

## SUSCETIBILIDADE DO SOLO À EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TARUMÃ-AÇU (AMAZONAS – BRASIL)

**Isabela Soares Colares**

Universidade Federal do Amazonas – UEA, Programa de pós-graduação em Geografia, Manaus, AM, Brasil  
[isc.geo@uea.edu.br](mailto:isc.geo@uea.edu.br)

**João Carlos Ferreira Junior**

Secretaria Municipal de Educação de Manaus, Manaus, AM, Brasil  
[jcfj23@gmail.com](mailto:jcfj23@gmail.com)

**Liange de Sousa Rodrigues**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Manaus, AM, Brasil  
[li\\_rodrigues212@hotmail.com](mailto:li_rodrigues212@hotmail.com)

**Samara Aquino Maia**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Manaus, AM, Brasil  
[samara.geouea@gmail.com](mailto:samara.geouea@gmail.com)

**Flávio Wachholz**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Escola Normal Superior, Manaus, AM, Brasil  
[fwachholz@uea.edu.br](mailto:fwachholz@uea.edu.br)

### RESUMO

Situada no município de Manaus, a Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (BHTA), nos últimos anos, vem lidando com profundas mudanças no uso e cobertura da terra, principalmente na zona de expansão urbana. Nesse sentido, o objetivo deste artigo é identificar os níveis de suscetibilidade à erosão do solo na BHTA por meio de técnicas de geoprocessamento a partir de variáveis de uso da terra, declividade, tipos de solo e geologia. Para tanto, foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8 OLI, o modelo digital de elevação SRTM e dados vetoriais de pedologia e geologia para construção dos mapas temáticos. Com base nesses dados, avaliou-se a suscetibilidade à erosão do solo na bacia, traçando-se a correlação entre as variáveis, possibilitada pelo uso da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico do Spring e da Análise Hierárquica de Processos (AHP). Os resultados apontam, na BHTA, a predominância de relevo ondulado (43,34%) e de Latossolos Amarelos (97,4%) cobertos por florestas; com baixos a moderados níveis de suscetibilidade à erosão do solo. Considerando a rede de drenagem, nota-se a presença de áreas com maiores níveis de suscetibilidade no setor inferior da bacia, enquanto no setor superior esses níveis são menores.

**Palavras-chave:** Geotecnologias. Análise espacial. Impacto ambiental.

### SOIL SUSCEPTIBILITY TO EROSION IN TARUMÃ-AÇU RIVER HYDROGRAPHIC BASIN (AMAZONAS – BRAZIL)

### ABSTRACT

Located in the city of Manaus, Tarumã-Açu Hydrographic Basin (TAHB) has been facing profound changes regarding its land use and coverage in the past years, which can be observed in areas affected by urban expansion. Thus, this paper aims to identify the levels of susceptibility of TAHB to soil erosion through geoprocessing techniques, variables of land use, declivity, soil types and geology. For that, images from Landsat-8 OLI satellite were used, as well as the digital SRTM elevation model. In addition, pedology and geology vector data were used to create thematic maps. Based on these data, the basin soil susceptibility to erosion was evaluated, tracing the correlation between variables, which was made possible through the Spring Spatial Language for Algebraic Geoprocessing and the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. The results show predominance of wavy terrain (43.34%) and yellow oxisols (97.4%) covered by forests, with low to moderate levels of soil erosion susceptibility. Considering the basin's drainage, it is noted the occurrence of areas with higher levels of susceptibility in the lower sector of the basin, while in the basin's upper sector the levels of susceptibility are lower.

**Keywords:** Geotechnologies. Spatial analysis. Environmental impact.

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos e serviços, alavancada pelo aumento exponencial da população, tem levado à excessiva exploração dos recursos naturais, ao uso inadequado da terra e à introdução de práticas que desequilibram a dinâmica dos sistemas naturais, excedendo sua capacidade de suporte (CUNHA et al., 2018). Essas transformações se iniciam, normalmente, com a conversão da cobertura vegetal natural em superfícies impermeabilizadas (urbanizadas ou não), alteração morfológica, físico-química e biológica dos solos e desencadeiam uma série de processos de degradação, não apenas dos solos, mas de toda a cadeia ecossistêmica (GOMES, 2019).

Os impactos decorrentes das mudanças no uso e manejo da terra, da exploração inadequada de terras marginais aos cursos d'água e do uso intensivo em áreas com elevado potencial natural de degradação do solo constituem fatores determinantes para a ocorrência de processos erosivos (SANTOS, 2004). A partir do desgaste e perda do solo, uma gama bastante variada de problemas pode se suceder, como o comprometimento de sua fertilidade natural e o assoreamento de corpos hídricos, além dos efeitos secundários que deles derivam (GUERRA, 2012).

O uso inadequado da terra e a ausência de um planejamento da ocupação do espaço, somados à falta de políticas públicas de conservação dos componentes bióticos e abióticos, contribuem para a intensificação de conflitos de uso da terra e da água. Estes decorrem de solos usados para uma atividade que não está em conformidade com a sua capacidade natural, gerando o aumento da erosão do solo, degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Esses impactos negativos são verificados pelo aumento das concentrações de nutrientes na água (nitrogênio ou fósforo) ou outros compostos dissolvidos (cálcio ou bicarbonato) e são causados por maior lixiviação dos solos por escoamento ou infiltração (PACHECO et al., 2014; VALLE JUNIOR et al., 2015; VALERA et al., 2016; PACHECO et al., 2018).

