

**APLICABILIDADE DA GEOECOLOGIA DAS PAISAGENS NA
COMPARTIMENTAÇÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PURAQUEQUARA (SBHRP), MANAUS (AM)**

*Applicability of landscape geoecology in the compartmentation of environmental systems of
the puraquequara river sub-basin (sbhrp), Manaus (AM)*

*Aplicabilidad de la Geoecología del Paisaje en la compartimentación de los Sistemas
Ambientales de la Cuenca Sub-hidrográfica del Río Puraquequara (SBHRP), Manaos (AM)*

Renato Kennedy Ribeiro Neves¹

Carlos Alexandre Leão Bordalo²

Maria Rita Vidal³

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo realizar compartimentação e caracterização dos sistemas ambientais da sub-bacia hidrográfica do Rio Puraquequara (BHRP) sob os aportes teóricos e metodológicos da Geoecologia das Paisagens. A caracterização das unidades geológicas, geomorfológicas e pedológicas, além das variáveis hipsométricas, declividade e cobertura vegetal constituíram os atributos analisados nesse estudo. A sub-bacia está localizada no extremo leste do município de Manaus (AM). A expansão urbana para zonas norte e leste da cidade, concomitante à implantação Sistema Viário Anel Leste e crescimento do setor naval, são as principais intervenções que atuam neste recorte geográfico. A formação Alter do Chão representou 603,61 km² (88,20%), geomorfológicamente são predominantes as feições de vertentes incisivas e platôs com variação altimétrica entre 60 e 90 m (40,27%). Os dados hipsométricos mais expressivos estão na faixa de 63-83 e 83-105 metros de altitude. A declividade foi predominante para classe suave ondulado, ocupando uma dimensão territorial de 387,73km² (55,93%). O latossolo amarelo cobre 92,92% e a floresta ombrófila densa de terras baixas com dossel emergente ocupa 68,40% da bacia. Foram delineados três sistemas ambientais: terras altas, terras médias e terras baixas. Portanto, a análise dos atributos contribuiu para caracterização dos aspectos estruturais e funcionais que integram a bacia.

Palavras-Chave: Bacia hidrográfica. Unidade espacial. Geomorfologia.

ABSTRACT

The present study aims to compartmentalize and characterize the environmental systems of the Puraquequara River sub-basin (BHRP) under the theoretical and methodological contributions of Landscape Geoecology. The characterization of the geological, geomorphological and pedological units, in addition to the hypsometric variables, slope and vegetation cover constituted the attributes analyzed in this study. The sub-basin is located in the extreme east of the municipality of Manaus (AM). Urban expansion to the north and east of the city, concomitant with the implementation of the East Ring Road System and the growth of the naval sector, are the main interventions operating in this geographical area. The Alter do Chão formation represented 603.61 km² (88.20%), geomorphologically, the features of incisive slopes and plateaus with altimetric variation between 60 and 90 m (40.27%) are predominant. The most expressive hypsometric data are in the range of 63-83 and 83-105

¹Universidade Federal do Pará (UFPA); E-mail: renato.neves@seducam.pro.br

²Universidade Federal do Pará (UFPA); E-mail: carlosbordalo@gmail.com

³Universidade Federal do Pará (UFPA); E-mail: ritavidal@unifesspa.edu.br

meters of altitude. The slope was predominant for the gentle undulating class, occupying a territorial size of 387.73km² (55.93%). The yellow oxisol covers 92.92% and the dense lowland rainforest with emergent canopy occupies 68.40% of the basin. Three environmental systems were outlined: highlands, midlands and lowlands. Therefore, the analysis of attributes contributed to the characterization of the structural and functional aspects that make up the basin.

Keywords: Watershed. Spatial unit. Geomorphology.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo compartimentar y caracterizar los sistemas ambientales de la subcuenca del río Puraquevara (BHRP) bajo los aportes teóricos y metodológicos de la Geoecología del Paisaje. La caracterización de las unidades geológicas, geomorfológicas y edafológicas, además de las variables hipsométricas, declividad y cobertura vegetal constituyeron los atributos analizados en este estudio. La subcuenca está ubicada en el extremo este del municipio de Manaus (AM). La expansión urbana hacia el norte y este de la ciudad, concomitante con la implementación del Sistema Viário Anel Leste y el crecimiento del sector naval, son las principales intervenciones que operan en esta área geográfica. La formación Alter do Chão representó 603,61 km² (88,20%), geomorfológicamente predominan las características de vertientes incisivas y mesetas con variación altimétrica entre 60 y 90 m (40,27%). Los datos hipsométricos más expresivos se encuentran entre 63-83 y 83-105 metros de altitud. La declividad fue predominante para la clase de ondulado suave, ocupando una extensión territorial de 387,73km² (55,93%). El oxisol amarillo cubre el 92,92% y el denso bosque lluvioso de tierras bajas con dosel emergente ocupa el 68,40% de la cuenca. Se delinearón tres sistemas ambientales: tierras altas, tierras medias y tierras bajas. Por lo tanto, el análisis de atributos contribuyó a la caracterización de los aspectos estructurales y funcionales que conforman la cuenca.

Palabras clave: Cuenca. Unidad espacial. Geomorfología.

