupada por moradias, atualmente acontece uma infestação de macrófitas, devido a essa área ter recebido por muitos anos efluentes domésticos sem tratamento, o que acarretou degradação da qualidade da água e elevadas concentrações de fósforo e nitrogênio, contribuindo para infestação (Figura 29) (NORTE ENERGIA, 2013).

Figura 29: Áreas de Vegetação Herbácea de Influência Fluvial com infestação de macrófitas.



Fonte: Trabalho de campo, 2021.

Dentro da SBHA ainda existem três outras classes de usos, sendo eles a Área de Mineração, Culturas Permanentes e Lagos e lagoas, ocupando áreas de 0,41 km² (0,2%), 2,72 km² (1%) e 0,92 km² (0,4%) respectivamente. A classe de mineração é uma pequena área na margem da Rodovia Transamazônica onde acontece a extração de Argissolo Vermelho-Amarelo para o uso na construção civil. Já as Culturas Permanentes são as áreas de cultivos de cacau que foram possíveis distinguir na classificação através do padrão de cultivo. Os lagos e lagoas são cursos d'água que foram barrados para servir de abastecimento às atividades agropecuárias.

CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO GEOECOLÓGICO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ (SBHA): PROBLEMAS AMBIENTAIS E VULNERABILIDADE AMBIENTAL.

4.1. Estrutura Geoecológica da SBHA

Após a fase do diagnóstico dos componentes geoecológicos, foi realizado a compartimentação geoecológica (ou individualização das unidades geoecológicas) da sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA), baseado nos preceitos teórico-metodológicos da Geoecologia das paisagens (RODRIGUEZ, SILVA; CALVACANTI, 2013; VIDAL, 2014) e dos estudos de De Paula (2017). A compartimentação geoecológica consiste na análise geossitêmica e detalhada dos aspectos naturais (solos, uso e cobertura da terra, geologia, geomorfologia e recursos hídricos) e suas inter-relações com as atividades humanas exercidas na paisagem.

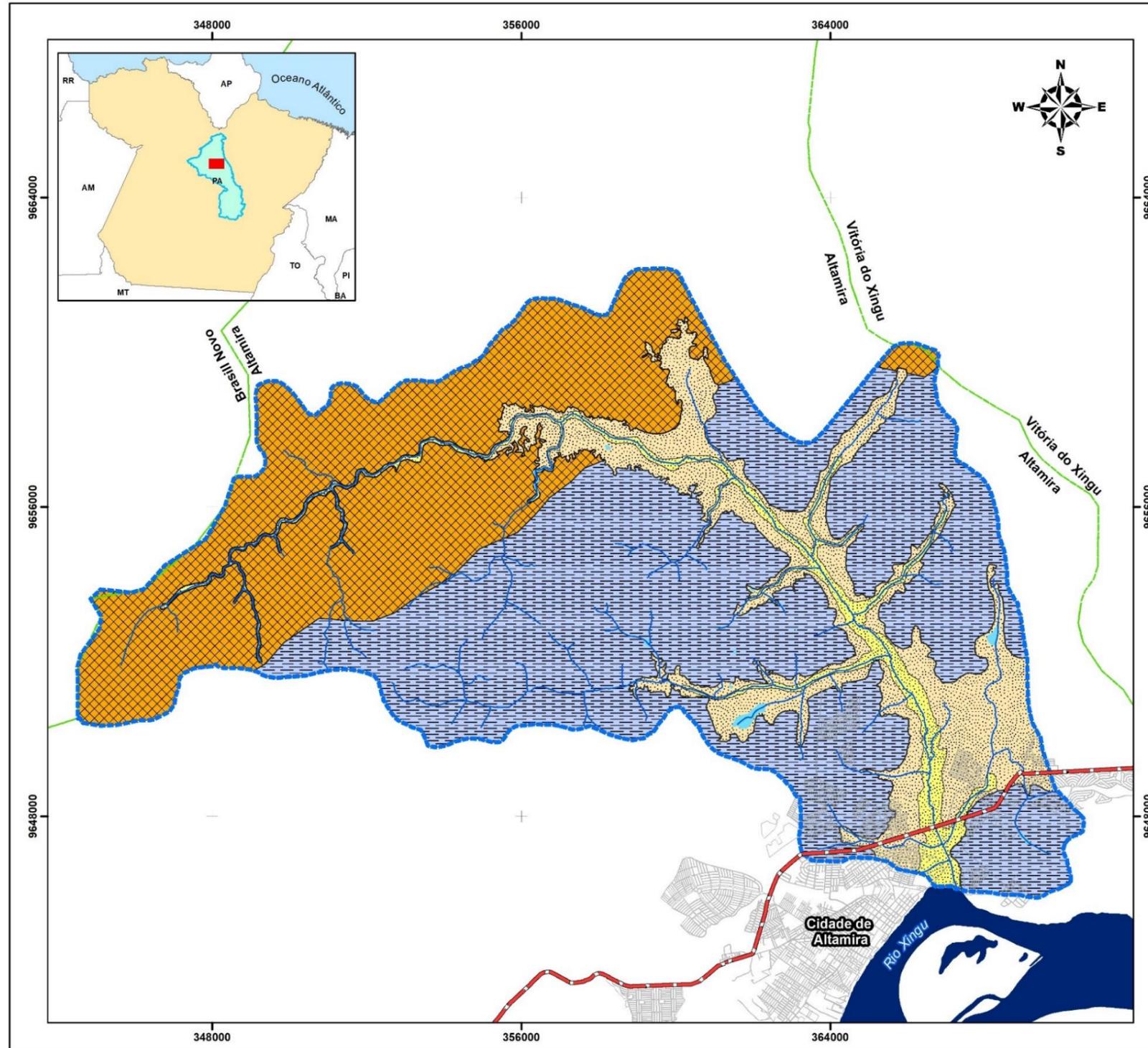
A individualização das unidades geoecológicas fornece subsídios para uma análise mais detalhada dos problemas ambientais e vulnerabilidade ambiental presente na área em estudo, pois individualiza a correlação de fatores de ordem socioeconômicos e naturais e suas eventuais repercussões no território.

Para delimitação das unidades geoecológicas utilizou-se com mais ênfase os aspectos geomorfológicos, devido as suas propriedades, pois estes expressam padrões uniformes ou com um certo grau de homogeneidade fisionômica mais perceptíveis na paisagem, além de trazer já em sua compartimentação geomorfológica a herança de sua formação e evolução, em que cada compartimento tende a formar aspectos típicos, como padrão de drenagem superficial, solos e aspectos fitofisionômicos, além de padrões de uso da terra (SOUZA, 2000; SOUZA et al., 2009; ROSS, 2009; TEIXEIRA, 2018).

Ao considerar as características mencionadas acima, para SBHA na escala de 1:100.000 foram mapeadas 4 unidades geoecológicas, a Planície Fluvial do Igarapé Ambé, o Terraço Fluvial do Igarapé Ambé, as Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão e Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu (Gráfico 5).

Estas unidades englobam o funcionamento geoecológico regional do Baixo Rio Xingu, estando agregadas nas regiões geoecológicas dos Baixos Platôs do Baixo Rio Xingu, Planaltos Dissecados da Transamazônica e Xingu e Planície Fluvial do Rio Xingu, conforme apresenta o Mapa 15.

Mapa 15: Unidades Geocológicas na SBHA.



