

DIAGNÓSTICO GEOECOLÓGICO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ AMBÉ (SBHA) LOCALIZADA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA DA USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE, ALTAMIRA-PA

Alexandre Lobato ¹

Carlos Alexandre Leão Bordalo ²

Éder Mileno Silva De Paula ³

RESUMO

O Bioma Amazônico possui importância essencial para o equilíbrio ambiental planetário, porém, nas últimas cinco décadas, vem sofrendo intensas transformações decorrentes da implantação de grandes obras de infraestrutura, como a abertura da Rodovia Transamazônica e a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. Compreender o funcionamento dessas paisagens e suas tendências de modificação é fundamental para orientar usos ambientalmente sustentáveis. Adotando bacias hidrográficas como unidades físico-territoriais e a Geocologia das Paisagens como abordagem sistêmica, esta pesquisa analisou o funcionamento geocológico da Sub-bacia Hidrográfica do Igarapé Ambé, situada na área de influência dessas obras. Os resultados mostram que 45% das paisagens apresentam processos morfogenéticos atuantes e 29% encontram-se em vulnerabilidade ambiental moderada, indicando um frágil equilíbrio ecodinâmico e a necessidade de alternativas de uso compatíveis com as limitações ambientais regionais.

PALAVRAS-CHAVE: INSERIR PALAVRAS-CHAVE (3 A 5) EM PORTUGUÊS

GEOECOLOGICAL DIAGNOSIS OF THE IGARAPÉ AMBÉ SUB-BASIN (SBHA) LOCATED IN THE AREA OF DIRECT INFLUENCE OF THE BELO MONTE HYDROELECTRIC POWER PLANT, ALTAMIRA-PA

ABSTRACT

The Amazon biome plays a fundamental role in maintaining global environmental balance; however, over the past five decades it has undergone intense transformations due to large infrastructure projects, such as the construction of the Transamazon Highway and the Belo Monte Hydropower Plant. Understanding landscape functioning and its trends of human-induced modification is essential for guiding environmentally sustainable land-use strategies. Using hydrographic basins as physical–territorial units and Landscape Geocology as a systemic analytical approach, this study examined the geocological functioning of the Igarapé Ambé Sub-basin, located within the area influenced by these infrastructures. The results indicate that 45% of the landscapes exhibit active morphogenetic processes and 29% present moderate environmental vulnerability, revealing a fragile ecodynamic balance and the need for land-use alternatives compatible with regional environmental constraints.

KEYWORDS: Landscape; river basin; hydroelectric dams; Xingu River.

¹ Mestre em Geografia e Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). alexandrelobato.geo@outlook.com

² Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido e Professor Adjunto da Universidade Federal do Pará (UFPA). carlosalbordalo@gmail.com

³ Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e Professor Adjunto da Universidade Federal do Pará (UFPA). edermileno@ufpa.br

DIAGNÓSTICO GEOECOLÓGICO DE LA SUBCUENCA IGARAPÉ AMBÉ (SBHA) LOCALIZADA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA DE LA HIDROELÉCTRICA BELO MONTE, ALTAMIRA-PA

RESUMEN

El bioma amazónico desempeña un papel fundamental en el equilibrio ambiental global; sin embargo, en las últimas cinco décadas ha experimentado intensas transformaciones derivadas de grandes obras de infraestructura, como la apertura de la Carretera Transamazónica y la construcción de la Central Hidroeléctrica de Belo Monte. Comprender el funcionamiento del paisaje y sus tendencias de modificación inducidas por actividades humanas es esencial para orientar usos del territorio ambientalmente sostenibles. Adoptando las cuencas hidrográficas como unidades físico-territoriales y la Geoecología del Paisaje como enfoque analítico sistémico, esta investigación analizó el funcionamiento geoecológico de la Subcuenca Hidrográfica del Igarapé Ambé, situada en el área de influencia de dichas infraestructuras. Los resultados muestran que el 45% de los paisajes presenta procesos morfogenéticos activos y el 29% exhibe vulnerabilidad ambiental moderada, lo que revela un equilibrio ecodinámico frágil y la necesidad de alternativas de uso compatibles con las limitaciones ambientales regionales

PALABRAS CLAVE: Paisaje; uso del suelo; presas hidroeléctricas; río Xingu

INTRODUÇÃO

As paisagens amazônicas possuem valor ambiental incalculável; contudo, nas últimas décadas vêm sofrendo grandes modificações, de forma mais significativa a partir da década de 1970, quando o Estado brasileiro assumiu um amplo plano de intervenção na região, baseado em políticas de ordenamento territorial e colonização orientada, voltadas a ocupar um suposto vazio demográfico.

Entre os incentivos para a ocupação da Amazônia estavam a implantação de grandes infraestruturas, como redes rodoviárias, usinas hidrelétricas, polos de mineração e polos agropecuários (BECKER, 2001; KOHLHEPP, 2002; MONTEIRO, 2005).

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).

A implantação do Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia – Polamazônia, propiciou as condições necessárias para consolidação de atividades agropecuárias e mineradoras na Amazônia, em especial a região de Altamira (KOHLHEPP, 2002;

MONTEIRO, 2005). Todavia, para viabilizar esses projetos, o Estado Brasileiro assumiu a necessidade de criar uma rede energética capaz de suprir tais demandas, especialmente as de plantas minerárias e industriais, iniciando a construção de grandes usinas hidrelétricas em rios com acentuadas quedas topográficas e alta disponibilidade hídrica, como o rio Tocantins e o rio Xingu (FEARNSIDE, 2005; CALVI, 2019).