Considerando que o solo oferece o suporte dos sistemas hidroambientais e das atividades antrópicas estabelecidas na sua superfície, estudos que avaliem suas características e sua possível suscetibilidade à degradação são imprescindíveis para o planejamento e adoção de medidas mitigadoras e de práticas adequadas de manejo do solo e gestão do território (SANTOS, 2004). A análise de suas potencialidades e fragilidades deve se dar a partir da suscetibilidade à erosão, especialmente quando se pretende prever potenciais impactos ao nível de bacia hidrográfica, como o assoreamento de canais fluviais, favorecendo a gestão dessas unidades de paisagem (REBELLO, 2010; CUNHA et al., 2018).

Vários são os fatores que interferem nos processos erosivos: a energia cinética das águas pluviais; as propriedades físicas dos solos; o comprimento, forma e declividade das encostas; a presença de cobertura vegetal; e o uso e manejo do solo. Em quase todos os casos, o uso e o manejo inadequados agravam e aceleram os processos erosivos, tornando-os irreversíveis (GUERRA e MENDONÇA, 2014). A velocidade e a magnitude dessa degradação também variam de acordo com os tipos de solo, que podem apresentar diferentes respostas à erosão, mesmo quando submetidos a condições semelhantes de declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo. Essas diferenças se devem às especificidades de cada solo, sendo denominadas de propriedades de erodibilidade do solo (EDUARDO et al., 2013).

Para Bertoni e Lombardi Neto (1999), a erosão antrópica ou acelerada determina-se por práticas induzidas pelo homem ao solo que promovem o desequilíbrio dos condicionantes relacionados à erodibilidade. Ou seja, a condição de suscetibilidade é maior ou menor conforme as características físicas do ambiente e das formas de uso e ocupação da terra. Dessa maneira, mudanças na paisagem, principalmente relacionadas à ação antrópica, intensificam esse processo caracterizando áreas com suscetibilidade à ocorrência de erosão (GIRÃO, 2017; GIRÃO, RABELO e ZANELLA, 2018), como é o caso da área de estudo. Nesse sentido, por entender que a ação humana atua modificando a dinâmica natural, acelerando-a ou retardando-a, neste trabalho os diferentes usos da terra serão fatores-chaves para a compreensão da suscetibilidade na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (BHTA). Partindo dessa perspectiva, os trabalhos de suscetibilidade à erosão se propõem à construção de modelos importantes no planejamento do uso e ocupação da terra e na redução de impactos ambientais (SOUZA et al., 2011).

A espacialização das informações em grandes áreas, a exemplo das bacias hidrográficas, e a criação de modelos requerem a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e de técnicas de geoprocessamento. A combinação destes com análises multicritérios tem contribuído significativamente para a integração de dados e análises territoriais (CUNHA et al., 2018). A análise multicritério como ferramenta de SIG é capaz de ordenar e apresentar informações especializadas e suas relações com o meio, sendo adequada na criação de síntese de variáveis, com o objetivo de identificar áreas prioritárias para algum fenômeno ou arranjo geográfico (MEIRELLES; DOURADO; COSTA, 2018). Diferentes áreas

do conhecimento fazem o uso de tal análise, tais como: identificação de condições socioespaciais favoráveis à ocorrência de focos de dengue (LUNARDON, 2017), seleção de áreas para implantação de aterros sanitários (LOURENÇO et al., 2015; AMARAL e LANA, 2017), avaliação de ecoeficiência de veículos leves para transporte de cargas (CAIADO et al., 2018).

Uma das técnicas que contribui para mapear a suscetibilidade do solo à erosão por meio de diferentes variáveis é o método de Análise Hierárquica de Processos (AHP). Este tem sido empregado em diferentes áreas do conhecimento, especificamente quando trata-se de questões ambientais. Silva Junior, Freire e Mendes (2015) fizeram o uso da abordagem Fuzzy e do procedimento AHP para avaliar a qualidade ambiental de nascentes. Fernandes et al. (2019) aplicaram-na na análise temporal com a finalidade de indicar aumento de vulnerabilidade ambiental, tanto em ambientes urbanos quanto em rurais. Também se mostrou eficaz para identificar níveis de suscetibilidade em regiões de difícil acesso para coleta de dados (ANDRADE, FERREIRA e SILVA, 2014), em análises de áreas de risco a escorregamento (FARIA e AUGUSTO FILHO, 2013) e avaliação do risco à inundação em bacias hidrográficas (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019).

A BHTA, localizada no município de Manaus, estado do Amazonas, apresenta intensa atividade antrópica, abrangendo desde zonas amplamente urbanizadas até espaços periurbanos e rurais, onde evidenciam-se ocupações ilegais de terra, inclusive às margens dos igarapés, em áreas de preservação permanente (APP), assentamentos, aterro sanitário, desmatamentos irregulares, despejo *in natura* de efluentes domésticos e industriais e deposição inadequada de resíduos sólidos. Além disso, verifica-se a exploração mineral, com a consequente ocorrência de processos erosivos e o assoreamento de corpos d'água (COSTA, 2011).