1. INTRODUÇÃO

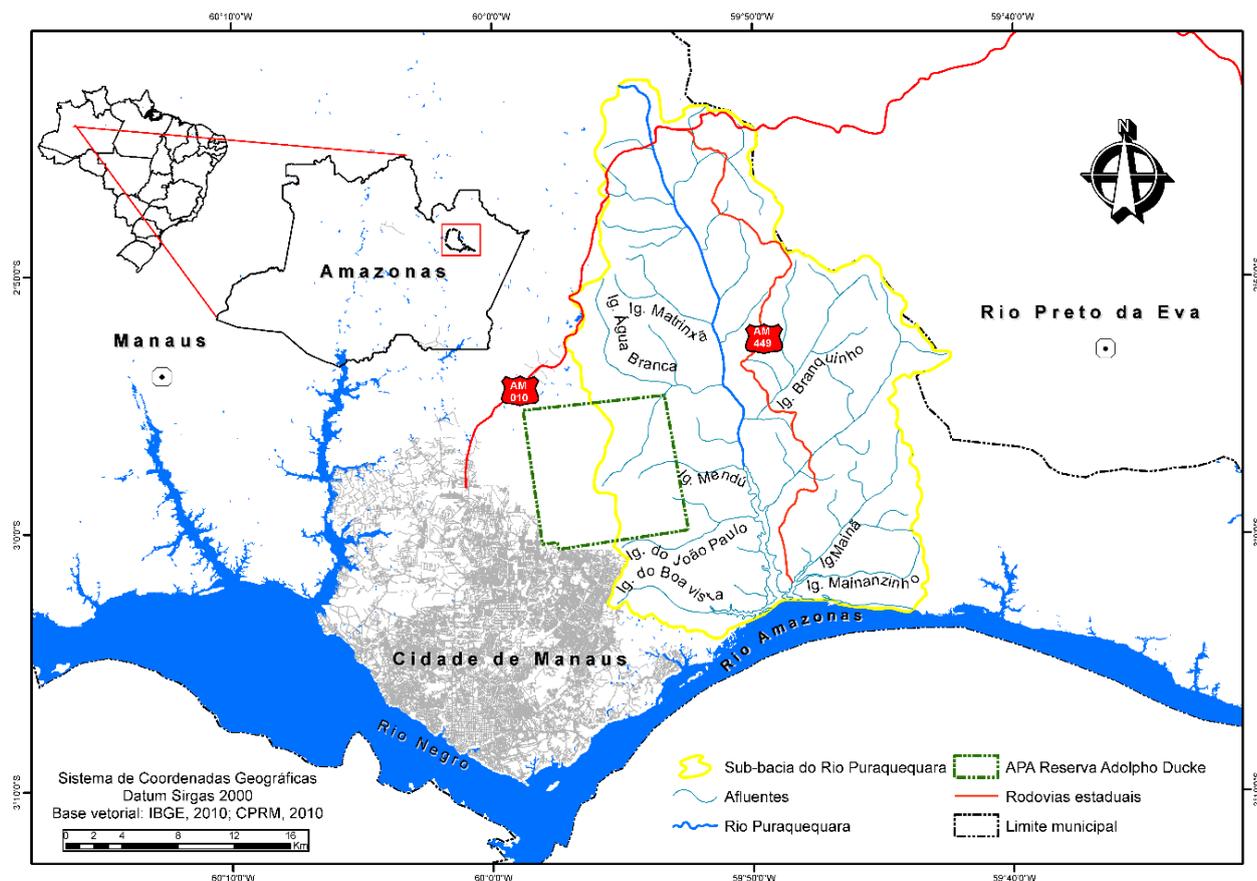
A água é um recurso natural essencial para o fortalecimento da economia, o equilíbrio da biodiversidade e a vitalidade da sociedade contemporânea. O seu estado de qualidade produz benefícios que resultam na preservação dos ecossistemas, no bem-estar social e na manutenção dos segmentos produtivos de um país, um Estado ou uma cidade. No Brasil, o processo de urbanização impulsionado pela industrialização geminou novas configurações socioespaciais. O crescimento do contingente populacional nos centros urbanos, a expansão das indústrias e a mecanização do campo ampliaram consideravelmente a demanda por água no país.

A degradação dos recursos hídricos tem gerado mudanças na qualidade da água de alguns estados brasileiros. Os conflitos pela água, sobretudo emergindo do sudeste brasileiro, faz com que se tornem [...] “cada vez mais relevantes e importantes estudos que visam garantir a conservação do ambiente, principalmente dos cursos d’água, que vem sofrendo constantes degradações por ações antrópicas” (TROMBETA E LEAL, 2016, p.188). Uma das principais áreas de estudo para compreensão desse processo é a ciência geográfica, pois estuda “a sociedade e as modificações que estes desenvolvem na paisagem, a partir da

dinâmica antrópica de construção, reordenamento dos espaços físicos e atividades econômicas” (TEIXEIRA *et al.*, 2017, p.148). Nesse campo, uma forma de compreender a qualidade ambiental dos corpos hídricos é adotando a bacia hidrográfica como unidade espacial, pois “permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem” (Botelho e Silva, 2014, p.153). Nesta situação, a Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara (BHRP), afluente da margem esquerda do Rio Amazonas, vem apresentando uma complexa transição rural-urbana em suas paisagens, o que vem gerando alterações dos seus componentes naturais e modificando, especialmente, seu elemento vital, a água.

Uma forma de analisar e compreender essas transformações espaciais em bacias hidrográficas é por meio da aplicação da Geoecologia das Paisagens, “pois a partir da sua abordagem integrada é possível realizar investigações que consideram a bacia como um sistema dinâmico e integrado pela ação de diversos componentes” (FARIAS, 2020, p. 21). O presente estudo tem como objetivo realizar a compartimentação e a caracterização dos sistemas ambientais da SBHRP (Figura 1) sob os aportes teóricos e metodológicos da Geoecologia das Paisagens e subsidiar a gestão dos recursos hídricos integrada à gestão ambiental.

Figura 1 - Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara (SBHRP).



Fonte: Autoria própria, 2024.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa está sendo baseado metodologicamente nas fases de aplicação da Geoecologia das Paisagens definida por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2017), são sequenciadas em quatro etapas, porém, neste estudo, serão aplicadas as fases: organização e inventário; análise e diagnóstico.

2.1 Fase de Organização e Inventário

Essa fase compreendeu as análises iniciais dos materiais compilados e organizados ao longo da primeira etapa da pesquisa, os quais contribuíram para a descrição dos aspectos gerais da bacia, assim como forneceram aportes teóricos-metodológicos para delineamento

dos atributos geográficos da BHRP. Foram elaborados os mapas temáticos, tendo como base os dados geoespaciais nos formatos matricial e vetorial, conforme observado no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados geoespaciais aplicados na caracterização geográfica da SBHRP.

FORMATO	ATRIBUTOS	FONTE	ESCALA/RESOLUÇÃO ESPACIAL
Vetorial	Geologia	CPRM/Cartas Geológicas: folhas AS.21-Y-A (Rio Uatumã) e AS.21-Y-C (Manaus – E)	1:250 000
	Geomorfologia		
	Pedologia		
	Cobertura Vegetal	IBGE/Banco de Dados e Informações Ambientais	1: 250 000
Matricial	Hipsometria	INPE/TOPODATA: Folha SD 02S60	1: 250 000/ 30 m
	Declividade		

Fonte: Autoria própria.

2.1.2 Processamento

Os dados foram processados no Sistema de Informação Geográfica (SIG), *software Arcgis 10.8*. As vetoriais foram reprojctadas para o Datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (Sirgas) 2000 e o Sistema de Coordenadas Planas (UTM), zona 21 Sul.

O recorte da área foi realizado com a sobreposição da poligonal da BHRP, tal procedimento foi feito por meio da função *Analysis>clip*. Na *Open Attribute Table*, foram criados três campos: área total (km²), área coberta (km²) e porcentagens (%), consecutivamente, utilizou-se da *calculate geometry* para quantificação e preenchimento da tabela de atributos.

As condições de declividade foram classificadas conforme a proposta de Santos *et al.* (2018), que determina seis classes de declividade para as formas de modelados, porém, neste estudo, foram adotadas as classes: plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado e forte ondulado

Para os sistemas ambientais, foram delineadas variáveis geomorfológicas e hipsométricas, ambas no formato vetorial. Foi realizada a setorização das formas de modelados, posteriormente sobreposta as altitudes do terreno. Sob análise espacial e considerando as funções geocológicas das paisagens, foi realizada a reclassificação, gerando três sistemas ambientais: terras altas, terras médias e terras baixas.