Ao todo, foram planejadas 79 barragens para a Amazônia brasileira (FEARNSIDE, 2015). Entre elas estava a Hidrelétrica Kararaô, no rio Xingu; porém, dificuldades financeiras e pressões de organizações não governamentais e da sociedade civil forçaram o governo brasileiro a adiar sua construção.

Com o elevado crescimento industrial na década de 1990 e a ausência de investimentos proporcionais no setor hidrelétrico, houve um aumento da demanda energética, que, aliado à falta de capacidade instalada, levou à crise de energia entre 2001 e 2002 (FEARNSIDE, 2003). Em decorrência dessa crise, o governo brasileiro passou a retomar antigos planos de expansão da produção de energia, voltando-se novamente ao potencial hidrelétrico da Amazônia.

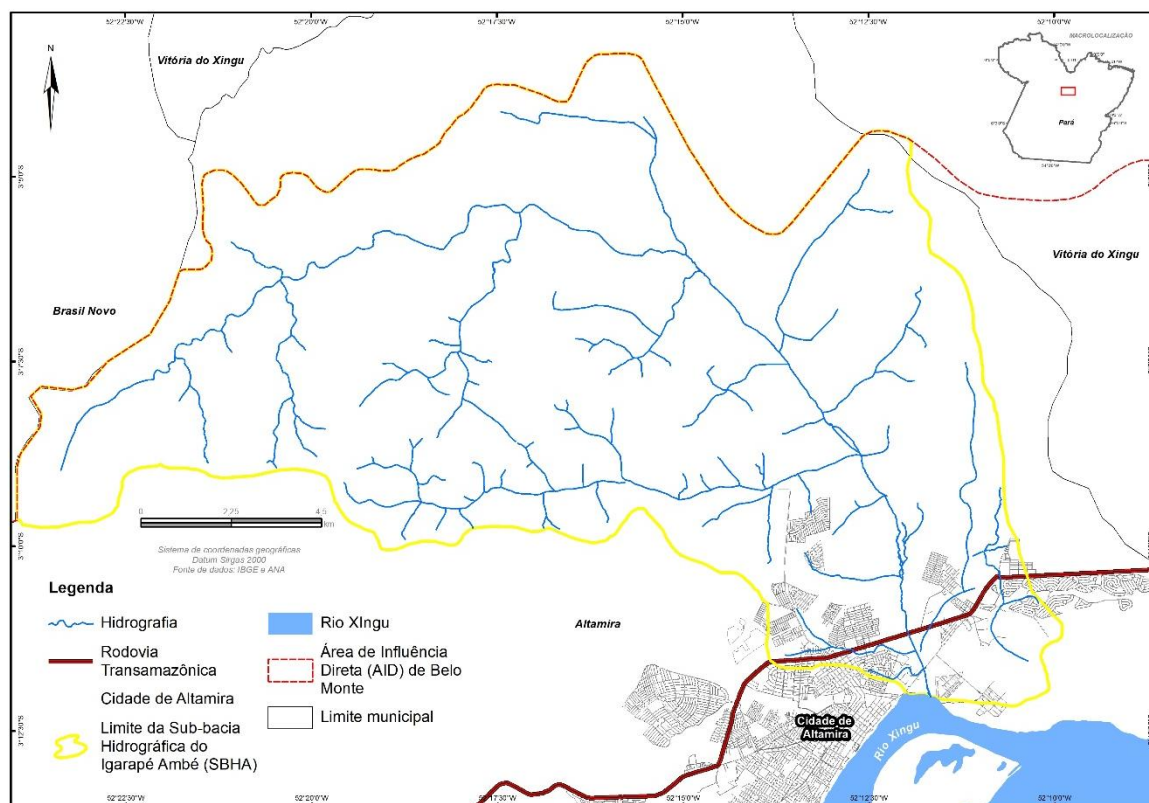
Dessa forma, o Plano de Expansão do Setor Elétrico para o período de 2011–2020 previa a construção de dezoito novas hidrelétricas na região amazônica, incluindo empreendimentos de grande porte como Belo Monte, antiga Kararaô (MORETTO et al., 2012). As obras da UHE Belo Monte iniciaram-se em 2011 e foram concluídas em dezembro de 2019, tornando-a a terceira maior hidrelétrica do mundo em capacidade instalada, com aproximadamente 11.233 MW (NORTE ENERGIA, 2013).

Devido à complexidade dos impactos ambientais decorrentes de sua construção, a UHE Belo Monte tem sido objeto de diversas pesquisas que buscam compreender seus efeitos sociais e ambientais, bem como fornecer subsídios para o planejamento das paisagens impactadas.

Com o uso cada vez mais intenso das paisagens amazônicas a serviço da retórica de desenvolvimento e inclusão econômica, torna-se evidente a necessidade de estudos integrados que investiguem as implicações desses usos sobre os sistemas ambientais amazônicos, oferecendo bases para o planejamento ambiental regional.

A área de estudo desta pesquisa, a Sub-bacia Hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA), localizada no município de Altamira, Estado do Pará, encontra-se inserida na Área de Influência Direta (AID) da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHE Belo Monte), conforme apresentado no mapa 1.

Figura 1 - Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA).



Fonte: Autores, 2023.

Nessa perspectiva, visando contribuir para gestão integrada de bacias hidrográficas no contexto de grande empreendimento e adotando a Geoecologia das Paisagens como metodologia para a análise integrada, este trabalho tem como objetivo diagnosticar o estado e o funcionamento geocológico da Sub-bacia Hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA).