Nesse contexto, visando a contribuir com os estudos ambientais em bacias Amazônicas, o presente trabalho tem como objetivo identificar os níveis de suscetibilidade à erosão do solo na BHTA, utilizando análise multicritério e álgebra de mapas, a partir de dados de uso da terra, declividade, tipos de solos e geologia.

## MATERIAL E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

A BHTA está situada entre as coordenadas 2°31'54,36"S a 3°5'13,96"S e 60°11'44,78" O a 59°52'16,01"O, abrange uma área de aproximadamente 1.388,94 km<sup>2</sup>, equivalente a 12,18% do município de Manaus (Figura 1). Com 80,9 km de extensão, o principal rio da bacia é o Tarumã-açu, afluente do rio Negro por sua margem esquerda, sendo limite natural noroeste do perímetro urbano da capital a partir da confluência dos rios.

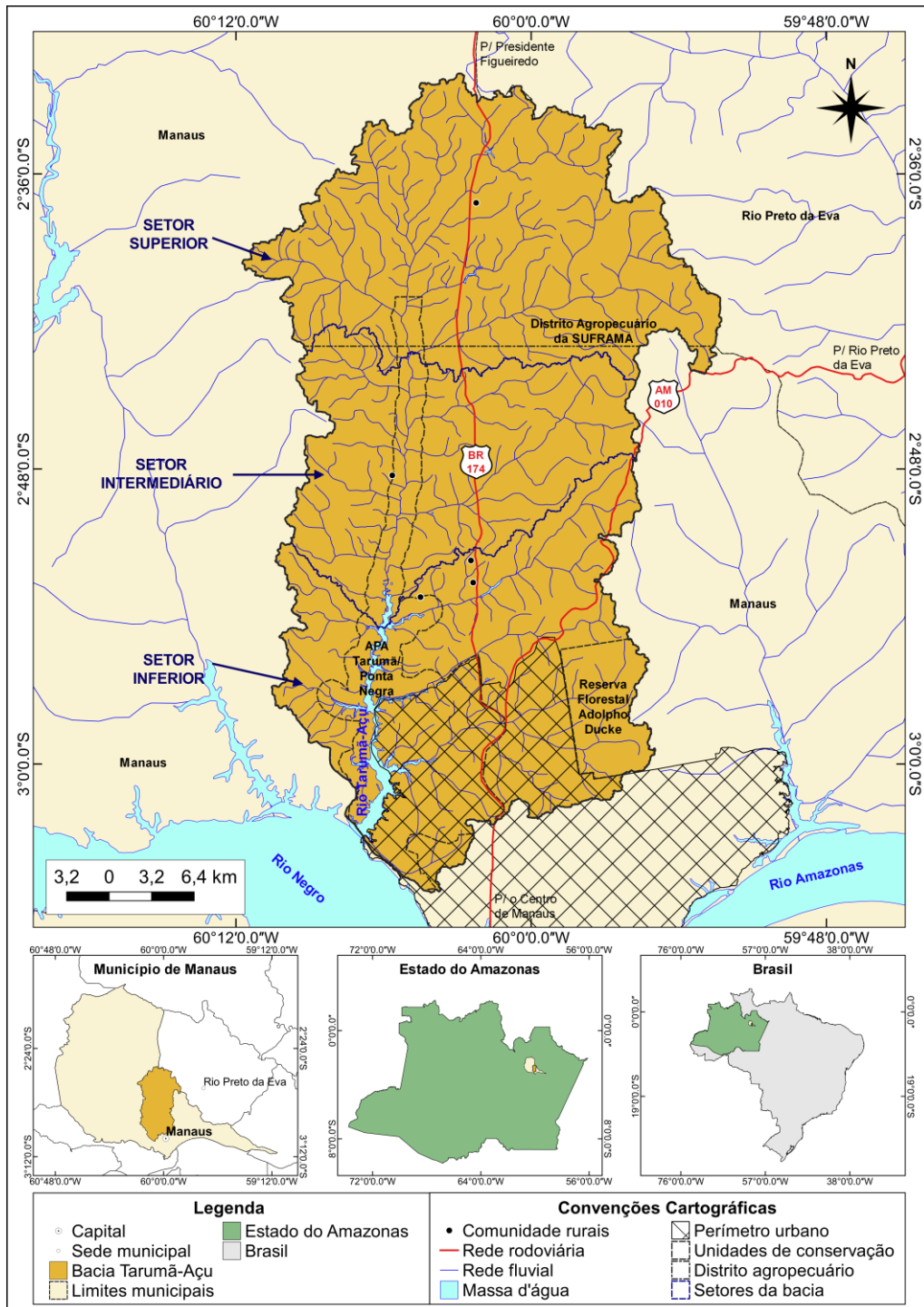
Geologicamente, a BHTA está situada predominantemente sobre a Formação Alter do Chão, parte da Bacia Sedimentar do Amazonas de idade Cretáceo Superior (ARAGÃO et al., 2006). Datada do pleistocênica superior, a Formação Belterra transgride a Formação Alter do Chão, integra cobertura sedimentar argilosa/argilo-siltica e às vezes discretamente arenosa na base. Além disso, no rio Tarumã-Açu, há evidências de Depósitos Aluvionares de Planície Aluvial, caracterizados por uma areia esbranquiçada e de granulação variando de fina a média, bastante empregadas na indústria da construção civil (RIKER et al., 2016).