2.2 Fase de análise e diagnóstico

Essa etapa objetivou analisar e caracterizar os atributos ambientais da BHRP, como também compreender as relações dialéticas entre os aspectos verticais das paisagens e as influências antrópicas na dinâmica estrutural e funcional da área de estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Geologia

A Sub-bacia hidrográfica do rio Puraquequara (BHRP), espacialmente, apresenta três unidades geológicas na sua área de abrangência, as formações Alter do Chão, Belterra e Depósitos Aluvionares de Planície Aluvial. A Tabela 1 destaca as variações das unidades em km² e em porcentagem, respectivamente.

Tabela 1- Área e porcentagem das Unidades Geológicas da SBHRP, Manaus – AM.

Unidade Geológica	Área em (km ²)	Porcentagem (%)
Alter do Chão	603,61	88,20
Belterra	65,42	9,56
Depósitos Aluvionares de Planície Aluvial	15,31	2,24
Total	684,35	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A unidade geológica que apresenta predominância na bacia é a formação Alter do Chão, originada do período Cretáceo da Bacia do Amazonas (Silva, 2020), “composta de arenitos avermelhados, argilitos, conglomerados e brechas intraformacionais, tradicionalmente atribuídas a sistema fluvial e lacustre ou deltaico” (LIMA E ANDRETTA, 2015, p. 3). Essa unidade estratigráfica ocupa uma área de aproximadamente 603,61 km², o que equivale a 88,20% da bacia hidrográfica, abrange a área das sub-bacias de todos os afluentes do rio Puraquequara.

A formação Belterra representou a segunda unidade predominante na bacia. A *Belterra Clay* (argila de belterra) foi denominada por Sombroek (1966) para designar a cobertura argilosa identificadas em áreas de platôs do município de Belterra (PA). Segundo o autor, a deposição da argila deve ter ocorrido durante o primeiro soergimento da Cordilheira dos Andes. Ao observar a composição e as alterações horizontais e verticais de textura, há suposição de que os materiais são de origem lacustre (SOMBROEK, 1966). Riker *et al.* (2016), ao analisar o trabalho do autor, define que a cobertura argilosa é proveniente da região

andina de idade pliocena a pleistocena.

A unidade geológica ocupa cerca de 65,42 km² (9,56%), conforme a Tabela 1. Os Depósitos Aluvionares de Planície Aluvial representaram 15,31 km², o que corresponde a 2,20% (Tabela 1) da área de estudo. Conforme a Figura 2, essa formação margeia cerca de 16 km da calha do rio Puraquequara, funcionando no período da cheia como planície de inundação. De acordo com a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (2010), a estratigrafia é do período holoceno, composta por sedimentos e cascalhos inconsolidados.

3.2 Geomorfologia

A área de estudo, segundo a CPRM (2010), é composta pelos compartimentos geomorfológicos de Baixos Platôs Dissecados, representando 46,33 km², e por Domínios de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos, ocupando cerca de 624,84 km² da bacia. Estudos realizados por Furtado (2020) definiram, para bacia do rio Puraquequara, quatro unidades geomorfológicas, conforme destaca a Tabela 2.

Tabela 2 – Área e porcentagem das Unidades Geomorfológicas da BHRP, Manaus (AM).

Unidade Geomorfológica	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Planície de inundação e terraços ativos – até 30 metros	34,14	5,03
Terraços antigos e vertentes – até 60 metros	157,92	23,08
Vertentes incisivas e platôs – até 90 metros	274	40,27
Platôs – a partir de 120 metros	215	31,62
Total	687,01	100,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As vertentes incisivas e platôs de até 90 m cobriram uma área de 274 km², em percentuais, 40,27% do recorte de estudo (Tabela 2). No alto curso, está encaixada em áreas de platô de até 120 m, onde estão concentradas as principais nascentes da rede hidrográfica. No médio curso, está localizada de forma intermediária entre as áreas de platôs e terraços antigos com vertentes de até 60 m. Já no baixo curso, funcionam como zonas de interflúvio das microbacias do igarapé do João Paulo e do Boa Vista.

Considerada a unidade mais elevada da bacia do rio Puraquequara, os platôs a partir

de 120 m concentram-se em setores do divisor topográfico, especificamente no alto e médio curso. Esta unidade ocupa 215 km², correspondendo 31,62 % da bacia hidrográfica (Tabela 2). Na área urbana, entre os bairros Jorge Teixeira e Distrito Industrial, são ocupados por residências, aglomerados subnormais, prédios comerciais, prédios industriais e pelo sistema viário.

Os terraços antigos e vertentes de até 60 m ocupam uma extensão de aproximadamente 157,92 km², compondo 23,08% (Tabela 2) da área de analisada, e, espacialmente, estão paralelos à unidade de planície de inundação e de terraços ativos. Segundo Furtado (2020), essa unidade é composta por areias médias a grossas e possuem ângulos entre 38° e 42° de inclinação, porém essas características podem variar ao longo da bacia.

A planície de inundação e terraços ativos com altimetria de até 30 metros, corresponderam a 34,14 km² (5,03%) da área de estudo (Tabela 2). A unidade apresenta morfologias distintas em seus segmentos: a jusante, a planície tem o perfil alargado e se entende até desaguar no rio Amazonas; nas áreas a montante são raras e quando ocorrem apresentam extensões pequenas. Furtado (2020) descreve que o solo varia na sua composição de argilas e areias e são cobertos por vegetação gramínea e arbustos. A montante ocupa pequenas extensões dos tributários, com predomínio de argila branca, em alguns pontos são ocupadas por empreendimento do ramo do turismo e da piscicultura.

3.2 Hipsometria

Esta variável informa as faixas altimétricas e sua influência no funcionamento das unidades geomorfológicas, apontando áreas que estão susceptíveis a processos de erosão e sedimentação, como as ocupações irregulares assentadas sobre zonas de platôs, vertentes e planícies de inundação. Os dados hipsométricos variaram entre 1 e 144 metros, conforme é observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Áreas e porcentagem das classes de cotas altimétricas da SBHRP, Manaus – AM.

Classe Hipsométrica	Área (km ²)	Porcentagem (%)
1 – 41	76,01	10,96
41 – 63	150,26	21,67
63 – 83	186,04	26,82
83 – 105	174,69	25,19
105 – 144	106,37	15,34
Total	693,39	100,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As cotas de maior altitude na área de estudo, entre 105 e 144 metros (15,34%), são representadas pelos divisores topográficos, sendo expressivas nos setores do alto e médio curso do rio Puraquequara. Nesse ambiente, localiza-se a parte central da Área de Proteção Ambiental Adolpho Ducke, que exerce influência na proteção das nascentes dos afluentes da margem direita, sobretudo dos igarapés do Mendú e Água Branca, que estão sobre intervenção de vetores de interiorização como a rodovia estadual AM-010, ramais e estradas.