 **Universidade Federal do Pará**
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós - Graduação em Geografia

ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO
 AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
 HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ, ALTAMIRA-PA

Autor: Alexandre Lobato
Orientador: Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo
Coorientador: Dr. Eder Mileno Silva de Paula

Unidades Geocológicas da Sub-bacia Hidrográfica do Igarapé Ambé

Convenções Cartográficas

-  Rios e Igarapés
-  Arruamento
-  Rodovia
-  Transamazônica (BR-230)
-  Limites municipais
-  Limites da SBH do Igarapé Ambé
-  Lagos e lagoas
-  Rio Xingu

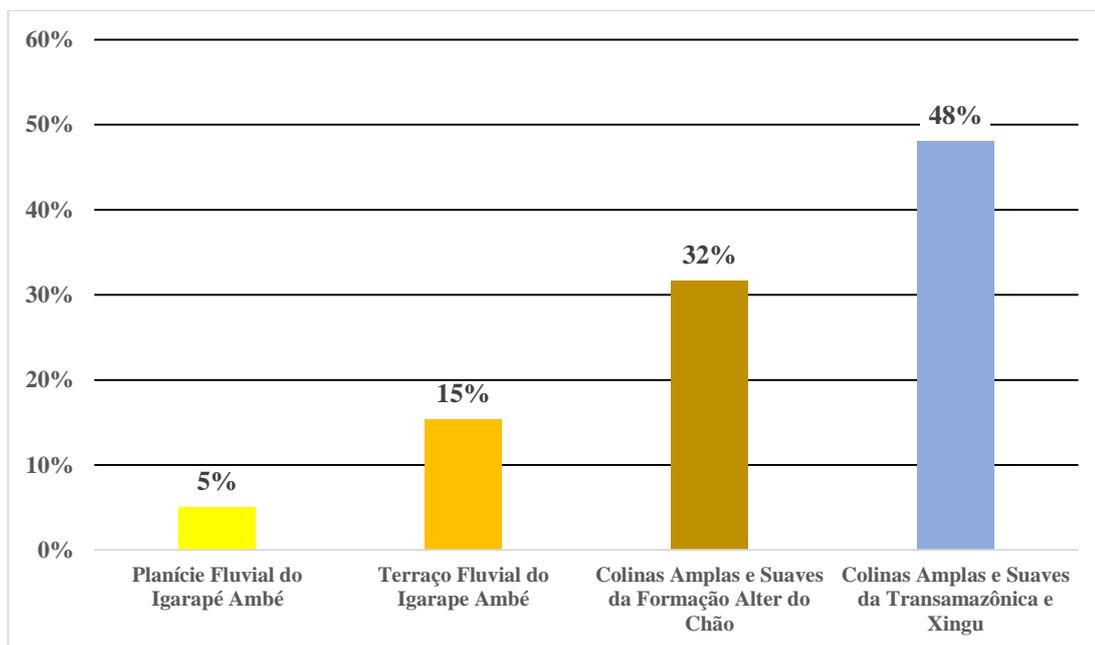
Legenda	
Regiões Geocológicas	Unidades Geocológicas
 Baixos Platôs do Baixo Rio Xingu	 Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão
 Planaltos Dissecados Transamazônica e Xingu	 Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu
 Planície Fluvial do Rio Xingu	 Terraço Fluvial do Igarapé Ambé
	 Planície Fluvial do Igarapé Ambé

Sistema de Projeção UTM - Universal de Transversa de Mercator
 Zona 22M, Datum SIRGAS 2000



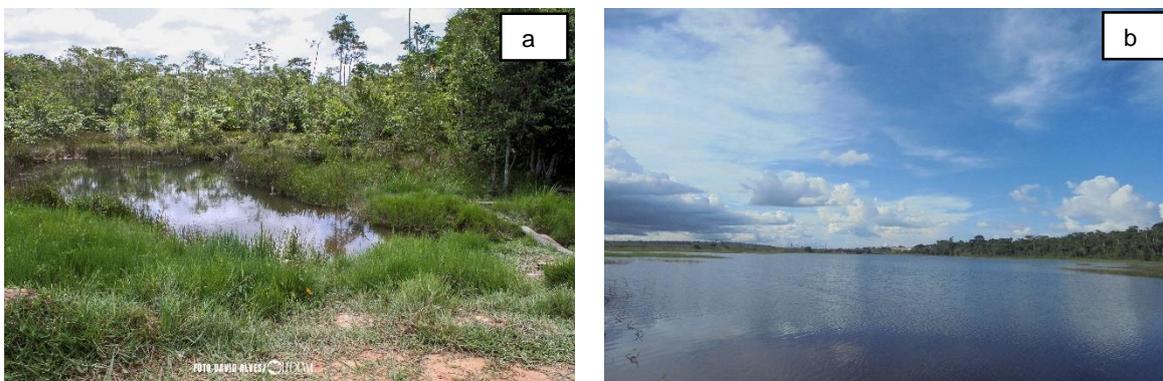
Escala Numérica: 1:100.000

Fonte: Reambulação do Mapa de Geológico do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Belo Monte; Folha S.A. 22 Belém (1974); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010 e 2013); Agência Nacional das Águas (ANA, 2010).

Gráfico 5: Distribuição percentual das Unidades Geoecológicas na SBHA.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A unidade geoecológica **Planície Fluvial do Igarapé Ambé** (Figura 30) corresponde a 5% (11,09 km²) da área total da SBHA, sendo considerada a unidade de menor abrangência na sub-bacia, conforme apresenta Gráfico 5. Essa unidade é caracterizada por ser área de acumulação fluvial, por terrenos baixos e planos, formando a atual planície de inundação do igarapé Ambé, conhecido como várzea e igapós.

Figura 30: Unidade geoecológica Planície Fluvial do Igarapé Ambé no alto curso (a) e baixo curso (b).

Fonte: Alexandre Lobato, 2021.

Nos meses de março a maio essa unidade passa a sofrer inundações periódicas devido aos pulsos de inundações do período de cheia do rio Xingu e pelos altos índices

pluviométricos registrados para região. Os sedimentos da Planície Fluvial estão associados aos depósitos aluvionares do quaternário, que são formados por argilas, siltes e areia fina em diversos níveis, além de cascalho inconsolidado e a ocorrência de matéria orgânica.

O solo associado a esta unidade é o Planossolo Hidromórfico Distrófico (SGd), sendo estes de baixa fertilidade, profundos, bem desenvolvidos e constituem solos bastante intemperizados, imperfeitamente ou mal drenados (LEME, 2009). A cobertura vegetal é formada por vegetações de influência fluvial, como a Floresta Ombrófila aberta e Vegetação Herbácea.

No baixo curso da SBHA, a planície fluvial atinge larguras de até 900 metros (

Figura 31: *Unidade geocológica da Planície Fluvial no baixo curso da SBHA.* Neste trecho existiam áreas de aglomerados subnormais e antigos locais de extração de argila. Para formação do reservatório principal da UHE Belo Monte houve a extinção da atividade oleira e a remoção compulsória das famílias que habitavam essas áreas.

Figura 31: Unidade geocológica da Planície Fluvial no baixo curso da SBHA.



Fonte: Google Earth, 2021.

Devido aos anos de lançamento de efluentes domésticos sem tratamento nessas áreas, houve a degradação da qualidade da água e das fontes de nutrientes como fósforo e nitrogênio, o que acarretou na proliferação de macrófitas (NORTE ENERGIA, 2013). No restante da planície fluvial observa-se que o uso do recurso hídrico é voltado para atividades

agrícolas e o lazer das populações rurais e urbanas. No que tange a atividade agrícola, o principal uso é para agropecuária.

As demais áreas de Planície Fluvial no médio e alto curso da SBHA são menos largas e apresentam pontos de assoreamentos, provocados principalmente pela abertura de acessos terrestres e pelas áreas de pastagem.

A unidade geocológica dos **Terraços Fluviais** ocupa uma área de 34,16 km², equivalente a 15% da SBHA. São áreas planas a onduladas, um pouco mais elevadas que a planície fluvial e apresentam bordas suaves nas margens do igarapé Ambé.

Essa unidade é caracterizada por ser uma área deposicional e estar relacionada a antigas planícies de inundações, que devido aos diversos processos de deposição de sedimentos apresentou uma ruptura em relação aos pulsos de inundações, fazendo com que as águas não atingissem mais no período de cheia. Apresenta alguns pontos de com erosão laminar.

Sua litologia está associada aos Depósitos Aluvionares, formados por areia fina a média argiloso-siltosa e cascalho, que devido aos processos pedogenéticos acarretou a formação dos Planossolos Hidromórficos Distrófico (SGd), onde estes apresentam como característica ser bastante intemperizados e de baixa fertilidade. Nessa unidade ainda há ocorrências do Latossolo Vermelho-Amarelo.