A BHTA está situada na região Amazônica, que é constituída por terras baixas, porém, bem drenadas, caracterizadas como uma vasta depressão, denominada "Depressão Amazônica" (ROSS, 1985). Conforme Maia (2010), essa região está inserida em áreas de Baixos Platôs, apresentando terrenos baixos, com cotas inferiores a 200m. Dados gerados a partir do MDE/SRTM indicam que a altitude média da bacia é de 80 metros, com cota mínima de 8 metros no curso inferior e máxima de 158 metros no curso superior.

Pela sua proximidade à Linha do Equador, o clima é quente e úmido, características da zona equatorial. Por estar localizada na Amazônia Central, os principais fatores climáticos que influenciam a região são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Alta da Bolívia e a Zona de Convergência Atlântico Sul (ZCAS) (MARENGO e NOBRE, 2009). De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2020), a normal climatológica em Manaus, no período de 1981 a 2017, indica uma média de precipitação anual de, aproximadamente, 2.300 mm. O período mais chuvoso ocorre entre os meses de dezembro e

abril, e o período mais seco de junho a outubro. A temperatura média anual é de 27° C, com máxima e mínima de 31,9 °C e 23,4 °C, respectivamente.

Figura 1 - Manaus (AM): Mapa de localização da área de estudo, 2021.



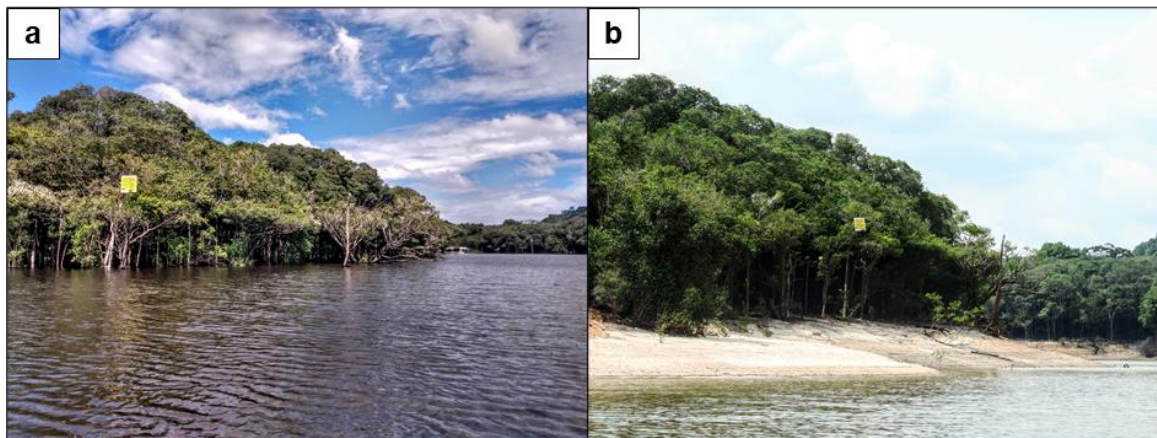
Fonte - IBGE, 2017; GEOTAP (2020). Elaborado pelos autores.

As águas do Rio Tarumã-Açu são classificadas como águas negras, em razão de sua coloração escura, resultado da decomposição da matéria orgânica (húmus) do solo florestal e da liberação de ácidos



húmicos e fúlvicos carregados para o curso fluvial pelo regime pluviométrico e pela dinâmica dos pulsos de inundação (Figura 2). A presença dessas substâncias reduz o pH da água, mantendo-a ácida em condições naturais (SIOLI, 1985). A cobertura vegetal da bacia é, predominantemente, típica de Floresta Ombrófila Densa, sendo possível, ainda, encontrar áreas de Floresta Ombrófila Aberta, Floresta de Igapó e Campinarana (EMBRAPA, 2003).

Figura 2 - Manaus (AM): (a) Cheia no rio Tarumã-Açu, vegetação de igapó submersa; (b) Vazante das águas no rio Tarumã-Açu, as margens ficam expostas formando praias, 2020.



Fonte - trabalho de campo (2020).

A implantação de importantes rodovias e o potencial paisagístico da região, atrativo ao turismo, contribuem sobremaneira para a intensificação do processo de ocupação da bacia. A partir da BR-174 e da AM-010 (construídas nas décadas de 1970 e 1960, respectivamente) derivaram inúmeras estradas vicinais, que possibilitam o acesso às áreas mais preservadas da bacia, alterando sua paisagem natural com a substituição da cobertura florestal por usos antrópicos. De acordo com os dados do Projeto MapBiomias, no período de 1985 a 2016 ocorreu a conversão de 2,18%, cerca de 26,22 km<sup>2</sup> de áreas florestais e campestres para usos antrópicos (pastagens, infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas). Em 1985 os usos antrópicos correspondiam a 11,15% da bacia, enquanto a área florestal e campestre de 87,31%. Para o ano de 2016 esses usos representavam cerca de 15,17% e 84,79%, respectivamente. No entanto, é importante destacar que durante esse período ocorreu a sucessão natural, sobretudo em áreas de pastagens localizadas no setor superior. Enquanto no setor inferior ocorreu a expansão de áreas de infraestrutura urbana devido ao crescimento populacional. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), cerca de 450 mil pessoas ocupavam a BHTA até 2010, dos quais 99,09% em área urbana, cuja concentração ocorre no setor inferior da bacia – a densidade demográfica varia, em média, de 3,41 a 2.350,44 hab./km<sup>2</sup>, zona rural e zona urbana respectivamente, e 323,25 hab./km<sup>2</sup> considerando integralmente a bacia (WACHHOLZ et al., 2019).