Na margem esquerda, na divisa dos municípios de Manaus e Rio Preto da Eva, há preservação dos componentes físicos-ambientais, indicando a estabilidade, áreas de platôs e vertentes. As áreas de risco por movimento de massa localizadas no bairro Jorge Teixeira, especificamente na porção sudoeste da bacia do Puraquequara, apresentaram cotas médias, variando entre 83m e 105 m.

As altitudes entre 63m e 83m e 83m a 105m ocuparam a maior parte da extensão territorial da bacia, 186,04 km² (26,82%) e 174,69 km² (25,19%), respectivamente. Espacialmente, representaram as áreas de terraços antigos, vertentes e de platôs. As menores altitudes variaram entre 1m e 41 m, espacialmente, correspondendo ao leito do rio principal e dos seus tributários. Os dados altimétricos entre 41m e 63m estão presentes em unidades de terraços antigos e vertentes de até 60 m.

3.3 Declividade

A análise do fator declividade de uma bacia hidrográfica é necessária para a caracterização das potencialidades e fragilidades das unidades de paisagens, bem como as variações que fazem a mobilização de matéria no sistema. A compreensão desta variável pode revelar “o grau de vulnerabilidade a processos erosivos, a velocidade do escoamento

superficial e subsuperficial (COSTA, 2017, p. 170)”, podendo contribuir com o planejamento ambiental, apontando recomendações e limitações para as unidades. A classificação da declividade da bacia hidrográfica do rio Puraquequara apontou a ocorrência de quatro classes, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Área e porcentagem de classes de declividade da SBHRP, Manaus – AM.

Classe (%)	Área em (km ²)	Porcentagem (%)
0 – 3 (Plano)	149,12	21,50
3 – 8 (Suave ondulado)	387,73	55,93
8 – 20 (Ondulado)	156,32	22,54
20 – 24 Forte ondulado	0,17	0,03
Total	693,39	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A classe de relevo Suave ondulado na BHRP representou um percentual de 55,93%, de acordo com a Tabela 4, equivalendo a uma dimensão territorial de aproximadamente 387,73 km², o que corresponde a mais da metade da área da estudada. É predominante na topografia das microbacias, porém sua espacialidade abrange de forma contínua os terrenos dos igarapés do Mainã, Água Branca e Matrinxã.

A classe de relevo Ondulado, que apresenta declividade entre 8% e 20%, representou 22,54% da área total da bacia, indicando uma abrangência territorial de 156,32 km². Essas formas topográficas estão presentes em todas as sub-bacias, concentrando-se especificamente nas zonas de nascentes e nos interflúvios.

O relevo de declividade Plano (0% -3%) foi apontado pelo estudo como a terceira classe predominante na BHRP, significando um percentual de 21,50 %, o que correspondeu a 149,12 km² da área total. A classe está presente na calha do rio principal e de seus afluentes.

As áreas de topografia Forte ondulado corresponderam 0,17 km² (0,03%) da BHRP, após a sobreposição, foram identificadas formas pontuais sobre o estrato superior de cobertura floresta primária das microbacias dos igarapés do Mendú e do Água Branca.

3.4 Solos

Na BHRP, foram identificadas três classes de solos, os latossolos amarelos, os neossolos quartzarênicos hidromórficos e neossolos flúvicos, conforme é observado na Tabela 5.

Tabela 5 – Área e porcentagem dos Tipos de solo SBHRP, Manaus – AM.

Classe (%)	Área em (km ²)	Porcentagem (%)
Latossolos amarelos	672,09	96,92
Neossolos quartzarênicos hidromórficos	10,58	1,52
Neossolos flúvicos	0,46	0,06
Total	683,13	98,5

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

O solo do tipo latossolo amarelo abrange toda extensão territorial de terra firme da bacia do rio Puraquequara, sua extensão representa 96,92%, correspondendo a um total de 672,09 km² da BHRP. No Amazonas, esse tipo de solo tem potencial para a agricultura e a pecuária, a depender das propriedades do relevo, suas limitações decorrem da baixa fertilidade e da acidez elevada, sendo necessária a aplicação de corretivos e adubos orgânicos e inorgânicos (MAIA E MARMOS, 2010).

Os neossolos quartzarênicos hidromórficos estão espacialmente concentrados na calha do rio Puraquequara e em trechos da planície de inundação. Em percentuais, essa unidade corresponde a 1,52%, da área, equivalente a 10,58 km² da bacia. São profundos, “com espessura superior a 50 cm, de textura arenosa por todo o solo, e, praticamente, ausência de minerais primários” (MANZATTO; JUNIOR; PERES, 2002, p. 21).

Os neossolos flúvicos são a menor unidade pedológica da bacia, compreendendo 0,46 km² (0,06%) da área de estudo. Estão concentrados na foz do rio Puraquequara, especialmente, formam bancos arenosos que evoluem para ilhas florestadas. São solos que estão associados a diques fluviais. No Estado do Amazonas, ocorrem nas margens de rios e lagos, com elevada fertilidade natural, sendo importantes para a produção da agricultura familiar (MAIA E MARMOS, 2010).

3.5 Cobertura Vegetal

O IBGE (2023) classifica as vegetações que compõem as paisagens da BHRP em: floresta ombrófila densa aluvial com dossel emergente; floresta ombrófila densa das terras baixas; floresta ombrófila densa das terras baixas com dossel emergente; e vegetação secundária sem palmeiras. Na Tabela 6, estão distribuídas de forma espacial as fisionomias e quantificação de área coberta.

Tabela 6 – Área e porcentagem da cobertura vegetal da SBHRP, Manaus (AM).