MATERIAL E MÉTODO

O percurso metodológico dessa pesquisa está alicerçada nos preceitos teóricos e metodológicos da geoecologia de paisagens, proposto por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2022) e Rodriguez e Silva (2018). Além disso, utiliza-se de trabalhos com enfoque aplicado, como os desenvolvidos por Albuquerque (2012), Vidal (2014), Farias (2015), De Paula (2017), Teixeira (2018) e Cunha (2019). Desta forma, a pesquisa foi dividida em quatro fases sequenciais e correlatas, sendo elas: (I) Organização e Inventário, (II) Análise, (III) Diagnóstico e (IV) Prognóstico.

Fase de Organização e Inventário

Nessa fase foram organizadas e inventariadas 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 e temas, permitindo assim a definição da escala de mapeamento, 1:100.000.

A área em estudo foi delimitada 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), do Modelo Digital de Elevação (MDE) produzido pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e imagem do satélite Sentinel-2B.

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 pixels com valores nulos ou negativos rodeados por pixels com valores de elevação superiores, sendo essas falhas acarretadas principalmente pela ocorrência de corpos hídricos nas áreas imageadas (LUEDELING et al., 2007).

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 (código 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 (código 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 km 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 SB-22 (BRASIL, 1974), o relatório de Geodiversidade do estado do Pará (JOÃO; TEIXEIRA; FONSECA, 2013), do mapeamento geológico do Estado do Pará (VASQUEZ ROSA-COSTA, 2009) e dos diagnósticos ambientais realizados pelas pesquisas de 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,

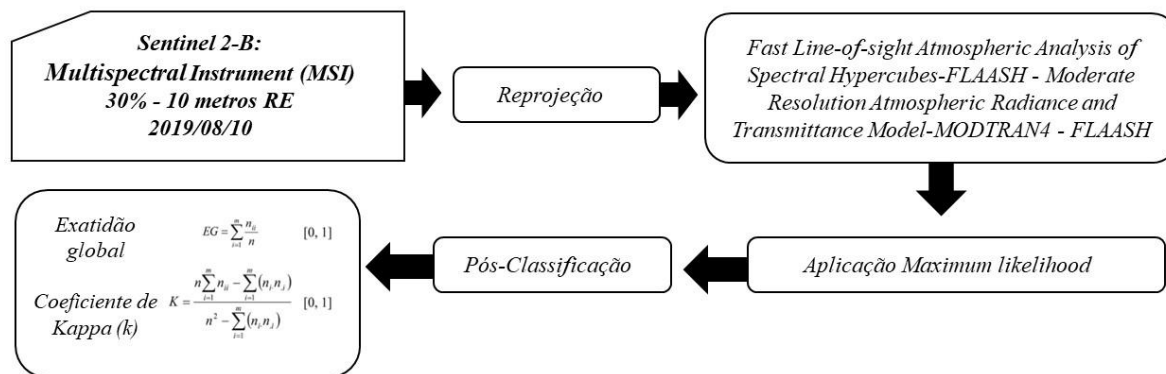
2010), do diagnóstico da Região de Integração do Xingu (PARÁ, 2017) e das teses de Miranda Neto (2016) e Oliveira (2017).

O mapeamento de uso e cobertura da terra foi balizado nas classes de fitofisionomias do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), do Projeto RADAM Brasil SB-22, EIA da UHE Belo Monte (LEME, 2009) e o Manual de Uso da Terra (IBGE, 2013).

Para obtenção das classes, foi realizado o download de cenas do 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 o ano de 2019 e, principalmente, devido a sua resolução espacial de 10 metros, fornecendo dados compatíveis a escala de análise local da SBHA. A imagem foi adquirida através do serviço geológico americano (USGS) (<https://ers.cr.usgs.gov/>).

As cenas passaram por pré-processamento, de reprojeção UTM - zona 22 S, Datum SIRGAS 2000. Também passaram por correção atmosférica no software Envi 5.0, conforme detalha Figura 1.

Figura 2 - Processamento das imagens para obtenção da classificação de uso e cobertura da terra.



Fonte: Autoria própria.

Fase de análise e diagnóstico

Nessas fases, optou-se por aplicar a Geoecologia das Paisagens conforme proposta por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013) e operacionalizada em estudos aplicados, como os de De Paula (2017) no baixo rio Xingu e Vidal (2014) no baixo curso do rio Curu, no Ceará. Essa

abordagem permitiu analisar, de forma integrada, os aspectos antrópicos e o funcionamento geocológico da área de estudo.

A fase de diagnóstico consistiu na identificação do potencial e das limitações de uso das unidades geocológicas, na caracterização dos problemas ambientais e na determinação do estado geocológico das paisagens. Para esta última etapa, foi incorporado o referencial da ecodinâmica de Tricart (1997), utilizado como instrumento interpretativo para qualificar a dinâmica morfogenética e pedogenética, em articulação com a avaliação do grau de vulnerabilidade ambiental.

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). 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.

Nesse sentido, cada variável dos componentes geológicos (condições naturais e socioeconômicos) foram normalizadas seguindo a escala de 0 a 1 proposta por De Paula (2017) e Câmara et al. (2004), 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
	Latosolo 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 pelos autores, adaptado de De Paula (2017).

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 (CÂMARA et al., 2001).

Nessas etapas, a paisagem ainda foi analisada a partir de duas estruturas distintas e complementares, conforme proposto por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013): a Estrutura Vertical da Paisagem e a Estrutura Horizontal da Paisagem.

- A estrutura vertical compreende a composição e as inter-relações entre os elementos físico-naturais no sentido vertical, incluindo as condições morfológicas do relevo (rede hidrográfica, elevação e declividade), as características pedológicas (solos) e as litológicas (geologia).
- Já a estrutura horizontal refere-se à organização espacial dos elementos da paisagem e à dinâmica do uso e cobertura da terra, refletindo o mosaico territorial resultante da interação entre processos naturais e antrópicos. Para Solntsev (1948), essa estrutura pode ser compreendida pela análise das imagens que expressam a configuração das unidades de paisagem no território.