### **CRITÉRIOS PARA A DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS**

A suscetibilidade do solo à erosão deriva de variáveis, como a intensidade e duração das chuvas, topografia do terreno (em especial a declividade), as condições geológico-geomorfológicas, o tipo de solo, uso e cobertura da terra. Assim, para a área de estudo foram consideradas as seguintes variáveis: declividade, geologia, tipos de solo e uso e cobertura da terra; a declividade representa a inclinação do relevo em relação ao horizonte, possui relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em cinética, influenciando a velocidade do escoamento superficial (CREPANI et al., 2008); na geologia, as características litológicas são fatores importantes por considerar a mineralogia, o tamanho dos grãos e as estruturas geológicas que determinam a orientação e os locais mais propícios para o desenvolvimento da erosão (TORRES, 2014); os solos apresentam diferentes resistências em virtude das características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas, determinando assim sua erodibilidade (BRITO e LEITE, 2015); o uso da terra é uma variável antrópica com forte influência na suscetibilidade à erosão, pois em solo exposto o impacto da chuva desprende as partículas do solo (*splash*), que são facilmente transportadas pela água, por outro lado, a presença de cobertura vegetal diminui essa força (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

Em função da baixa variação altimétrica na bacia, conforme mencionado, optou-se por não utilizar outros aspectos do relevo além da declividade. Apesar do componente climatológico ser um atributo condicionante da suscetibilidade do solo à erosão, é importante ressaltar que os dados pluviométricos são escassos. As informações disponíveis correspondem à estação pluviométrica de Manaus fora dos limites da bacia, sob responsabilidade do INMET. Enquanto para a área da bacia, os únicos dados disponíveis são de uma estação do Instituto Nacional de Pesquisa na Amazônia (INPA), contudo são de apenas quatro anos (1979-1982) e inconsistentes. Por isso, essa variável não foi utilizada no processo.

### MAPEAMENTO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS

Como base para elaboração do mapa de unidades geológicas foram utilizadas as folhas geológicas com escala de mapeamento de 1:250.000 do Projeto Geologia e Recursos Minerais da Região Metropolitana de Manaus, disponíveis no Repositório Institucional de Geociências (RIGEO) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (RIKER et al., 2016). Foram utilizadas as seguintes folhas geológicas para cobrir os limites da BHTA: Manaus-E, Manaus, Novo Airão e Rio Uatumã, a primeira datada de 2015 e as demais de 2014. Na área de pesquisa destacam-se as seguintes unidades geológicas e suas características litológicas (Tabela 1).

Tabela 1 - Manaus (AM): Classificação e características das unidades geológicas, 2021.

Unidade Geológica	Cor	Estratigrafia	Características
Formação Alter do Chão		Holoceno	Arenitos finos a grossos, grauváquicos, silicificados, creme a roxo, vermelho a alaranjado, caulínico, às vezes, com delgados níveis de conglomerado oligomítico formado por seixos de quartzo, apresentam estratificações plano-paralelas, cruzadas tabulares, acanaladas swaley, acamadamento wavy e flaser. Argilitos mosqueados, maciços, silicificados, avermelhados e por vezes caulínicos, apresentam gretas de contração, icnofósseis e acamadamento linsen.
Formação Belterra		Pleistoceno	Argilas e siltes argilo arenosos amarelados, maciços, representativas de sedimentação lacustre.
Depósitos Aluvionares de Planície Aluvial		Paleoceno – Mioceno	Siltes argilosos e argilas sílticas creme, cinza, esverdeadas, além de areia fina e síltica creme a cinza escuro. São maciças, laminadas, bioturbadas e com lentes de turfa intercaladas.

Fonte - adaptado de Riker et al. (2016).

### MAPEAMENTO DAS CLASSES DE SOLO

Na elaboração do mapa de solos, empregaram-se dados vetoriais para a Amazônia Legal, do Banco de Dados de Informações Ambientais (BdiA) do IBGE, compilados a partir das cartas do Projeto RADAMBRASIL, seguindo a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2018) (Tabela 2). Também foram aplicados dados da Base Cartográfica Contínua do IBGE relativos à hidrografia e às massas d'água continentais. Em ambas as bases de dados, a escala utilizada é de 1:250.000. As informações de solos e hidrografia são referentes aos anos de 2003 e 2017, respectivamente.

Tabela 2 - Manaus (AM): Classificação e características das classes de solos, 2021.






Ordem	Tipos de Solo		Cor	Características
	Subordem	Grande Grupo		
Latossolo	Amarelo	Ácrico		Solos com caráter ácrico em um ou mais horizontes, dentro de 150 cm a partir da superfície do solo.
Latossolo	Amarelo	Distrófico		Solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).
Gleissolo	Háplico Tb	Distrófico		Solos com argila de atividade baixa e saturação por bases < 50%, ambas na maior parte dos horizontes B e/ou C, dentro de 100 cm da superfície do solo.

Fonte - adaptado de Santos et al. (2018).

### MAPEAMENTO DA DECLIVIDADE

O mapa clinográfico foi elaborado a partir da transformação dos valores altimétricos do terreno em declividade (%) conforme as classes da Tabela 3.