Tipo de Cobertura Vegetal	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Floresta ombrófila densa aluvial com dossel emergente	9,81	1,42
Floresta ombrófila densa das terras baixas	58,31	8,44
Floresta ombrófila densa das terras baixas com dossel emergente	472,36	68,40
Vegetação secundária sem palmeiras	82,03	11,87
Influência antrópica	57,92	8,38

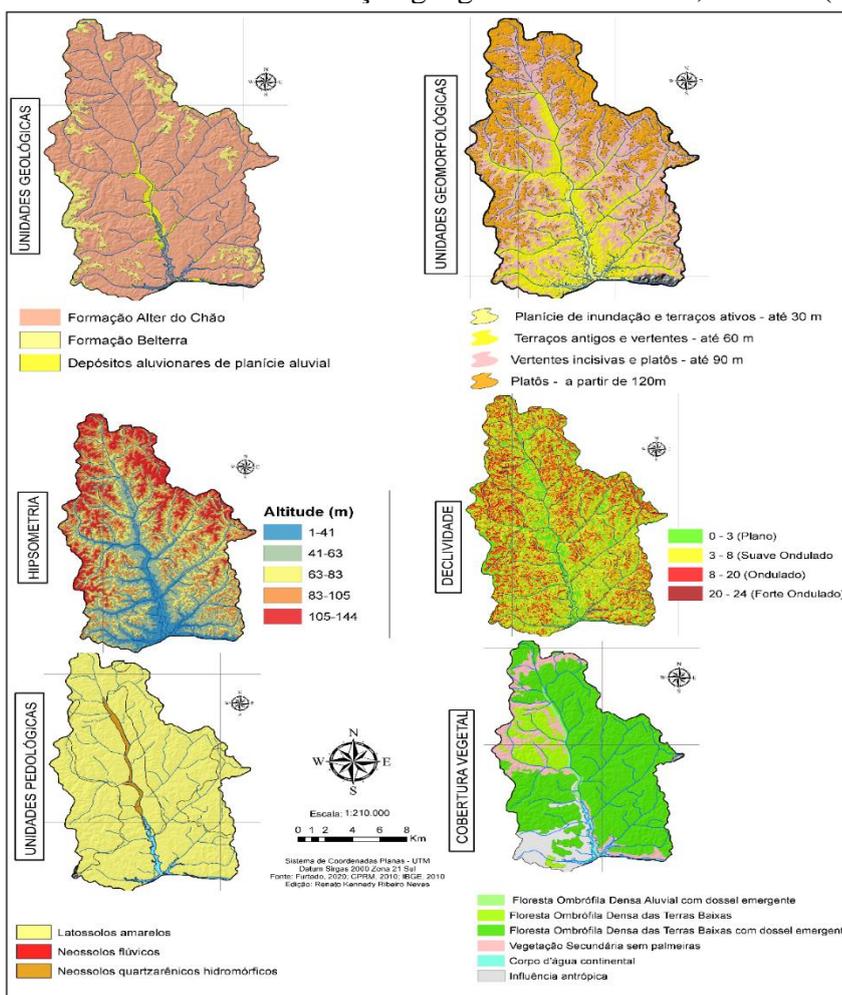
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A floresta ombrófila densa das terras baixas com dossel emergente é a fisionomia predominante na bacia hidrográfica do rio Puraquequara, ocupa uma área contínua, sobretudo na margem esquerda e fragmentada na margem direita. Representa uma área de aproximadamente 472,36 km², o equivalente a 68,40% da dimensão total da bacia, espacialmente, a floresta cobre modelados de platôs e vertentes, com variações topográficas entre 60m e 144 m.

A floresta ombrófila densa das terras baixas abrange 58,31 km² (8,44%) da superfície de platôs e vertentes, entre 60m e 144 m de altitude, está distribuída de forma irregular sobre as microbacias do igarapé do Matrinxã e Água Branca, margem direita. Ao longo do canal principal, entre o médio e alto curso, a floresta ombrófila densa aluvial com dossel emergente assume um padrão linear em ambientes de terraços e vertentes de até 60 m de altimetria.

A vegetação secundária compreende áreas de supressão vegetal, parcialmente em estado de regeneração. Ocupa 82,03 km², o equivalente 11,87% da dimensão total da bacia, manifesta-se por contornos geométricos regulares e irregulares sobre modelados de platôs, vertentes e terraços antigos. Integra essa fisionomia um mosaico de ocupações rurais, com predominância de atividades voltadas para a agricultura de subsistência e comercial. Complementam esses aspectos, as atividades de piscicultura, caracterizadas por tanques escavados e barramento de igarapés. Na Figura 2, foram representadas as características geográficas verticais da BHRP por meio dos mapas temáticos.

Figura 2 – Síntese da caracterização geográfica da SBHRP, Manaus (AM).



Fonte: Autoria própria, 2024.

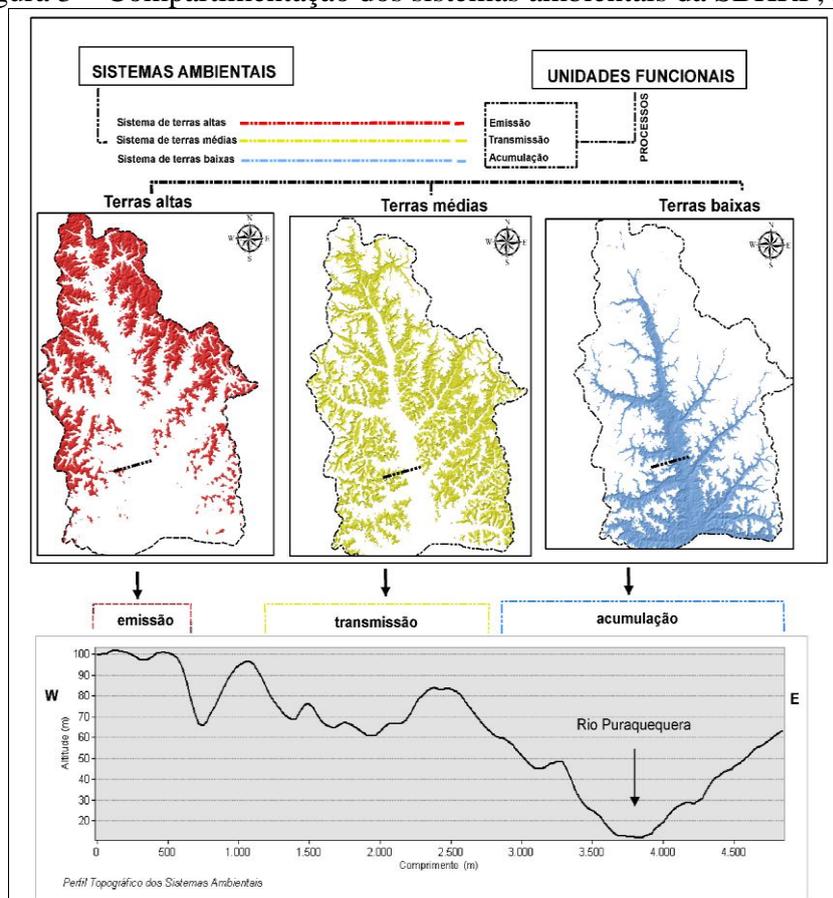
3.6 Sistemas Ambientais

A bacia hidrográfica do rio Puraquequara é caracterizada por um conjunto de paisagens que se configuraram ao longo dos anos sob influências de processos naturais. A recente transição no modo de vida dos comunitários e ribeirinhos, a partir dos anos de 1960 (COELHO, 2006), potencializada pela implantação de parques industriais e o concomitante crescimento populacional, produziu novos arranjos espaciais no perímetro da bacia. Aglomerados subnormais, criação de áreas de preservação e militar, conjunto de unidades agrícolas, ampliação do sistema viário, implantação da indústria naval e o avanço da piscicultura por meio de tanques escavados caracterizam as interfaces do mosaico de

paisagens que compõem os sistemas ambientais da bacia hidrográfica do rio Puraquequara.