Definição das unidades geológicas

A delimitação das unidades geológicas foi realizada por meio de uma análise sistêmica e holística dos componentes naturais: geologia, geomorfologia, solos e cobertura vegetal; integrada às informações socioeconômicas, ao histórico de uso da terra e aos padrões

atuais de ocupação. O mapeamento da região geocológica seguiu a proposição metodológica de De Paula (2017).

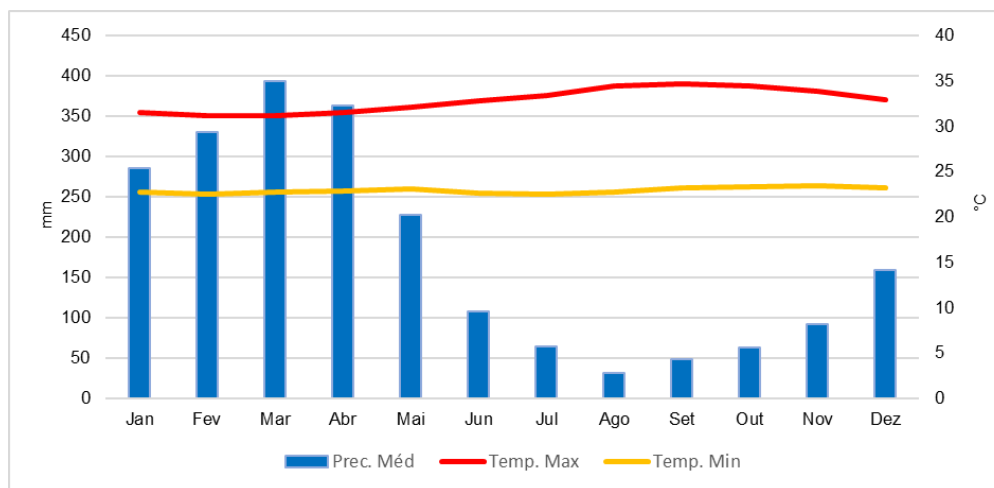
Cada unidade geocológica representa uma síntese das características estruturais e da dinâmica funcional das paisagens, constituindo uma base para a tomada de decisão e para o planejamento ambiental, respeitando-se os limites e potencialidades dos recursos naturais de cada unidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Clima

Com base na metodologia proposta por Nimer (1979) e na análise da série histórica de 30 anos da estação meteorológica de Altamira, o clima da Sub-bacia Hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA) foi classificado como Quente Úmido. A categoria “quente” decorre do fato de que a média das temperaturas anuais permanece acima de 18°C mesmo no mês mais frio (fevereiro), cuja temperatura mínima registrada foi de 22,5°C. Já a classificação como “úmido” relaciona-se à existência de apenas três meses secos, segundo os critérios de Nimer: agosto, com precipitação média de 31 mm e temperatura de 34,4°C; setembro, com 49 mm e 34,7°C; e outubro, com 63 mm e 34,4°C, conforme apresentado no Gráfico 01.

Gráfico 01 - Precipitação mensal entre 1989 e 2019.



Fonte: Autoria própria.

A análise temporal do regime pluviométrico evidencia uma clara sazonalidade entre períodos chuvosos e secos. Os meses com maiores volumes precipitados são fevereiro (331 mm), março (393 mm) e abril (362 mm), enquanto os meses de menor precipitação coincidem

com as mais altas temperaturas médias. A precipitação média anual registrada na estação de Altamira é de 2.164 mm, dos quais 81% concentram-se entre dezembro e maio (1.758 mm). De junho a novembro, o acumulado é de apenas 405 mm, correspondendo a 19% do total anual. Esse padrão evidencia a existência de dois períodos pluviométricos distintos e bem-marcados.

Com base nessa distribuição, o intervalo que abrange o Verão Austral (dezembro, janeiro e fevereiro) e o Outono Austral (março, abril e maio) corresponde ao período chuvoso regional, conhecido popularmente como “inverno amazônico”, quando também se registram temperaturas relativamente mais amenas. Nesses meses ocorre a elevação da cota fluviométrica do rio Xingu, atingindo valores de 684,22 cm em abril, 666,04 cm em março e 588,88 cm em maio. A partir de abril, a cota passa a decrescer gradualmente até alcançar seus níveis mais baixos em agosto (289,94 cm) e setembro (260,55 cm), que também são os meses de menor precipitação.

Embora a dinâmica de inundação da SBHA esteja fortemente condicionada às variações do rio Xingu, a sub-bacia apresenta regime hidrológico próprio, classificado como polimodal, caracterizado pela ocorrência de pulsos de inundação irregulares associados a eventos locais de chuvas intensas (OLIVEIRA, 2017). Essa dualidade influencia do regime do Xingu e resposta autônoma da bacia e contribui para a complexidade hidrodinâmica observada no médio e baixo curso do igarapé Ambé.

A caracterização climática e hidrológica constitui base essencial para a compreensão da estrutura vertical da paisagem e dos processos geoecológicos associados, especialmente no que se refere à dinâmica de erosão, deposição, saturação hídrica dos solos e funcionamento das unidades geoecológicas. A partir dessa contextualização, foram analisados os componentes geológicos, pedológicos e geomorfológicos, conforme descrito a seguir.

Geologia

A partir do inventário e reambulação dos dados provenientes da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2003), Estudo de Impacto Ambiental da UHE Belo Monte (LEME, 2009) e Vasquez e Rosa-Costa (2008), foram identificadas 04 unidades litoestratigráfica presentes na SBHA, sendo elas: Depósitos Aluvionares, Formação Alter do Chão, Diabásio Penatecaua e Formação Curuá.