Devido a presença de solos de baixa fertilidade sobre essa unidade, desenvolve-se atividades agrícolas mais adaptáveis a essas condições, como a criação de gado de corte em áreas de pastagens (Figura 32). Apesar disso, foram mapeadas pequenas áreas de cultivos de culturas permanentes como cacau, banana e açaí. Também foram além mapeados usos não agrícolas que se constituem como áreas urbanizadas.

A cobertura vegetal é formada por Vegetação Secundária e fragmentos de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras. Essa unidade é pouco sensível a ação humana, porém com as ocorrências pontuais de erosão laminar requer uma atenção enquanto ao uso da terra.

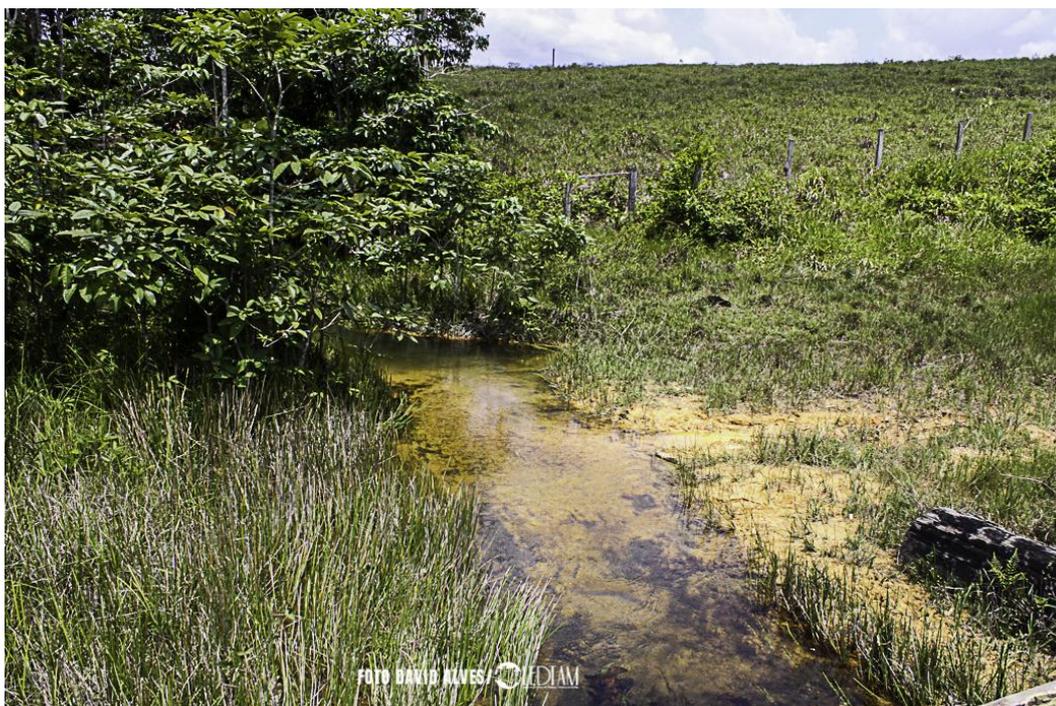
A unidade geocológica das **Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão** (Figura 33) compreendem áreas elevadas ente 130 e 228 metros com vertentes convexas e retilíneo. São áreas suave ondulado a fortemente ondulado, equivalente a 70,47 km², 32% da SBHA.

Como seu próprio nome sugere, a unidade litológica predominante nessa unidade é a Formação Alter do Chão, formada por um espesso pacote de arenito grosso, de cores variadas, com estratificação cruzada e conglomerados maciços de argilas vermelhas. O solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAa1), caracterizado por ser de baixa

fertilidade, bem desenvolvido e muito profundo, bem drenado e não hidromórfico (LEME, 2009; EMBRAPA, 2018).

O uso agrícola predominante nessa unidade é a pastagem, e no que tange a cobertura vegetal é formado por fragmentos de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras. Nessa unidade, por constituir um modelado de dissecação, acontece erosão laminar e em sulcos de ravinas de média e baixa intensidade.

Figura 32: Terraço Fluvial com o uso de pastagem na SBHA.



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2021.

A unidade geocológica com maior percentual na SBHA é **Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu**, ocupam uma área de 107,03 km², equivalente a 48%. Essa unidade engloba três litológicas, o Diabásio Penatecaua, Formação Alter do Chão e Grupo Curuá, a primeira é a unidade predominante, enquanto que a segunda e a terceira correspondem a manchas restritas na porção sudeste da SBHA.

São áreas suave ondulados a fortemente ondulados e com elevações variando entre 130 e 228 metros. Sua principal diferença em relação a unidade geocológica de **Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão** está na base litológica e nos tipos de solos, que são constituídos por solos de média e alta fertilidade.

Sobre o Diabásio Penatecaua estão os Nitossolos Vermelhos Eutróficos (NVe), que são solos de alta fertilidade e bem desenvolvidos. Ainda nesta unidade há presença de

Argissolo Vermelho-Amarelo, que são solos bem desenvolvidos, muito intemperizados, profundos e bem drenados. Têm sua pedogênese ligada ao Grupo Curuá e a Formação Alter do Chão. Esta unidade também apresenta como fator modelador a dissecação.

Os usos da terra presentes nesta unidade são as áreas urbanizadas, a criação de gado para corte em áreas de pastagem, o cultivo de culturas permanentes, principalmente cacau e uma área de mineração. A cobertura vegetal é formada por fragmentos de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras e Vegetação Secundária.

Devido à proximidade com a rodovia Transamazônica e os acessos, essas áreas com fragmentos de Floresta Ombrófila Aberta passam por processos de exploração seletiva de madeira. O Quadro 10 apresenta a síntese das unidades geológicas.

Figura 33: Área de Pastagem na Unidade Geológica de Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão.



Fonte: David Alves/Trabalho de campo, 2021.

Quadro 10: Síntese das características das unidades geocológicas da SBHA.

Regiões Geocológicas	Unidades Geocológicas	Características geocológicas			
		Geologia	Geomorfologia e morfodinâmica	Solos	Formas de uso e cobertura da terra
Planície Fluvial do Rio Xingu	Planície Fluvial do Igarapé Ambé	São constituídas pelas litologias dos Depósitos Aluvionares	Planície Fluvial: modelado de acumulação, áreas suscetíveis a enchentes periódicas e pontos de erosão laminar	Associação de Planossolos Hidromórficos Distrófico (SGd)	Floresta Ombrófila Aberta de Influência Fluvial e Vegetação Herbácea de Influência Fluvial
	Terraço Fluvial do Igarapé Ambé	São constituídas pelas litologias dos Depósitos Aluvionares	Terraço Fluvial: modelado de acumulação, antiga planície de inundação e pontos de erosão laminar	Associação de Planossolos Hidromórficos Distrófico (SGd)	Áreas Urbanizadas; Vegetação Herbácea de Influência Fluvial; Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras; Vegetação Secundária e Pastagem.
Baixo Platôs do Baixo Rio Xingu	Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão	São constituídos pelas litologias da Formação Alter do Chão	Colinas amplas e suaves: modelado de dissecação; Erosão laminar e em sulcos em locais pontuais de média e baixa intensidade	Associação de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAa1)	Áreas Urbanizadas; Floresta Ombrófila Aberta com Plameiras; Vegetação Secundária e Pastagem
Planaltos Dissecados Transamazônica e Xingu	Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu	São constituídos predominantemente pelas litologias do Diabásio Penatecaua, com manchas restritas da Formação Alter do Chão e do Grupo Curuá	Colinas amplas e suaves: modelado de dissecação; Erosão laminar e em sulcos em locais pontuais de média e baixa intensidade	Associação de solos predominante é Nitossolo Vermelho Eutrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo	Áreas Urbanizadas; Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras; Vegetação Secundária; Pastagem; Culturas Permanentes e Áreas de Mineração.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

4.2. Ecodinâmica e Vulnerabilidade ambiental da SBHA

Santos (2006) define a vulnerabilidade ambiental (VA) como o grau de exposição de um determinado ambiente a vários fatores que podem gerar efeitos adversos, como impactos e riscos ambientais, que podem ou não ser derivados das atividades socioeconômicas.