Os sistemas ambientais, segundo Vidal *et al.* (2022), condicionam a circulação de matéria e de energia para que as funções de estrutura e organização espacial das paisagens permaneçam em equilíbrio. Na área de estudo, foram identificadas, a partir do gradiente topográfico, três sistemas ambientais (Figura 3) que dinamizam os aspectos funcionais das paisagens da bacia do Puraquequara: 1) terras altas (emissão); 2) terras médias (transmissão); e 3) terras baixas (acumulação), conforme é observado na Tabela 7.

Figura 3 – Compartimentação dos sistemas ambientais da SBHRP, AM.



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Tabela 7 – Distribuição dos sistemas ambientais da SBHRP, Manaus – Amazonas.

Sistemas ambientais	Área total em (km ²)	Variação das cotas topográficas (m)	Área total (%)
Terras altas	217,54	90 – 144	31,37
Terras médias	276,65	60 – 90	39,89
Terras baixas	199,24	1 – 60	28,73

Fonte: INPE (2011). Elaborado pelos autores.

3.6.1 Sistema de terras altas (unidades emissoras)

São determinantes na geração de fluxo de matéria e energia para as unidades de paisagens com cotas altimétricas mais baixas, estabelecendo conectividade com a planície de inundação do rio principal e seus afluentes, terraços ativos e antigos, vertentes e platôs de até 90 m. Consideradas as variações topográficas mais elevadas da bacia, as terras altas fornecem fluxos de escoamento hídrico superficial e subsuperficial, gerando sedimentos e a ciclagem de nutrientes, tornando-se essencial para a manutenção da dinâmica das paisagens (VIDAL *et al.*, 2022). O sistema de terras altas corresponde, de acordo com a Tabela 7, a aproximadamente 31,37% da bacia. Essa área abrange platôs cobertos por extensas florestas ombrófilas com dossel emergente. No alto curso, em alguns pontos, eles são revestidos de floresta secundária e solo exposto (Figura 4), condicionado pela implantação da rodovia AM 010 (Manaus-Rio Preto da Eva), e apresentam declividade variando entre suave-ondulado e ondulado, com predominância de latossolo amarelo. Nesse sistema, foi observado a presença de atividade de piscicultura em tanques escavados (Figura 4a); a rodovia AM 010 (Figura 4b), que permite o acesso a bacia por meio das estradas vicinais; a ocupação urbana de áreas de platôs, no bairro Jorge Teixeira (Figura 4c), e ambientes de solo exposto à margem da rodovia.

Figura 4 – Aspectos gerais das paisagens identificadas na SBHRP, Manaus (AM).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

3.6.2 Sistema de terras médias (*unidades transmissoras*)

A dinâmica funcional das paisagens do sistema de terras médias (Figura 5) é executada pela transmissão de fluxo de matéria, energia e informação. São potencializadas por geofluxos gravitacionais, hídrico subterrâneo e hídrico-fluvial, pois há conectividade da estrutura-funcional entre a terra firme e a várzea. As terras médias representam a maior extensão territorial dos sistemas ambientais, abrangendo aproximadamente 39,89% da área de estudo (Tabela 7). As cotas altimétricas variam entre 60 m e 90 m. A geomorfologia é caracterizada por vertentes e platôs cobertos por florestas ombrófila densa de terras baixas com dossel emergente e são expressivas longitudinalmente na margem esquerda, compondo os interflúvios das microbacias e abrangendo terras da Área de Proteção Ambiental Reserva Adolpho Ducke, localizada na margem direita do rio Puraquequara. As paisagens são constituídas por latossolo amarelo. A declividade predominante varia de forma expressiva de suave-ondulado a ondulado, tal fator contribui para expansão de tanques escavados, conforme observado na Figura 5e.

Na área urbana, determinados fragmentos de mancha urbana e solo exposto são ocupados por moradias irregulares, impulsionadas pelo crescimento populacional dos últimos anos. A comunidade indígena Novo Horizonte (Figura 5f), na divisa entre os bairros Jorge

Teixeira e Distrito Industrial II, comporta aproximadamente 800 famílias (CAMPOS FILHO, *et al.*, 2023) que ocupam áreas de vertentes, potencializando o surgimento de incisões erosivas (ravinas e voçorocas) e, posteriormente, ocasionando o assoreamento do leito do igarapé do Boa Vista. O sistema de terras médias integra parte da Área de Expansão do Distrito Industrial, segundo a Lei estadual nº 878/1969. Por conta disso, é notório a concentração de fábricas (Figura 5g), especialmente de embalagens, produção de plásticos e resinas. As avenidas Puraquequara e Flamboyant, e os ramais do Brasileirinho e Ipiranga são os principais difusores do espraiamento urbano, industrial e turísticos. As manchas de solo exposto (Figura 5h), com possibilidade de ocupação por atividades agrícolas, são pontuais nessas topografias e contribuem para assoreamento de canais hidrográficos adjacentes.

Figura 5 – Aspectos gerais das paisagens do sistema de terras médias da SBHRP, Manaus (AM).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

3.6.3 Sistema de terras baixas (*unidades acumuladoras*)

O sistema de terras baixas da bacia do rio Puraquequara é o mais complexo do ponto de vista da dinâmica ambiental. A subida e descida anual das águas do rio Puraquequara, nominada de pulso de inundação, é um fenômeno que ocorre anualmente, resultando em picos de cheias entre os meses de junho e julho e seca nos meses de novembro e dezembro (PIEDADE *et al.*, 2015). Esse cenário imprime tipologias de paisagens associadas ao tempo de inundação, apresentando características distintas na fase de águas baixas (fase terrestre) e águas altas (fase aquática), conforme observado na Figura 6.

Figura 6 – Cenários tipológicos de paisagens no sistema ambiental de terras baixas da SBHRP, Manaus (AM) influenciadas pelo pulso de inundação anual.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As terras baixas correspondem a aproximadamente 28,76% da área total da bacia, os resultados hipsométricos para sua definição variam entre 1m e 60 metros de altitude, de acordo com a Tabela 7. Formam esse sistema, a planície de inundação, terraços ativos, terraços antigos e vertentes de até 60 m (Figura 7o).

A floresta ombrófila de terras baixas com dossel emergente cobrem áreas de vertentes, que exercem a função de zonas de interflúvios das microbacias, principalmente dos igarapés, Mainanzinho, Mainã e Branquinho. Predominam solos da classe latossolo amarelo, com declividade suave ondulado. Paralelo ao canal principal, a floresta ombrófila densa aluvial com dossel emergente ocupa as margens e cobre os terraços antigos. Os solos do tipo neossolos quartzarênico hidromórficos são dominantes e apresentam declividades considerada plana.