Os Depósitos Aluvionares possuem uma área de 46,65 km², o equivalente a 21% da área SBHA, são caracterizados por ser uma unidade geológica mais recente com cerca de 11 mil de formação. Sua litologia é composta por areia de granulação fina e grossa, cascalhos, argilas, argilas arenosas e orgânicas, além de siltes semi-consolidados a consolidados (LEME, 2009).

Os sedimentos dos Depósitos Aluvionares, em sua grande maioria, são oriundos dos processos de erosão das margens das vertentes e transportados pelas águas até se depositarem nas margens dos canais fluviais, constituindo assim os depósitos de canais (GUERRA e GUERRA, 2008; LEME, 2009).

A segunda maior unidade geológica é a Formação Ater do Chão com 86,91 km², o equivalente a 39% da área total da SBHA. Sua maior concentração está 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, 2009). O ambiente de deposição é fluvial de alta energia/lacustrino-deltáico (DAEMON, 1975)

Por sua vez, a unidade geológica 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.

A Formação Curuá ocorre na porção sudeste da SBHA, em uma mancha restrita e sem afloramento no baixo curso com 1,9 km², representando apenas 1% da SBHA. Sua litologia é constituída essencialmente por folhelhos cinza-escuros a negros e siltitos arenosos cinzas (LEME ENGENHARIA, 2009).

Geomorfologia

Com base no mapeamento geomorfológico realizado para a SBHA na quarta ordem de grandeza, constituindo assim os modelados - formas do relevo com padrões similares em função de sua morfogênese (IBGE, 2012), identificou-se 03 formas de relevos: Colinas Amplas e Suaves, Planície de Fluvial e os Terraços Fluviais.

A Planície Fluvial e Terraço Fluvial estão agrupados no modelado de acumulação fluvial, onde os processos de agradação superam os de degradação, resultando em áreas deposicionais (GUERRA e GUERRA, 2008). Têm sua gênese relacionada a processos morfogenéticos do rio Xingu, sendo diferentes apenas por sua dinâmica fluvial atual.

As Planícies Fluviais são áreas adjacentes aos canais fluviais que periodicamente são inundadas pela elevação do nível das águas e que mantêm 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 são áreas Planas (0-3%) e Suaves Onduladas (3-8%), com elevações variando entre 58 metros e 120 metros, ocupam uma área de 12,61 km² que corresponde a 5,7% da área total.

Tem sua composição litológica ligada aos Depósitos Aluvionares, ou seja, formada por argilas, siltes, areais finos e cascalho, de cor acinzentado, sendo importantes depósitos minerais para construção civil.

Diferentemente da Planície Fluvial que ainda mantém uma dinâmica direta com os pulsos de inundações, os Terraços Fluviais, encontram-se em um nível topográfico mais elevado, não sendo assim alcançados com a elevação sazonal 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.

Na SBHA, essa forma de relevo representa 15,4% da sua área total, concentrado principalmente 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 a planície fluvial.

A terceira forma de relevo da SBHA é as Colinas Amplas e Suaves, que são caracterizadas por ter um relevo colinoso, homogêneo com topos amplos ou convexos, vertentes convexas e/ou retilíneo e/ou côncavos. Ocupam uma área de 175,74 km², correspondendo a 78,9% da SBHA, que se estende por toda bacia com elevações variando no intervalo de 130 a 228 metros, e a declividade variando entre Suave Ondulado (3 a 8%), Ondulado (8 a 20%) e Fortemente Ondulado (20 a 40%). Nesta forma de relevo atuam processo de dissecação em sucros de ravinas, caracterizado por alta atuação predominante da erosão pluvial (IBGE, 2009b).

Sua base geológica são a Formação Alter do Chão, Diabásio Penatecua e Grupo Curuá, tendo com substrato rochoso os diabásios, arenitos, arenitos conglomeraticos, folhelhos, siltitos e ritmitos, com deposições de planícies aluviais com vales menos encaixados (LEME, 2009; IBGE, 2009).

Solos

O Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAA1) é o tipo de solo predominante na SBHA, ocupando uma área de 112,51 km² (51%), sendo sua maior porção encontrado no alto curso. Estes tipo de solo possui 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).

Sua pedogênese está ligada 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 intenso.

O Nitossolo Vermelho Eutrófico (NVe), está presente em uma área de 69,64 km (31%) da SBHA. É constituído 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).

Este tipo de solo 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. Sua evolução pedogênese está ligado ao Diabásio Penatecaua, se constituindo um solo com alto grau de fertilidade.

Outro solo predominante na SBHA é o Planossolo Hidromórfico Distrófico (SGd), está presente em 15% da área total da SBHA, com uma área de 33,22 km². Compreendem solos minerais de baixa fertilidade, hidromórficos, profundos, bem desenvolvidos, imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou sub-superficial 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 e espessura média de 20 cm e textura arenosa. Estes solos estão associados aos depósitos Aluvionares, as formas de relevo Terraço Fluvial e Planície Fluvial.

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).

O 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.

Rede hidrográfica

A SBHA possui uma área de 222,75 km², sua classificação é endorreica e sua rede de drenagem apresenta padrão dendrítica e cursos d'água perenes e intermitentes. De acordo Christofolletti (1980), 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.