A metodologia utilizada para mensuração do grau de vulnerabilidade ambiental da área em estudo está alicerçada na Ecodinâmica, proposta por Tricart (1977), com adaptações realizadas por Souza (2000) e De Paula (2011; 2017).

Tricart (op. cit.) propõe níveis de estabilidade da paisagem separados em três meios ecodinâmicos: estáveis, onde há predominância de processos pedogenéticos, uma estabilidade em relação a processos de morfogênese e, conseqüentemente, uma maior presença de solos e de vegetação; *intergrades* ou de transição, tendem a estabilidade ou a instabilidade, onde prevalece os processos pedogenéticos este ambiente tende a estabilidade, caso onde o processo morfogenético prevaleça, este ambiente tende a instabilidade; já os ambientes instáveis tem a predominância de processos de morfogenéticos.

De acordo com Souza (2000), cada meio ecodinâmico fornece condições para avaliar o comportamento e o grau de vulnerabilidade ambiental das paisagens, onde os meios estáveis apresentam um menor grau de vulnerabilidade ambiental em relação às paisagens instáveis, onde o grau de vulnerabilidade ambiental é maior.

Nessa perspectiva, De Paula (2017) ao estudar as paisagens amazônicas do baixo Rio Xingu, as subdividiu em 5 categorias de vulnerabilidade ambiental: muito baixa, onde a ecodinâmica é estável; baixa, onde ecodinâmica é estável, porém com pedogênese mais atuante em relação a morfogênese; moderada, onde a ecodinâmica apresenta um equilíbrio entre a morfogênese e a pedogênese; alta, onde a ecodinâmica é instável e apresenta morfogênese mais atuante em relação a pedogênese; e muito alta, onde a ecodinâmica é instável e há predomínio da morfogênese.

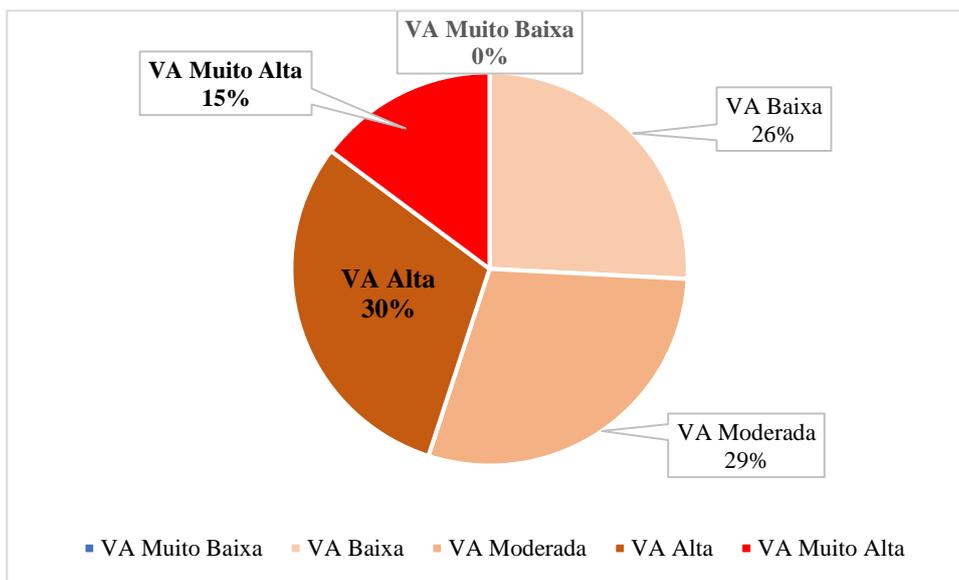
Após a análise integrada dos componentes geocológicos da sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA) e a definição das unidades geocológicas, foi possível definir o grau de vulnerabilidade Ambiental da SBHA com auxílio de álgebra de mapas utilizando-se dos conceitos: Lógica Fuzzy e AHP, conforme descrito no CAPÍTULO 2: MATERIAIS E METODOLOGIA.

O Mapa 16 apresenta a vulnerabilidade ambiental e ecodinâmica das paisagens da SBHA na escala de 1:100.000. A SBHA não apresenta paisagens com vulnerabilidade

ambiental muito baixa, foram diagnosticadas paisagens que variam de VA Baixa a VA Muito Alta.

A SBHA apresenta 45% de suas paisagens com ecodinâmica instável e vulnerabilidade ambiental variando entre Alta e Muito Alta. Apenas 26% de suas paisagens estão com ecodinâmica estável e vulnerabilidade ambiental baixa, conforme apresenta o Gráfico 6.

Gráfico 6: Vulnerabilidade ambiental (VA) geral da SBHA.

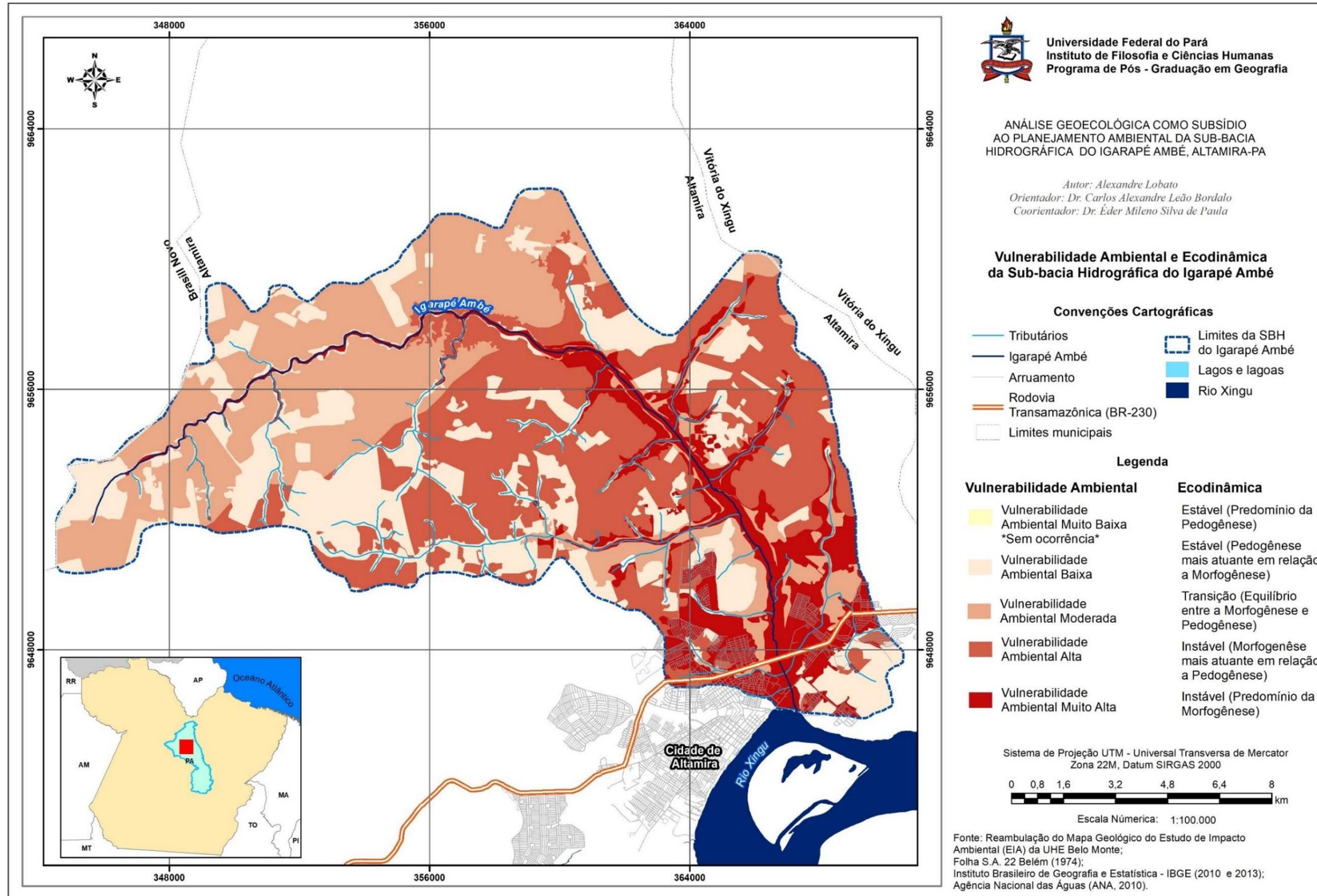


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Na SBHA as áreas de VA Baixa apresentam pontualmente a ação de processos morfogenéticos de dissecação, porém os processos pedogenéticos são mais atuantes, principalmente em decorrência da cobertura vegetal de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (FOAP) e de Vegetação secundária, que agem protegendo parte dos solos contra a processos morfogenéticos de dissecação, acarretando assim baixa erodibilidade e favorecendo os processos pedogenéticos.