As planícies de inundação (Figura 7l) apresentam declividades planas e são ocupadas por plantas aquáticas flutuantes durante a cheia e por gramíneas e herbáceas no período de vazante do rio Puraquequara, de forma geral, não desenvolvem vegetação de porte arbóreo (Novo, 2008). Os terraços ativos (7m) são cobertos por floresta ombrófila densa aluvial com dossel emergente e estão assentados sobre os latossolos amarelos. Os terraços antigos (Figura 7n) com topografia entre 30 e 60 m, em alguns trechos do baixo curso, são ocupados por populações ribeirinhas que ao longo dos anos foram se expandindo pelas margens do rio

Puraquequara. A implantação do Sistema Viário Anel Leste ampliou a supressão de floresta primária nas áreas de terras baixas, sobretudo em modelados de vertentes, observado na estrada Adolpho Ducke (figura 7o).

Figura 7 – Aspectos gerais das paisagens do sistema de terras baixas da SBHRP, Manaus (AM).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O rio Puraquequara exibe, em seções de baixo gradiente topográfico (Figura 8), profundidade e velocidade de escoamento, depósitos fluviais de canais, como barras arenosas (Figura 8p), dunas subaquosas (Figura 8q) e ilhas fluviais (Figura 8r), bem como as áreas de afloramento da formação Alter do Chão (Figura 8s), regionalmente conhecido como arenito Manaus.

As barras arenosas estão associadas aos depósitos deixados no leito fluvial entre dois períodos sazonais, nesse caso, essas morfologias são percebidas somente em épocas de pico da vazante. Elas se distinguem das ilhas pela ausência de vegetação, cujas dimensões e formas são sujeitas às variações temporais (ROCHA E SOUSA FILHO, 2005 *apud* NOVO, 2008). As dunas subaquosas são formas submersas de sedimentos que são depositadas durante a cheia e afloram durante o período de águas baixas.

Figura 8 – Depósitos fluviais e afloramento geológico em áreas de terras baixas da SBHRP, Manaus (AM).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O sistema ambiental de terras baixas abrange porções espaciais da área urbana da cidade de Manaus. A expansão da mancha urbana para os modelados de vertentes e fundos de vales (Figura 9t e 9u) do bairro Jorge Teixeira e Distrito Industrial, respectivamente, gerou mudanças na estrutura vertical dessas morfografias, consolidando áreas com potencial de risco geológico.

Esse resultado imprimiu novos arranjos espaciais, acompanhados de uma série de problemas ambientais. A consolidação de áreas de risco e os aglomerados subnormais alteraram as estruturas físico-ambientais preexistentes, acentuando movimentos de massa, feições erosivas, assoreamento e alagamento, sobretudo, a poluição dos corpos hídricos por esgoto doméstico e o descarte de resíduos sólidos (Figura 9v).

Figura 9 – Área de risco e aglomerados subnormais no sistema de terras baixas da SBHRP, Manaus (AM).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Vidal e Silva (2021) afirmam que a artificialização remove das paisagens suas dinâmicas próprias e alteram a emissão, transporte e acumulação de matérias e energias, considerados elementos essenciais do funcionamento de um complexo natural.

A construção do Anel Viário Leste (Figura 10x), iniciada em 2019, com objetivo de melhorar a mobilidade urbana, é considerada por esta pesquisa como a mais recente intervenção promovida pelo Estado na margem direita bacia do rio Puraquequara. O desmatamento promovido pela movimentação de terras (Figura 10y), o loteamento de áreas vegetadas (Figura 10z) e o barramento de igarapés (Figura 10aa) para usos recreativos são as principais modificações identificadas *in loco*, conforme é observado abaixo.

Figura 10 – Principais intervenções na margem direita do rio Puraquequara, Manaus.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A construção do sistema viário está associada à zona de expansão do DI da cidade de Manaus e tem a prospecção de causar inúmeras transformações nos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do rio Puraquequara. A principal via do complexo viário, estrada Adolpho Ducke, que se estende de forma longitudinal por aproximadamente 17 km, ligando o DI às rodovias AM 010 e BR 174, tornou-se o principal vetor de interiorização, com prognóstico de mudanças nos componentes verticais das paisagens, bem como na formação de novas morfologias paisagísticas. Tais condições, ainda de forma incipiente, já foram observadas na Figura 10.

As mudanças promovidas pelo desenvolvimento industrial e o paralelo crescimento populacional ao longo de décadas modificam consideravelmente os aspectos naturais das paisagens da capital amazonense.

Vieira (2008), ao abordar o processo de expansão urbana de Manaus, apontou que muitas áreas de platôs e vertentes com cobertura vegetal nativa foram destruídas, dando lugar aos loteamentos e ocupações irregulares, resultando em formas erosivas nas paisagens, como sulcos, ravinas e voçorocas.

Silva e Scudeller (2022) afirmam que os assentamentos populacionais foram se expandindo sobre os interflúvios pelas planícies de inundação, e os inúmeros igarapés foram perdendo a vegetação ciliar pela ocupação subnormal. Além disso, a contaminação dos canais hidrográficos e o aterramento de nascentes contribuíram para alteração completa dos ambientes fluviais (LEMOS E COSTA, 2017).

Por essa razão, o reconhecimento espacial quantitativo e qualitativo dos elementos físicos-ambientais da bacia hidrográfica do rio Puraquequara, a partir da análise integrada,

dará possibilidade de correlacionar a estrutura e o funcionamento dos sistemas, para posteriormente delimitar as Unidades Geocológicas, assim como identificar os problemas, potencialidades e suas limitações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidenciou que a formação geológica Alter do Chão é predominante na sub-bacia hidrográfica do rio Puraquequara. Sobre essa litologia prevalecem as morfoesculturas de vertentes incisivas e platôs de até 90 m. A planície de inundação e os terraços ativos compõem a menor unidade geomorfológica da BHRP.

As variações hipsométricas mais extensas estão entre 63m e 83m e 83 m a 105 m, que, somadas, equivalem a 360,73 km² de área total. A declividade de característica suave ondulado é dominante em 55,73% das formas de relevo, essas particularidades são de superfícies topográficas pouco movimentadas para processos erosivos. Os latossolos amarelos cobrem maior extensão da bacia, neles a floresta ombrófila densa de terras baixas com dossel emergente ocupa 68,40% . A floresta densa aluvial com dossel emergente é o menor fragmento florestal mapeado.