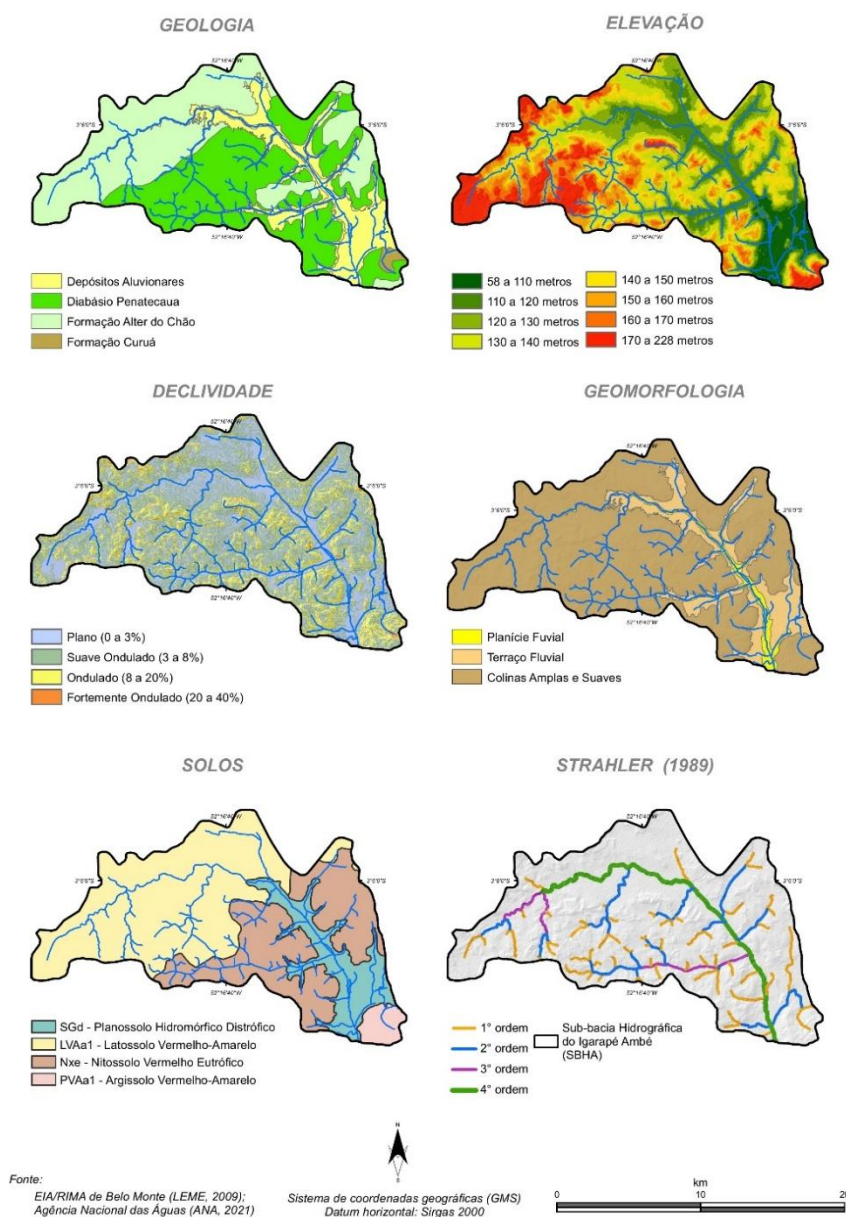
O rio principal que dá o nome a sub-bacia, o Igarapé Ambé, apresenta comprimento de 34,44 km e deságua no rio Xingu. O comprimento total da rede de drenagem é de 159,23 km com desníveis de até 170 metros, sendo a maior elevação de 228 metros e a menor de 58 metros.

Outro elemento importante a ser analisado na SBHA é sua hierarquia fluvial, que consiste no processo de estabelecer ordens de grandeza a rede hidrográfica de uma bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980). A hierarquia fluvial da SBHA é de 4^a ordem, sendo dividida em 74 km de canais de 1^a ordem, 43 km de canais de 2^a ordem, 15 km de canais de 3^a ordem e 26,70 km de 4^a ordem.

Segundo Strahler (1989 apud Christofolletti, 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.

Face ao exposto, a figura 3 apresenta a síntese do diagnóstico geoecológico trazendo todos os temas apresentados acima (geologia, geomorfologia, solos, rede hidrográfica, declividade e altimetria).

Figura 3 - Síntese dos componentes geocológicos das paisagens verticais da SBHA.



Fonte: Autoria própria.