As áreas com VA Moderada (29%) é a transição entre ambiente estável e instável. A morfogênese e pedogênese agem concomitantemente, em um equilíbrio frágil, sem nenhuma separação abrupta. Nesses sentindo, essas áreas necessitam de uma atenção especial em relação ao uso da terra, tendo em vista que qualquer alteração pode acarretar a quebra deste equilíbrio.

Mapa 16: Vulnerabilidade e Ecodinâmica da Sub-bacia do Igarapé Ambé.



As áreas com VA Alta na SBHA, estão presentes principalmente no médio curso e na porção sudoeste da bacia. São áreas de atuação intensa dos processos morfogenéticos de dissecação, possuem baixa ou nenhuma cobertura vegetal, com áreas de pastagem em relevo colinoso e com classe de declividade variando de ondulado a fortemente ondulado.

As áreas VA Muito Alta estão principalmente na planície fluvial do Igarapé Ambé, com declividade variando de plano a suave ondulado, geologicamente recentes e com processos morfogenéticos intensos, a pedogenese é quase nula. Contribuem para esse elevado grau de VA as antigas áreas de uso urbano e de extração de argila, onde a o uso desordenado deixou fortes cicatrizes na paisagem e as atuais áreas urbanas que estão sobre solos fortemente saturados. Quando cruzada as informações com as unidades geoecológicas da SBHA (Quadro 11), nota-se que a UG Planície Fluvial do Igarapé Ambé concentra cerca de 96% de suas paisagens com VA Muito Alta e ecodinâmica instável, e apenas 0,3% com VA Baixa. Apesar desta UG apresentar áreas com cobertura vegetal bem conservada, os processos morfogenéticos são predominantes na dinâmica atual da paisagem, principalmente pela ação fluvial do rio Xingu e Igarapé Ambé, subordinando assim os demais componentes geoecológicos.

Quadro 11: Vulnerabilidade Ambiental em relação as unidades geoecológicas da SBHA.

Unidades geoecológicas (UG)	Vulnerabilidade ambiental (VA)	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Planície Fluvial do Igarapé Ambé	VA Muito Baixa	-	-
	VA Baixa	0,03	0,3%
	VA Moderada	0,34	3,1%
	VA Alta	0,00	0,0%
	VA Muito Alta	10,71	96,6%
Terraço Fluvial do Igarapé Ambé	VA Muito Baixa	-	-
	VA Baixa	1,34	3,9%
	VA Moderada	11,48	33,6%
	VA Alta	6,57	19,2%
	VA Muito Alta	14,77	43,2%
Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu	VA Muito Baixa	-	-
	VA Baixa	38,84	36,3%
	VA Moderada	0,15	0,1%
	VA Alta	60,67	56,7%
	VA Muito Alta	7,37	6,9%
Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão	VA Muito Baixa	-	-
	VA Baixa	17,32	24,6%
	VA Moderada	53,02	75,2%
	VA Alta	0,10	0,1%
	VA Muito Alta	0,03	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A UG Terraço Fluvial do Igarapé Ambé apresenta cerca de 43,2% de sua área com VA Muito Alta, e apenas 3,9% com VA Baixa, porém, 33,6% de suas paisagens apresentam VA moderada. Por sua vez, a UG de Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu apresentam 56% de suas paisagens em VA Alta, e 36% em VA Baixa.

A UG Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão é a UG que apresenta maior percentual de paisagens com VA Moderada, 75,2%. Ainda apresenta apenas 0,03 km² de paisagens em VA Muito Alta. Em termos gerais, esta UG é a que apresenta maior estabilidade em relação ao grau de VA. O Quadro 12 apresenta a síntese da ecodinâmica das paisagens e vulnerabilidade ambiental da SBHA, bem como ações mitigadoras e preventivas para manutenção e conservação dos sistemas ambientais.

Quadro 12: Vulnerabilidade Ambiental e alternativas e mitigações.

UNIDADES GEOECOLÓGICAS (UG)	VULNERABILIDADE AMBIENTAL (VA)	ECODINÂMICA DAS PAISAGENS	ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO E PREVENTIVAS
Planície Fluvial do Igarapé Ambé	Muito Baixa	Estável	*SEM OCORRÊNCIA*
	Baixa	Estável	* Áreas prioritárias para conservação e preservação da cobertura vegetal para manutenção do estado ecodinâmica
	Moderada	Transição	
	Alta	Instável	*Áreas prioritárias para aplicação de projetos recuperação ambiental; *Conservação e preservação da cobertura vegetal remanescente.
	Muito Alta	Instável	*Requalificação ambiental das áreas urbanas por meio implementação e ampliação do sistema de saneamento básico e aplicação de medidas para melhoramento da drenagem urbana; *Recuperação ambiental de mata ciliar e áreas de mineração; *Preservação de áreas com cobertura vegetal remanescente.
Terraço Fluvial do Igarapé Ambé	Muito Baixa	Estável	*SEM OCORRÊNCIA*
	Baixa	Estável	* Áreas prioritárias para conservação e preservação da cobertura vegetal para manutenção do estado ecodinâmica
	Moderada	Transição	
	Alta	Instável	*Áreas prioritárias para aplicação de projetos recuperação ambiental; *Conservação e preservação da cobertura vegetal remanescente; *Enriquecimento de áreas com vegetação secundária; *Aplicação de técnicas de manejo e conservação dos solos em áreas de pastagem e de culturas permanentes.
	Muito Alta	Instável	*Requalificação ambiental das áreas urbanas por meio implementação e ampliação do sistema de saneamento básico e aplicação de medidas para melhoramento da drenagem urbana; *Recuperação ambiental de mata ciliar e áreas de mineração; *Preservação e conservação de áreas com cobertura vegetal remanescente; *Enriquecimento de áreas com vegetação secundária; *Aplicação de técnicas de manejo e conservação dos solos em áreas de pastagem e de culturas permanentes.
Colinas Amplas e Suaves da	Muito Baixa	Estável	*SEM OCORRÊNCIA*
	Baixa	Estável	* Áreas prioritárias para conservação e preservação da cobertura

Transamazônica e Xingu	Moderada	Transição	vegetal para manutenção do estado ecodinâmica
	Alta	Instável	*Áreas prioritárias para aplicação de projetos recuperação ambiental; *Conservação e preservação da cobertura vegetal remanescente; *Enriquecimento de áreas com vegetação secundária; *Aplicação de técnicas de manejo e conservação dos solos em áreas de pastagem e de culturas permanentes.
	Muito Alta	Instável	*Preservação e conservação de áreas com cobertura vegetal remanescente; *Enriquecimento de áreas com vegetação secundária; *Aplicação de técnicas de manejo e conservação dos solos em áreas de pastagem e de culturas permanentes.
Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão	Muito Baixa	Estável	*SEM OCORRÊNCIA*
	Baixa	Estável	* Áreas prioritárias para conservação e preservação da cobertura vegetal para manutenção do estado ecodinâmica
	Moderada	Transição	
	Alta	Instável	*Áreas prioritárias para aplicação de projetos recuperação ambiental; *Conservação e preservação da cobertura vegetal remanescente; *Enriquecimento de áreas com vegetação secundária; *Aplicação de técnicas de manejo e conservação dos solos em áreas de pastagem e de culturas permanentes.
	Muito Alta	Instável	*Preservação e conservação de áreas com cobertura vegetal remanescente; *Enriquecimento de áreas com vegetação secundária; *Aplicação de técnicas de manejo e conservação dos solos em áreas de pastagem e de culturas permanentes.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta pesquisa confirmam que a análise ambiental pautada teoricamente e metodologicamente na Geoecologia das Paisagens fornece um importante instrumento para análise ambiental integrada, dando subsídios para o planejamento ambiental funcional dos recursos naturais, principalmente em um momento de ampliação do uso dos recursos naturais na Amazônia.