Tabela 3 - Manaus (AM): Classificação e características das classes de declividade do terreno, 2021.

Classe	Cor	Declividade (%)	Tipo de Escoamento
Plano		0 – 3	Escoamento superficial não visível (perda de material pela ação da infiltração e do escoamento).
Suave Ondulado		3 – 8	Escoamento subsuperficial (perda de materiais finos, empobrecimento do solo, erosão laminar).
Ondulado		8 – 20	Escoamento superficial dos solos (formação de canaletas).
Forte Ondulado		20 – 45	Escoamento superficial semiconcentrado e concentrado (remoção do horizonte A; formação de canaletas e sulcos profundos).
Íngreme		> 45	Enxurradas e escoamento superficial concentrado; (remoção total do horizonte A; formação de ravinas e voçorocas, podendo ocorrer rastejamento, escorregamento e desmoronamento).

Fonte - IBGE (2009); Santos et al. (2018).

Para tanto, utilizou-se o modelo digital de elevação *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global*, com resolução espacial de 30 metros, adquirido no banco de dados *Earth Explorer* da *United States Geological Survey (USGS)*, processado em ferramenta específica – neste caso, o *software Spring* – para obtenção dos valores de declividade. Posteriormente, realizou-se o fatiamento em cinco classes, numa adaptação do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da Embrapa (SANTOS et al., 2018).

### MAPEAMENTO DO USO DA TERRA

Para a elaboração do mapa de uso da terra, utilizou-se a cena do satélite Landsat-8, sensor OLI, de 27 de julho de 2016, obtida do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e selecionada em razão da baixa cobertura de nuvens e sombras (< 10%), especialmente sobre a área de interesse (Tabela 4).

Tabela 4 - Manaus (AM): Características da imagem de satélite, 2021.

Satélite/ Sensor	Data	Ponto/ Órbita	Bandas	Resolução		
				Espacial	Temporal	Radiométrica
Landsat-8/ OLI	27/07/2016	62/231	B4 – Vermelho	30 metros	16 dias	16 bits
			B5 – Infravermelho próximo			
			B6 – Infravermelho Médio			








Fonte - Organizada a partir de INPE (2016).

A partir da composição e recorte das bandas 4 (Vermelho), 5 (Infravermelho Próximo), 6 (Infravermelho Médio), procedeu-se com a classificação supervisionada da imagem com base em um conjunto de treinamento formado por amostras das classes definidas previamente. Nesse método, espera-se que o analista tenha conhecimento da área de estudo e que cada classe espectral possa ser descrita a partir das amostras fornecidas (FITZ, 2008; NOVO, 2010).

Dessa forma, considerando a resolução da imagem e o conhecimento prévio acerca da área de estudo, foram identificadas sete classes de uso da terra, definidas e adaptadas em consonância com as especificações do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), conforme Tabela 5.

O algoritmo aplicado à classificação foi a Distância Mínima Euclidiana, na qual foi atribuído a cada pixel desconhecido a classe cuja média é mais próxima a ele, ou seja, calcula-se a distância espectral de cada pixel até a média de cada classe, em cada banda (FITZ, 2008; MENESES e SANO, 2012).

Tabela 5 - Manaus (AM): Classes de uso da terra, 2021.

Classes	Uso da Terra	Cor	Características
Áreas de Vegetação	Florestal		Floresta nativa densa.
Áreas Antrópicas Agrícolas	Área Campestre		Vegetação não florestal, caracterizadas por estrato predominante arbustivo. Compreende áreas naturais ou antropizadas (ex.: Campinarana arbustiva, formações herbáceo-arbustivas de influência fluvial, pastagens, áreas agrícolas).
	Solo Exposto		Rodovias/vicinas pavimentadas e não-pavimentadas. Áreas agrícolas em pousio ou preparação para o plantio ou para viveiros escavados.
	Agricultura		Culturas temporárias, permanentes e campos (pastagem e vegetação rasteira).
Áreas Antrópicas Não Agrícolas	Mineração		Minerais não metálicos.
	Área Urbanizada		Cidades, vilas e comunidades.
Águas	Corpos de Água		Superfícies de aquáticas formadas por rios, lagos, reservatórios e tanques de piscicultura.

Fonte - Adaptado de IBGE (2013).

A acurácia da classificação foi verificada por meio do Índice Kappa, que apontou valor igual a 0,90, considerado excelente, de acordo com os quartis sugeridos por Landis e Koch (1977). Observou-se, ainda, que a imagem apresentava ruídos, pixels mal classificados. Assim, na etapa de pós-processamento, realizou-se a absorção destes pixels para obtenção de uma imagem com melhor aspecto visual. Nessa fase, aplicou-se o filtro de convolução mediano (3x3).

### **MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE**

O mapeamento de suscetibilidade à erosão na BHTA foi gerado a partir de sobreposição, por meio da álgebra de mapas, dos planos de informação temáticos ponderados: uso da terra, declividade, solos e geologia. Na definição da importância relativa de cada tema, para análise de suscetibilidade à erosão foi empregado o método AHP.