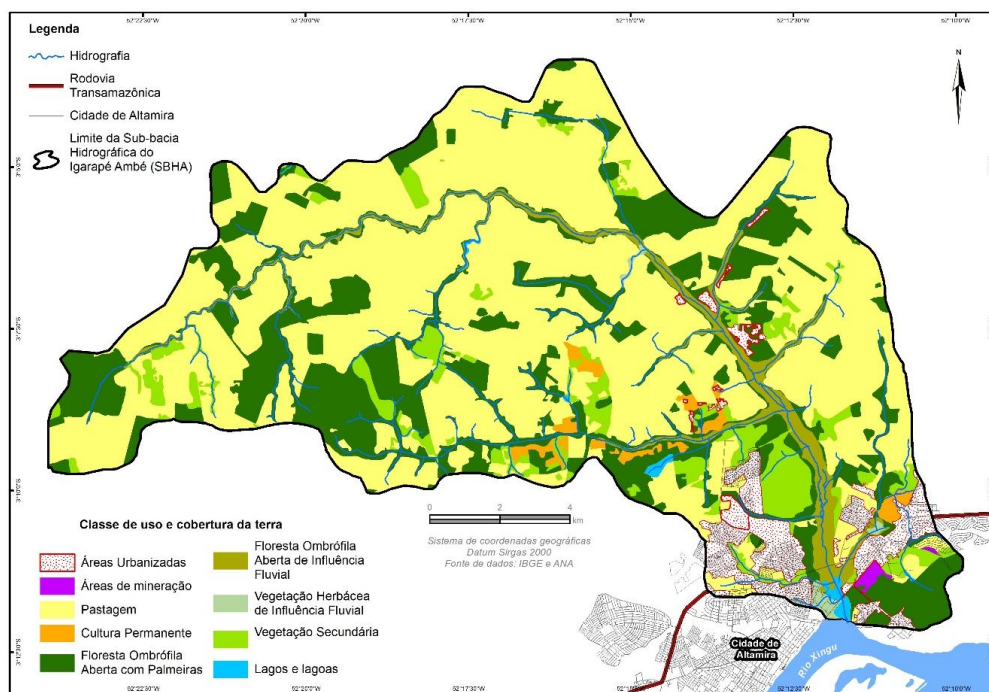
Histórico de uso e cobertura da terra

Com o início da construção da UHE Belo Monte, a área urbana da cidade de Altamira passou a integrar a Área Diretamente Afetada (ADA) e AID da UHE. Nessa perspectiva, as populações que ocupavam estas áreas foram reassentadas nos Reassentamentos Urbanos Coletivos (RUC).

Atualmente, o uso predominante na SBHA 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, conforme apresenta figura 3.

A segunda classe predominante na SBHA é Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras, com 59,23 km², correspondendo a 27% da área em estudo. Apesar de ser uma das fitofisionomias naturais da SBHA, está dispersa em fragmentos florestais remanescentes desconexos. 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 “juquira” 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.

Figura 4: Mapa de uso e cobertura da terra da SBHA.



Fonte: Autoria própria.

A segunda classe predominante na SBHA é Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras, com 59,23 km², correspondendo a 27% da área em estudo. Apesar de ser uma das fitofisionomias naturais da SBHA, está dispersa em fragmentos florestais remanescentes desconexos. 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 “juquira” 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.

Já as áreas urbanizadas correspondem a 10,69 km², 5% da SBHA. Sua maior concentração está no baixo curso nas proximidades do exutório onde estão as áreas urbanas mais densas. Ressalta-se que 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 de Belo Monte.

Por sua vez, a Floresta Ombrófila Aberta de Influência Fluvial é um estrão fitogeográfico a margem das drenagens principais, ocupando uma área de 2,02 km², onde sua maior concentração está na drenagem do Igarapé Ambé.

A Vegetação Herbácea de Influência Fluvial ocupa uma área pequena de 0,84 km², equivalente a 0,4% da SBHA. Este tipo de vegetação ocupa áreas com solos recém-formados provenientes das deposições sedimentos do quaternário. Ainda existem três outras classes de uso e cobertura menos expressivas, sendo elas: Áreas 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.

Compartimentação geocológica

Para delimitação das unidades geocológicas 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).

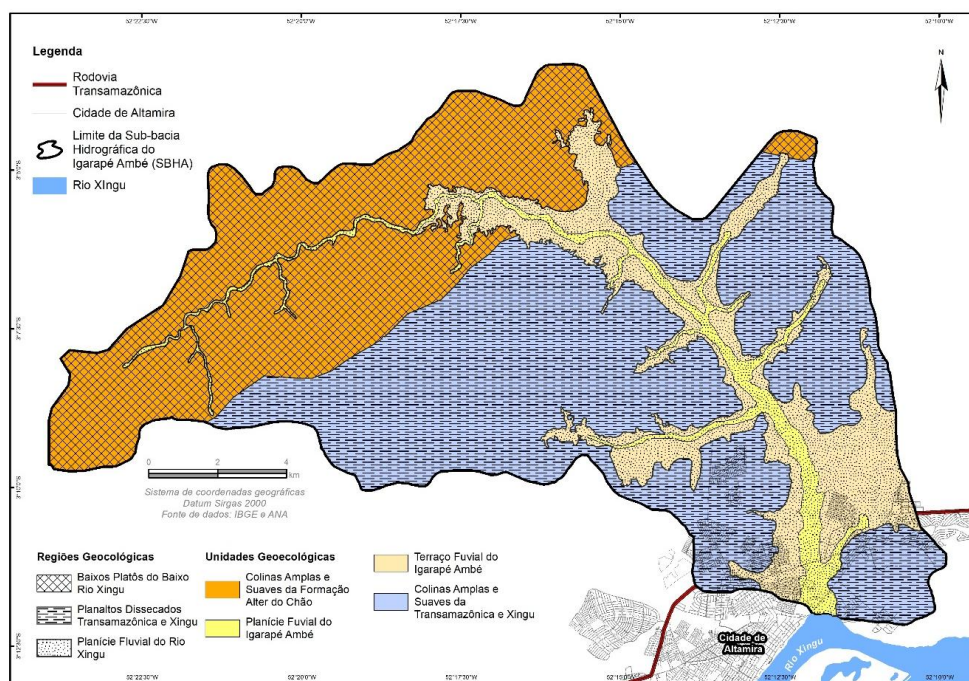
Desta forma, foram mapeadas 4 unidades geocológicas, a Planície Fluvial do Igarapé Ambé, o Terraço Fluvial do Igarapé Ambé, as Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão e Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu. Estas unidades englobam o funcionamento geocológico regional do Baixo Rio Xingu, estando hierarquicamente

subordinadas nas regiões geológicas dos Baixos Platôs do Baixo Rio Xingu, Planaltos Dissecados da Transamazônica e Xingu e Planície Fluvial do Rio Xingu (De Paula et al. 2016), conforme apresenta figura 5.

Após a análise integrada dos componentes geológicos da sub-bacia hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA) e a definição das unidades geológicas, foi possível definir o grau de vulnerabilidade Ambiental da 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 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.

Figura 5 - Unidades Geológicas na SBHA.



Fonte: Autoria própria.