A análise ecodinâmica das paisagens e de vulnerabilidade ambiental forneceu um diagnóstico da complexa realidade das paisagens da SBHA, onde 45% dessas paisagens estão com processos morfogenéticos atuantes e 29% estão com vulnerabilidade ambiental moderada e em um frágil estágio de equilíbrio ecodinâmico, o que evidencia a importância de se pensar alternativas de usos para essas paisagens.

Os elevados estágios de vulnerabilidade ambiental constatados são reflexo do processo de conversão da cobertura vegetal natural para áreas de usos antrópicos, sejam elas áreas de pastagem ou áreas de uso urbano, acarretando a perda da capacidade pedogenética dos solos e expondo-os a processos morfogenéticos.

A partir da análise histórica, constatou-se que o principal indutor da perda de cobertura vegetal natural foi a abertura da Rodovia Transamazônica na década de 1970, pois facilitou os acessos a áreas do médio e alto curso do igarapé Ambé que antes contavam com sua cobertura vegetal preservada, além de incentivar o desmatamento das áreas para consolidação destas para usos agrícolas.

As áreas de pastagem se expandiram principalmente sobre as unidades geoecológicas de Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão e de Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu. Já a antropização das paisagens para fins de uso urbano e de extração mineral, se retiveram principalmente no baixo curso dentro das unidades geoecológicas da Planície Fluvial do Igarapé Ambé e Terraço Fluvial do Igarapé, levando algumas jazidas minerárias a serem exauridas e ocupando locais sazonalmente cheios pelos pulsos de inundações do rio Xingu a Ambé.

As transformações ocorridas nas paisagens da SBHA após a instalação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte ocorreram principalmente nas áreas urbanas da cidade de Altamira, através da retirada de moradias irregulares de dentro da planície fluvial do igarapé Ambé, reassentando a população em bairros planejados, que sob a ótica da qualidade habitacional se configurou um impacto positivo, sob a ótica ambiental em primeiro momento também causou um impacto positivo devido ao processo de recuperação dessas paisagens

para criação do parque Igarapé Ambé, porém sem a conclusão da obra e com a formação do reservatório inundou-se permanentemente áreas de planície fluvial, acarretando alteração nos pulsos de inundações e formando novas áreas de inundações, alterando assim a dinâmica fluvial e agravando ainda mais o estágio de vulnerabilidade ambiental da unidade SBHA.

Com os resultados obtidos nesta pesquisa buscou-se de fornecer subsídios para o planejamento ambiental funcional das paisagens da sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé. Entende-se que este trabalho contribuirá cientificamente para a elaboração de políticas públicas que visem conservar os recursos ambientais remanescentes e recuperar áreas degradadas, garantindo assim a tão sonhada sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. **Significados Semânticos da Paisagem: paisagínario, paisageria, paisagelogia.** Revista do Departamento de Geografia, V.33 144-156. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
- AZAMBUJA, A. M. S. **Climatologia Da Precipitação Na Bacia Hidrográfica Do Rio Xingu.** [s.l: s.n.].
- ADLER-GOLDEN, Steven M. et al. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. In: **SPIE'S INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OPTICAL SCIENCE, ENGINEERING, AND INSTRUMENTATION 1999, Denver-US.** Anais. Denver-US: SPIE, 1999.
- ANDERSON, G. P. et al. FLAASH and MODTRAN4: state-of-the-art atmospheric correction for hyperspectral data. In: **IEEE AEROSPACE CONFERENCE 1999, Aspen-US.** Anais. Aspen-US: IEEE, 1999.
- ARAÚJO, Patrícia Andrade de. **Contextualização geoambiental do município de Guaiúba-Ce: subsídios ao ordenamento territorial.** Dissertação (Mestrado Acadêmico). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016, 115p.
- BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 239–247, 2005.
- BIZZI, LUIZ AUGUSTO; SCHOBENHAUS, CARLOS; VIDOTTI, R. M; GONÇALVES, J. H. **GEOLOGIA, TECTÔNICA E RECURSOS MINERAIS DO BRASIL Texto, Mapas & SIG.** Brasília: [s.n.]. v. 31
- BARREIROS, André Mateus. **DA PAISAGEM COMO OBJETO DA GEOGRAFIA: REPASSE TEÓRICO E SUGESTÃO METODOLÓGICA.** 2017. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- BECKER, B. K. Síntese do processo de ocupação da Amazônia. Lições do passado e desafio do presente. In: BRASIL (Ed.). **Causas e efeitos dos desmatamentos na Amazônia.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001.
- BERK, A. et al. **MODTRAN Cloud and Multiple Scattering Upgrades with Application to AVIRIS. Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 65, n. 3, p. 367–375, 1998.
- BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria Geral dos Sistemas.** Tradução de Francisco M. Guimarães. Petrópolis: Vozes, 1973.
- BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global - Esboço Metodológico.** Caderno de Ciências da Terra. n ° 13, IGEOG-USP, São Paulo, 1969.
- BERTRAND, Georges. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico.** Tradução Olga Cruz – Caderno de Ciências da Terra. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, nº13, 1972.
- BRANCO, E. A. **Dinâmicas de uso e cobertura da terra e grandes empreendimentos hidrelétricos na Amazônia.** 2020. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, 2020.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Governo Federal (Org.). **Projeto Radam - Folha SA.22 Belém: Levantamento de Recursos Naturais.** Rio de Janeiro: [si], 1974a.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Governo Federal (Org.). **Projeto Radam - Folha SB.22 Araguaia: Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro: [si], 1974b.

BRASIL. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **TERRA CLASS 2014: Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia**. [São José dos Campos]: Autor, 2015a. Sumário Executivo.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Governo Federal. **Manual técnico de geomorfologia**. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 182 p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão. **Manual Técnico de Uso da Terra**- 3. ed. Rio de Janeiro: Autor, 2012b. 171 p.

CALVI, Miquéias Freitas. **(RE)ORGANIZAÇÃO PRODUTIVA E MUDANÇAS NA PAISAGEM SOB INFLUÊNCIA DA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE**. 2019. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade de Campinas, Campinas, 2019.

CÂMARA, G. et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CASTRO. G. L. de. **Mapeamento e análise dos sistemas ambientais na sub-bacia hidrográfica do rio Aracoíaba: subsídios ao planejamento territorial**. 2013. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Mestrado Acadêmico em Geografia, Fortaleza, 2013.

CHIBENI, Silvio Seno. **Algumas observações sobre o “método científico”**. Notas de aula, 12/2006.

CHIBENI, Silvio Seno. **Algumas observações sobre o “método científico”**. Notas de aula, 12/2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª edição – São Paulo: editora Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Morfologia do relevo na média bacia do Rio Corumbataí**. In: Simpósio de Geografia Física Aplicada. São Paulo: Anais, 1994.

CLAVAL, P. **Epistemologia da Geografia**. Traduzido do francês por Margareth de Castro Afeche Pimenta e Joana Afeche Pimenta. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2 ed. rev., 2014. 407p.

CLAVAL, Paul. Geografia Cultural: O Estado da Arte. In: CORRÊA, Roberto Lobato; ROSENDHAL, Zeny (org). **Manifestações da Cultura no Espaço**. Rio de Janeiro: UERJ, 1999a. p.5997.

CPRM, S. G. D. B. **GEOLOGIA, TECTÔNICA E RECURSOS MINERAIS DO BRASIL**. [s.l: s.n.].

COELHO, A.L.N. **Geomorfologia Fluvial de Rios impactados por barragens**. Caminhos de Geografia. Uberlândia: v. 9, n. 26 Jun/2008 p. 16 – 32.