### **Definição de pesos das classes temáticas e Planos de Informação**

A atribuição dos pesos indica o comportamento na suscetibilidade do solo à erosão, desde muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta. Na definição dos pesos para as classes temáticas de declividade, solos e geologia, utilizou-se a metodologia proposta por Crepani et al. (1996; 2001; 2008), de vulnerabilidade natural à perda de solos, cujos valores variam na escala de 0 a 3. Para o uso da terra, considerou-se os valores atribuídos por Camargo (2012) (Tabela 6).

Para uma maior aproximação da realidade da BHTA, as classes passaram pela avaliação de pesquisadores da área, somadas a produções bibliográficas referentes à área de estudo, como Bühring (2010), Vasconcelos (2012), Costa (2020), e referências bibliográficas atreladas a particularidades da região Amazônica, como Sioli e Klinge (1962), Molinari, Donald e Alves (2009), Maia (2010), Vale Júnior et al. (2011), Carvalho e Molinari (2014).

Posteriormente, os valores de suscetibilidade foram normalizados na escala de 0 a 1 para a adequação ao software SPRING (INPE, 2019) e emprego da metodologia no processamento, de acordo com Silva Neto



(2013). De modo que o valor 1 (um) foi atribuído às classes com alta suscetibilidade e 0 (zero) ao critério que exerce muito baixa suscetibilidade à erosão.

No *software* SPRING, foi criado um banco de dados contendo os Planos de Informação (PI) referentes aos modelos de dados das variáveis: uso da terra, solos, declividade e geologia. Após a definição dos pesos das classes de cada variável, foi feito uso da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), que promove um ambiente para análise geográfica, incluindo operações de manipulação, consulta espacial e apresentação através do uso da linguagem de programação (FARIAS e SOUSA, 2012). Por meio dessa linguagem foram realizadas as operações de ponderação, a partir do modelo temático, resultando em um modelo numérico (MNT), no qual cada local da área foi associado a um valor, indicando o peso de cada classe temática.

Tabela 6 - Manaus (AM): Pesos atribuídos às classes temáticas e planos de informação, 2021.

PI	Classes temáticas	Pesos	Pesos Normalizados (0 a 1)	Peso Método AHP	Referências
Uso da Terra	Solo Exposto	3,0	1,0	0,519	Camargo (2012)
	Mineração	3,0	1,0		
	Área Urbanizada	2,5	0,75		
	Agricultura	2,2	0,60		
	Área Campestre	1,9	0,45		
	Floresta	1,4	0,20		
	Água	1,0	0,0		
Declividade	Íngreme	3,0	1,0	0,272	Crepani et al. (1996;2001;2008)
	Forte Ondulado	2,6	0,80		
	Ondulado	2,2	0,60		
	Suave Ondulado	1,4	0,20		
	Plano	1,2	0,10		
Solo	Gleissolo	3,0	1,0	0,109	
	Latossolo Amarelo Distrófico	1,4	0,2		
	Latossolo Amarelo Ácrico	1,4	0,2		
Geologia	Depósito Aluvionar	3,0	1,0	0,046	
	Formação Belterra	2,9	0,95		
	Formação Alter do Chão	2,7	0,85		

Fonte - adaptado de Crepani et al. (1996; 2001; 2008); Camargo (2012).

### Aplicação do método AHP

A ponderação dos Pis possibilitou o emprego da análise multicritério, que se baseia no mapeamento de variáveis por Pis e na definição do grau de pertinência de cada um de seus componentes para a construção do mapeamento de suscetibilidade à erosão (PINESE JÚNIOR e RODRIGUES, 2012). O método AHP consiste em um processo de escolha baseada na lógica de comparação par a par das variáveis de análise, hierarquizadas com base na escala de prioridades para diferenciar a importância dos critérios (SAATY, 1980).

Os pesos atribuídos para cada Pis parte do princípio da importância que este desempenha na efetividade do processo erosivo, a partir de critérios consolidados no conhecimento científico desses indicadores frente ao processo analisado (AMARO et al., 2021). Na hierarquização das variáveis utilizadas, foram

atribuídas aos mapas de uso da terra e declividade as maiores relevâncias por serem considerados os principais influenciadores nos processos de erosão na BHTA, seguidas de solo e geologia, como visto na tabela 6.

De acordo com Souza et al. (2015), o uso da terra e a declividade são as variáveis mais relevantes para a equação. Todavia, por considerar o fator antrópico como atuante no processo de aceleração dos processos erosivos e por alterar a configuração original da paisagem na área de estudo, atribui-se a esse o maior peso, com 0,519 e para a declividade o valor de 0,272.

Ao PI de solo foi atribuído o peso 0,109, por ser o elemento diretamente afetado do processo erosivo, além de que, os Latossolos Amarelo, com maior predomínio na região, são estáveis, ou seja, possuem baixa suscetibilidade à erosão pela forte agregação das partículas (BÜHRING, 2010; PINTO et al., 2012).

Para as unidades geológicas foi atribuído o menor peso (0,046). Em relação à variável solo, a geologia representa um componente menos relevante, por estar abaixo destes e não sofrer o impacto direto da precipitação e do deflúvio superficial, além de ser o material menos intemperizado e mais coeso (FUSHITA et al., 2011; RIBEIRO et al., 2016) (Figura 3).

Figura 3 - Manaus (AM): Matriz de suporte à decisão (AHP) no SPRING, 2021.