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

A unidade geoecológica (UG) mais abrangente na SBHA é as Colinas Amplas e Suaves da Transamazônica e Xingu com 48% (107,03 km²). São constituídas predominantemente pelas litologias do Diabásio Penatecaua, com manchas restritas do Grupo Curuá. Seu relevo é suave ondulado a ondulado, com modelado de dissecação, erosão laminar em alguns pontos, coma pastagem como uso da terra predominante.

A UG Colinas Amplas e Suaves da Formação Alter do Chão abrange 32% (70,47 km²) da SBHA, compreendem áreas constituídas litologicamente pela Formação Alter do Chão, com o relevo suave ondulado a ondulado, com modelado de 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.

A UG Terraço Fluvial do Igarapé Ambé compreende a 15% (34,16 km²) 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 atuais, fazendo com que as águas não atingissem mais no período de cheia. Apresenta alguns pontos de com erosão laminar. Possui áreas com vegetação formada por vegetação Secundária e fragmentos de Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras.

A UG Planície Fluvial do Igarapé Ambé corresponde apenas 5% (11,09 km²) da SBHA, sendo a unidade de menor abrangência na sub-bacia. É caracterizada por ser área de acumulação

fluvial, por terrenos baixos e planos, formando a atual planície de inundação do igarapé Ambé e afluentes, conhecido como igapós. 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. Possuem as maiores larguras no médio e baixo curso, chegando a alcançar 900 metros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa demonstram que a Geoecologia das Paisagens constitui uma ferramenta consistente para a análise integrada de sistemas ambientais, permitindo compreender a organização, a dinâmica e a vulnerabilidade das unidades paisagísticas da Sub-bacia Hidrográfica do Igarapé Ambé (SBHA). A abordagem mostrou-se especialmente pertinente diante do crescente uso dos recursos naturais e da presença de grandes obras de infraestrutura na região amazônica.

A compartimentação geocológica permitiu identificar que 45% da área apresenta predomínio de processos morfogenéticos e que 29% estão em condição ecodinâmica intermediária, caracterizando equilíbrio delicado entre morfogênese e pedogênese. Esses resultados reforçam que a vulnerabilidade ambiental da sub-bacia resulta da interação entre limitações naturais, como declividades acentuadas, solos suscetíveis à saturação e processos fluviais ativos, e pressões antrópicas recentes, como conversão extensiva para pastagens e expansão urbana.

A unidade de Planície Fluvial do Igarapé Ambé apresenta o cenário mais crítico, com cerca de 96% de sua área enquadrada como de vulnerabilidade muito alta. Essa condição deriva tanto da instabilidade inerente aos ambientes fluviais quanto das modificações após a implantação de Belo Monte.

Em síntese, o funcionamento geocológico da SBHA é condicionado pela combinação entre características naturais e vetores de transformação territorial. A análise evidencia que a abertura da Transamazônica estruturou a ocupação das áreas de colinas, enquanto a Usina Belo Monte redefiniu a dinâmica fluvial do médio e baixo curso. O diagnóstico elaborado oferece

subsídios importantes para o planejamento ambiental, orientando práticas de manejo e conservação compatíveis com as limitações e potencialidades de cada unidade geocológica e contribuindo para a mitigação de processos de instabilidade ambiental na região.

REFERÊNCIAS

BECKER, B. K. Síntese do processo de ocupação da Amazônia: Lições do passado e desafios do presente. In: BRASIL (Ed.). **Causas e efeitos dos desmatamentos na Amazônia**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAM – Folha SA.22 Belém: Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro, 1974a.

Câmara G, Carvalho MS, Cruz OG, Correia V. Análise espacial de áreas. In: Druck S, Carvalho MS, Câmara G, Monteiro AMV, editores. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa; 2004.

CALVI, M. F. **(Re)organização produtiva e mudanças na paisagem sob influência da Hidrelétrica de Belo Monte**. 2019. 145 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

CUNHA, L. D. **GEOECOLOGIA DAS PAISAGENS: SUBSÍDIOS SUSTENTÁVEIS DO GEOECOTURISMO NO PARQUE NACIONAL DO VIRUÁ – RORAIMA**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza.

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

DE PAULA, E. M. S. **Paisagem fluvial amazônica: geocologia do Tabuleiro do Embaubal – Baixo rio Xingu**. 2017. 157 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

FARIAS, J. F. **Aplicabilidade da geocologia das paisagens no planejamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Palmeira – Ceará, Brasil**. 2015. 222 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 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. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680–688, jun. 2005.

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

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário de geologia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013b.

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

LEME ENGENHARIA. **Diagnóstico das áreas de influência direta e diretamente afetada do meio físico. Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte**. 2009. 197 p.

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**, v. 62, n. 4, p. 283–294, 2007.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

MONTEIRO, M. A. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 187–207, 2005.

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

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

NORTE ENERGIA. **Projeto de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas: 3º Relatório Consolidado**. Vitória do Xingu, 2013.

OLIVEIRA, R. D. **Dinâmica de inundação das planícies fluviais do rio Xingu na região do complexo hidrelétrico de Belo Monte – Altamira (PA)**. Tese (Doutorado em Geografia) – UNESP, Presidente Prudente.

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

TEIXEIRA, N. F. F. **ANÁLISE GEOECOLÓGICA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE TEJUÇUOCA- CEARÁ**. 2018. Mestrado (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará.

VENTURIERI, A. **A Dinâmica da ocupação pioneira da Rodovia Transamazônica: Uma abordagem de modelos de paisagem**. 2003. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo.

VIDAL, M. R. **Geocologia das paisagens: fundamentos e aplicabilidades para o planejamento ambiental no baixo curso do rio Curu – Ceará – Brasil**. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.