COSTA, Francisco e BORDALO, Carlos. **Uma experiência amazônica de gestão dos recursos hídricos: A criação do comitê da bacia hidrográfica do Rio Tarumã – Açu**,

Manaus – AM. In: AGB. Anais do XVI Encontro Nacional de Geógrafos. Porto Alegre, 2010.

Crosta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas: UNICAMP, 1992. 170 p.

DE PAULA, E.M.S. **PAISAGEM FLUVIAL AMAZÔNICA: GEOECOLOGIA DO TABULEIRO DO EMBAUBAL - BAIXO RIO XINGU.** 2017. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

DIBIESO, Eduardo Pizzolim. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos: estudo aplicado à bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio/SP.** Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2013.

ELETROBRAS. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. **Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas. Centrais Elétricas Brasileiras SA – Eletrobrás.** Rio de Janeiro: 1997.

ESPINDOLA, C.R. 2008. **Retrospectiva Crítica sobre a Pedologia – um repasse bibliográfico.** Editora da Unicamp, Campinas, 397 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília, DF: [s.n.].

FARIAS, J. F. **Aplicabilidade da geoecologia das paisagens no planejamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Palmeira-Ceará, Brasil.** Fortaleza, 2015, 222f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

FEARNSIDE, P. M. **Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences.** Conservation Biology, v. 19, n. 3, p. 680–688, jun. 2005.

FEARNSIDE, P. M. **Environmental Impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia.** Environmental Management, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 377–396, 2001.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras.** Manaus: Editora do INPA, 2015.

FEARNSIDE, P. M. Homem e ambiente na Amazônia. In: FEARNSIDE, P. M. (Ed.). **A Floresta Amazônica nas mudanças globais.** Manaus: INPA, 2003.

FEARNSIDE, P. M. **Social Impacts of Brazil's Tucuruí Dam.** Environmental Management, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 483–495, 1999.

FRANCO, Fernanda Cristina O.; FEITOSA, Maria Luiza P. A. M. **Desenvolvimento e direitos humanos: marcas de inconstitucionalidade no processo Belo Monte.** Revista Direito GV, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 93–114, 2013.

FREIRE, L. M. **Geoconservação de patrimônio espeleológico na Amazônia: proposta de planejamento ambiental para a província espeleológica Altamira-Itaituba (PA).** 2017. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Prodemá - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FROLOVA, M. **A paisagem dos geógrafos russos: a evolução do olhar geográfico entre o século XIX e XX.** RA'EGA, Curitiba, n. 13, p. 159-170, 2007.

FU, R.; DICKINSON, R.E.; CHEN, M., WANG, H. How do tropical sea surface temperatures influence the seasonal distribution of precipitation in the equatorial Amazon? *Journal of Climate*, v. 14, p. 4003–4026, 2001.

GIANELLA, L. **A historicidade de um conceito: os diversos usos da paisagem ao longo do tempo na ciência geográfica.** *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n.18, v. 2, ano 10, p. 62-86, 2008.

GUERRA, ANTÔNIO JOSÉ TEIXEIRA; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico.** 6. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Governo Federal (IBGE). **Manual técnico de geomorfologia.** – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009, 182 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão. **Manual Técnico de Uso da Terra: Manuais Técnicos em Geociências.** 3. ed. Rio de Janeiro: Autor, 2013b. 171 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Governo Federal (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira.** – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 182 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Governo Federal (IBGE). **Manual técnico de Pedologia.** – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 182 p.

Irgang, B. E. & Gastal Jr., C. V. de S. 1996. **Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS UFRGS**, Porto Alegre.

JELLYCOE, G.; JELLYCOE, S. **El paisaje del hombre: la conformación del entorno desde la prehistoria hasta nuestros días.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1995.

JOÃO, X. DA S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. **Geodiversidade do Estado Do Pará.** Belém, PA: [s.n.].

JÚNIOR, J. F; SOUZA, M. I. L; NASCIMENTO, P.P. R; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agroambiente**, v. 5, n. 1982–8470, p. 158–165, 2011.

KATINSKY, M. (1994) **Fuzzy set modelling in Geographical Information Systems.** MsC Thesis, University of Wisconsin-Madsin, USA.

KITAMURA, P. C. **A Amazônia e o desenvolvimento sustentável.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994.

KOHLHEPP, G. **Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira.** *Estudos Avançados*, [s. l.], v. 16, n. 45, p. 37–61, 2002.

LEAL, A. C. **Meio ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca-Campinas, SP.** Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio ambiente) – IGCE Campus de Rio Claro, 1995, 154p.

LEAL, A.C. **Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos.** *Entrelugar* 3, 65-84, 2012.

LEITE, M. A. F. P. **Destruição ou desconstrução?** São Paulo: Hucitec, 1994.

LETURCQ, Guillaume. **Differences and similarities in impacts of hydroelectric dams between North and South of Brazil.** *Ambiente & Sociedade*, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 265– 286, 2016.

- LILLESAND, T.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. **Remote sensing and image interpretation**. Crawfordsville: John Wiley & Sons, 2014.
- LEME, E. Diagnóstico AID e ADA - Meio Físico. In: **APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO DE BELO MONTE**. Não consta: autor, 2009. 197 p.
- LEME ENGENHARIA. DIAGNÓSTICO DAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DIRETA E DIRETAMENTE AFETADA DO MEIO FÍSICO. In: **APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO DE BELO MONTE**. Não consta: autor, 2009. 197 p.
- LIMBERGER, L. **Abordagem sistêmica e complexidade na geografia**. Geografia - v. 15, n. 2, 2006.
- LUEDELING, E.; SIEBERT, S.; BUERKERT, A. Filling the voids in the SRTM elevation model - A TIN-based delta surface approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, New York, v.62, n.4, p.283-294, 2007.
- MAIA, B. G. de O; KLOSTERMANN, D.; RIBEIRO, J. M. G.; SIMM, M.; OLIVEIRA, T. M. N.; BARROS, V. G. **Bacias Hidrográficas da Região de Joinville**. Gráfica e Editora 3 de Maio LTDA. Blumenau, Abril de 2014.
- MAPBIOMAS. **MapBiomias General “Handbook”** - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Collection 3 Version 1.0. 2018. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/mapbiomas/base-de-dados/metodologia/colecao-3_0/1-ATBD-Collection-3-version-1.pdf>.
- MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias – Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**.
- MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. **Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 5 n.1, p. 11-18, 2004.
- MAXIMIANO, L. A. **Considerações sobre o conceito de paisagem**. RA'É GA, Curitiba, Ed. UFPR, n. 8, p. 83-91, 2004.
- MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.
- MIRANDA NETO, J. Q. **Os nexos de reestruturação da cidade e da rede urbana: o papel da Usina Belo Monte nas transformações espaciais de Altamira-PA e em sua região de influência**. 2016. Universidade Estadual Paulista, [s. l.], 2016.
- MONTEIRO, M. A. **Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional**. Estudos Avançados, [s. l.], v. 19, n. 53, p. 187–207, 2005.
- MONTEIRO, T. R. **Proposta metodológica para mapeamento da cobertura da terra em grande escala no semiárido brasileiro: um estudo de caso em Serra Negra do Norte-RN**. 215f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- MORAN, E. F. **Agricultural Development in the Transamazon Highway**. 1976.
- MORAN, E. F. **Roads and dams: infrastructure-driven transformations in the Brazilian Amazon**. Ambiente & Sociedade, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 207–220, 2016.
- MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. Viçosa: UFV, 2012.

MORETTO, E. M. et al. **Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica.** Ambiente & Sociedade, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 141–164, 2012.

MOURA D. V.; Simões C. S. (2010) - **A evolução histórica do conceito de paisagem.** Ambiente & Educação (ISSN 1413-8638; E-ISSN 2238-5533), 15(1):179-186, EDGRAF - Editora e Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS, Brasil. Disponível on-line em <http://www.seer.furg.br/ambeduc/article/view/992>. Acesso em Acesso em: 27 dez. 2018.