Os sistemas ambientais de terras baixas apresentaram um conjunto paisagístico influenciado pelo pulso de inundação e o barramento hidráulico do Rio Amazonas, o fenômeno natural da cheia, e consecutivamente a seca, garantem o funcionamento geocológico e produzem ambientes estruturados por acumulação de sedimentos transmitidos de forma concentrada ou seletiva pelos afluentes. A planície de inundação, os terraços ativos e as ilhas fluviais se inserem no contexto de paisagens dinâmicas recentes ou em estado evolutivo. Esse conjunto está concentrado mais expressivamente no baixo curso. Neles, estão concentrados comunidades ribeirinhas, casas flutuantes e restaurantes, que são explorados de forma turística pelos moradores locais e de bairros adjacentes. O descarte de efluentes doméstico e de resíduos sólidos, sobretudo de aglomerações urbanas do bairro do Puraquequara, pode comprometer a perda de atributos e propriedades sistêmicas, deixando de garantir o cumprimento das funções geocológicas da bacia.

Portanto, os resultados, ainda preliminares, são relevantes para análise e interpretação parcial da estrutura e funcionamento das paisagens. A definição das unidades e subunidades geocológicas podem obedecer a compartimentação dos sistemas ambientais

definidos nessa pesquisa, porém, é necessário apontar os problemas, limitações e potencialidades inerentes a cada sistema ambiental.

REFERÊNCIAS

Agência nacional de águas (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017.

Agência nacional de águas (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2019.

BOTELHO, R. G. M; SILVA, A.S. **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 7.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

CAMPOS FILHO, A. S. S. B; BEZERRA, B. C; SANTOS, L. R; COSTA, V. M; ARAÚJO, V. S. Viabilização de melhores condições de saneamento para duas residências na Comunidade indígena Novo Horizonte – Manaus/Amazonas. **Revista Caribenã de Ciências Sociais**, Miami, v. 12, n. 6, p. 2684-2692, 2023.

COSTA, F. M. V. **Gestão dos Recursos Hídricos do Rio Caeté**. Tese (Doutorado em Ciência e tecnologia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência e Tecnologia: Presidente Prudente (SP), 2017.

COELHO, R. F. **Ribeirinhos Urbanos**: modo de vida e a representações sociais dos moradores do Puraquequara. Dissertação (Mestrado em sociedade e cultura na amazônia), Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2006.

Companhia de pesquisa de recursos minerais. Folhas: SA.21-Y-A, Rio Uatumã, SA.21-Y-C, Manaus – E. Manaus, 2010.

FARIAS, J. F. **Aplicabilidade da Geoecologia das Paisagens no Planejamento Ambiental da bacia hidrográfica do rio Palmeira-Ceará/Brasil**. Tese (doutorado em geografia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.

FARIAS, J. F. **Aporte teórico e metodológico da Geoecologia das paisagens para os estudos em bacias hidrográficas**. Revista Equador (UFPI), v. 9, n. 2, p. 19-33, 2020.

FURTADO, A. R. **Análise Morfotectônica da Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara como Fator de Planejamento Urbano**. Monografia. Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas :Manaus, 2020.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Topodata**: banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 20 de fev. 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE). **Banco de Dados e Informações Ambientais**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 01 de jan. de

2024.

LIMA, R. H. C; ANDRETTA, E.R. **A erodibilidade do saprólito da Formação Alter do Chão na Cidade de Manaus (AM)**. XV Encuentro de Geógrafos de América Latina. Cuba, 2015. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15.html>. Acesso em: 10 de set. de 2023.

LEMOS, L. S. M; COSTA, R.C. Bacias hidrográficas em Manaus (2005-2015). In: COSTA, R.C (org.). **Riscos, fragilidades e problemas ambientais urbanos em Manaus**. Manaus: Editora Inpa, 2017.

MANZATTO, C. V; JUNIOR, E.F; PERES, J.R.R. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/328096/uso-agricola-dos-solos-brasileiros>. Acesso em: 14 de set. 2023.

NEVES, R. K. R. Evolução espaço-temporal do uso e cobertura da terra na bacia do Rio Puraquequara (Manaus AM). **Revista Caminhos da Geografia**. vol.21, n.73, Uberlândia-MG, p.347-345, 2020.

NOVO, E. M. L. M. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

PIEIDADE, M. T. F; SHONGART, J; WITTMANN, F; PAROLIN, P; BLEICH, M.E; LOPES, A. Iniciando a viagem pelas Áreas Úmidas Amazônicas. In: PIEIDADE, M.T.F; LOPES, A. **Conhecendo as Áreas Úmidas amazônicas: uma viagem pelas várzeas e igapós**. Manaus: Editora INPA, 2015.

RIKER, R. S. L. **Geologia e recursos minerais da Região Metropolitana de Manaus**. Manaus: CPRM, 2016. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17852>. Acesso em: 14 de set. de 2023.

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. (orgs.) **Geocologia das paisagens: uma visão geossitêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREPAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

SILVA, T. G. **Iconofósseis da Formação Alter do Chão (Grupo Javari, Bacia do Amazonas) em Ponta das Lajes, Manaus (AM): classificação e inferências peleoambientais**. Dissertação (mestrado em ciências exatas). Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas: Manaus, 2020.

SILVA, J. R. C; SCUDELLER, V. V. Os ciclos econômicos da borracha e a Zona Franca de Manaus: expansão urbana e degradação das microbacias. **Reserch, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n.6, p. 1-29, 2022.

SOMBROEK, W. G. **Amazon Soils: a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region.** Wageningen, 1966. Disponível em: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/421842>. Acesso em: 10 de set. de 2023.

TEIXEIRA, N. F. F; SILVA, E. V. da; FARIAS, J. F. Geocologia das paisagens e planejamento ambiental: discussão teórica e metodológica para análise ambiental. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas.** n°.9, p.147-158, 2017.

TROMBETA, L. R; LEAL, A. C. Planejamento Ambiental e Geocologia das Paisagens: contribuições para bacia hidrográfica do Córrego Guaiçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo. Revista Formação online. vol.3, n.23, p.187-216, 2016. Disponível em: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/4026-Texto%20do%20Artigo-16421-16153-10-20161117%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/4026-Texto%20do%20Artigo-16421-16153-10-20161117%20(1).pdf). Acesso em 12 de setembro de 2023.

VIDAL, M. R; DA SILVA, E. V. Enfoque estrutural e funcional da geocologia das paisagens: modelos e aplicações em ambientes tropicais. **Revista Geofronter**, Campo Grande, v. 7, p. 01-19, 2021. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/6708>. Acesso em: 01 de jan. 2024.

VIDAL, M. R; MASCARENHAS, A. L. S; SILVA, E. V; BARBOSA, E. J. S. Geocologia: aportes para uma aproximação taxonômica das unidades de paisagens para região de Carajás. **Novos Cadernos Naea**, Belém (PA), v. 25, p. 365-392, 2022.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e Distribuição de voçorocas em Manaus (AM):** principais fatores controladores e impactos urbanos-ambientais. Tese (Doutorado em geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.