NAME, L. **O conceito de paisagem na geografia e sua relação com o conceito de cultura.** GeoTextos, v. 6, n. 2, p. 163–186, 2011.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues do.; SAMPAIO, José Levi Furtado. **Geografia Física, Geossistemas e Estudos Integrados da Paisagem.** Revista da Casa de Geografia de Sobral. Sobral, v.6/7, nº 1, 2004/2005.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989.

NORTE ENERGIA. PROJETO DE MONITORAMENTO E CONTROLE DEMACRÓFITAS AQUÁTICAS. **3º Relatório Consolidado.** Vitória do Xingu, 2013.

OLIVEIRA, RITA DENIZE. **DINÂMICA DE INUNDAÇÃO DAS PLANÍCIES FLUVIAIS DO RIO XINGU, NA REGIÃO DO COMPLEXO HIDRELÉTRICO DE BELO MONTE - ALTAMIRA -PA.** Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologias, Presidente Prudente.

PARÁ, G. DO E. **Região de Integração Xingu: Perfil Socioeconômico e Ambiental.** Belém, PA: [s.n.].

PAIVA, P. **Entenda por que não chove nas regiões Sudeste e Centro-Oeste no inverno.** Jun. 2014.

PINTO, E. J. A. et al. (Coord.). **Atlas pluviométrico do Brasil:** isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2011. 1 DVD. Escala 1:5.000.000. Sistema de Informação Geográfica-SIG - versão 2.0 – atualizada em novembro/2011. Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade.

PONZONI, F.J.; PACHECO, L.R.F.; SANTOS, S.B. dos; ANDRADES FILHO, C. de O. **Caracterização espectro-temporal de dosséis de Eucalyptus spp. mediante dados radiométricos TM/Landsat5.** Cerne, v.21, p.267-275, 2015.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. **Gestão de bacias hidrográficas.** Estudos Avançados, 22 (63), 2008.

RAMOS, M. A. B. et al. Metodologia, Estruturação da Base de Dados e Organização em Sistema de Informação Geográfica. In: JOÃO, X. da S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Pará.** Belém: Cprm, 2013. p. 167-182

RAMOS, R. A. R. **Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Nordeste de Portugal.** Dissertação de Doutorado. Universidade do Minho. Braga, Portugal. 2000.

ROCHA, V. M.; CORREIA, F. W. S.; FIALHO, E. S. **A Amazônia frente às mudanças no uso da terra e do clima global e a importância das áreas protegidas na mitigação dos impactos: um estudo de modelagem numérica da atmosfera.** ACTA GEOGRÁFICA, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 31-48, 2012.

RODRIGUES, C. **A Teoria Geossistêmica e sua Contribuição aos estudos geográficos e ambientais.** Revista do Departamento de Geografia USP, 14 (2001) 69-77. São Paulo (SP) Brasil.

RODRIGUES, C. **A Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais.** Revista do Departamento de Geografia USP 14:69-77, 2001.

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. (orgs.) **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental.** 4 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

RODRIGUEZ, J.M. **Apuntes de Geografía de los Paisajes.** Havana/Cuba: Faculdade de Geografia-Universidade de la Havana, 1984. 467p.

RODRIGUEZ, J.M. **Geocologia de los paisajes.** Mérida/VEN.: Editora de la Universidad de Los Andes, 1991. 222p.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo. **La Cuestión Ambiental desde una Visión Sistémica.** *Revista Ideas Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia.* Sede Manizales, nov. 2005.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica.** Fortaleza: Edições UFC, 2013.

RODRÍGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da; LEAL, Antonio Cezar. Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas. In: SILVA, Edson Vicente da; RODRÍGUEZ, José Manuel Mateo; MEIRELES, Antônio Jeovah de Andrade (Org.). **Planejamento Ambiental e Bacias Hidrográficas.** Fortaleza: Edições UFC, 2011.

RODRIGUEZ, M. M. **Planejamento Ambiental como campo de ação da Geografia.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 5, 1994, Curitiba. Anais. Curitiba: AGB, 1994.

RODRIGUEZ. **La ciência del paisaje a luz del paradigma ambiental.** Cadernos de Geografia, Belo Horizonte, v.8, n.10, p. 63-68, 1998.

ROUGERIE, G.; BEROUTCHACHVILI, N. **Geosystèmes et paysages: bilan e méthodes.** Paris: Armand Colin Éditeur, 1991.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v.15, n.3, p. 234-281, 1977.

SANTOS, C. D. S. **DINÂMICAS DA PAISAGEM DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ-AÇU- PA DINÂMICAS DA PAISAGEM DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ-AÇU- PA.** [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, 2018.

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

SEMENOV, Yu.; SNYTKO, V.A. **The 50th Anniversary of the Appearance of V. B. Sochava's First Article on the Geosystem.** *Geography and Natural Resources*, v. 34, n. 3, p. 5-8, 2013.

SEVÁ, O. Dados de vazão do rio Xingu durante o período 1931- 1999; estimativas da potência, sob a hipótese de aproveitamento hidrelétrico integral: Nota elaborada por Oswaldo

Sevá, com dados do Estudo de Viabilidade de Belo Monte (2002) e de Cicogna (2003). In: **SEVÁ, O. (org). Tenotã – Mõ. International Rivers NetWork**, 2005.

SILVA, E. V. GEOMORFOLOGIA APLICADA AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL: SUA IMPORTÂNCIA NA ELABORAÇÃO DOS PLANOS DIRETORES MUNICIPAIS. **Revista de Geografia (Recife)**, v. v. 35, n. 0104–5490, p. 309–323, 2018.

SOARES, F. B. **PLANEJAMENTO E ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MANANCIAL BALNEÁRIO DA AMIZADE NOS MUNICÍPIOS DE ÁLVARES MACHADO E PRESIDENTE PRUDENTE – SÃO PAULO/BRASIL**. [s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2015.

SOUZA, D. F. e. **Evolução Sedimentar Do Tabuleiro Do Embaubal, Baixo Rio Xingu**. 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SOUZA, M. L. **Conceitos fundamentais da pesquisa sócio-espacial**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil; 2013.

SOUZA, M.J.N. de. **Análise Geoambiental e Ecodinâmica da Paisagens do Estado do Ceará** - Tese de Professor Titular, UECE. 1998. Fortaleza.

SOUZA, M.J.N. de. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000. 268p. il.; 22cm.

SOUZA, E. B. DE; CUNHA, A. C. Climatologia de Precipitação no Amapá e Mecanismos Climáticos de Grande Escala. **Tempo, Clima e Recursos Hídricos: resultados do projeto REMETAP no Estado do Amapá**, v. 53, n. 9, p. 1–30, 2010.

STEVAUX, JOSÉ CÂNDIDO; LATRUBESSEM, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: [s.n.].

TEIXEIRA, N. F. F. **ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE TEJUÇUOCA- CEARÁ**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 2018.

TROPPEMAIR, Helmut; GALINA, Marcia Helena. **Geossistemas**. Mercator: Fortaleza, ano 05, Nº10, 2006.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. DA. **Geologia e Recursos Mineirais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas - SIG**. [s.l: s.n.].

VEADO, Ricardo ad-Víncula. **O Geossistema: embasamento teórico e metodológico (Relatório de qualificação)**. UNESP: Rio Claro, 1995.

VENTURIERI, A. **A Dinâmica da ocupação pioneira da Rodovia Transamazônica: Uma abordagem de modelos de paisagem**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2003.

VIDAL, M. R. **Geocologia das paisagens: fundamentos e aplicabilidades para o planejamento ambiental no baixo curso do Rio Curu-Ceará-Brasil**. [s.l: s.n.].

VICENTE, L.E.; PEREZ FILHO, A. **Abordagem Sistêmica e Geografia**. Geografia. Rio Claro: v. 28, n. 3, 2003.

VIDAL, M. R. **Geocologia das Paisagens: Fundamentos e Aplicabilidades para o Planejamento Ambiental no Baixo Curso do Rio Curu-Ceará-Brasil**. 2014. 191 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,

2014.

VINET, L.; ZHEDANOV, A. A “missing” family of classical orthogonal polynomials. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2011.

WCD (World Commission on Dams). **Dams and Development – A New Framework for Decision Making – The Report of World Commission on Dams.** WCD & Earthscan, London, Reino Unido, 2000.