Critério	Peso	Critério
DECLIVE_POND	6	Bem Melhor
DECLIVE_POND	4	Moderadamente Melhor
USO_POND	3	Algo Melhor
SOLO_MNT	4	Moderadamente Melhor
USO_POND	7	Muito Melhor
USO_POND	5	Melhor
		Igual
		Igual
		Igual
		Igual

Razão de Consistência: 0.088

Calcular Peso    Fechar    Ajuda

Fonte - Janela do SPRING 5.5.6 (2021).






Após a comparação das variáveis, obteve-se o valor de 0,088 para a Razão de Consistência (RC). De acordo Faria e Augusto Filho (2013), valores de RC acima de 0,1 são considerados inconsistentes na análise AHP. Na análise da suscetibilidade do solo à erosão considerou-se a integração dos indicadores temáticos conforme a Equação:

$$NSE = (0.272 * [D]) + (0.46 * [G]) + (0.109 * [S]) + (0.519 * [UT])$$

Onde: **NSE** = Nível de Suscetibilidade Erosiva; **D** = Declividade; **G** = Geologia; **S** = Solo; **UT** = uso da terra.

Nessa etapa, utilizou-se o LEGAL para aplicação da equação de suscetibilidade erosiva, gerando um MNT. Após este processo, converteu-se o arquivo em dado do tipo temático, a partir da execução da operação de fatiamento de classes, de acordo com o nível de suscetibilidade à erosão do solo proposto por Salomão (2015). (Tabela 7).

Tabela 7 - Manaus (AM): Classificação dos níveis de suscetibilidade à erosão do solo, 2021.

Níveis de suscetibilidade	Cor	Classes temáticas
Muito baixo		0,0 – 0,2
Baixo		0,2 – 0,4
Moderado		0,4 – 0,6
Alto		0,6 – 0,8
Muito Alto		0,8 – 1,0

Fonte - adaptado de IPT (1990 *apud* Salomão, 2015).

Os dados temáticos foram importados no *software* QGIS 3.16.4 georreferenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), para construção do *layout* dos mapas e obtenção da estatística descritiva.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

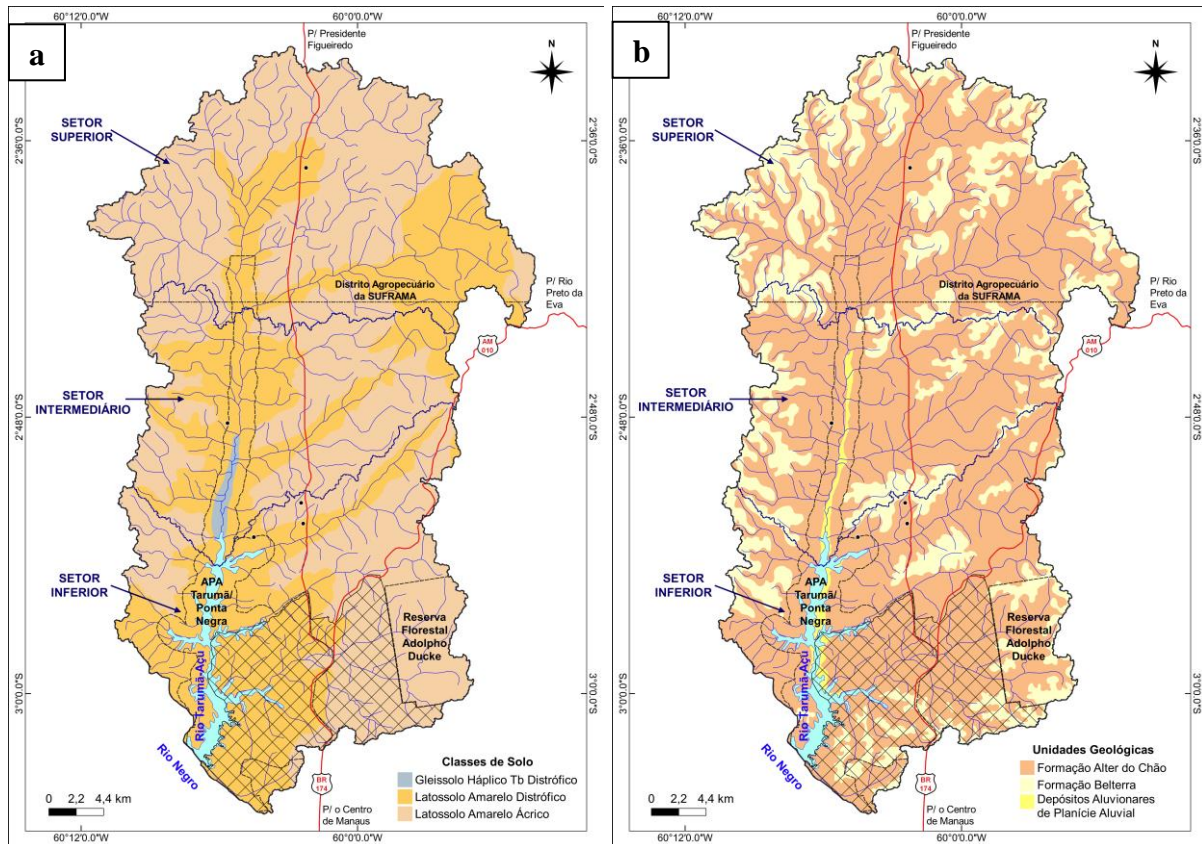
### ***CARACTERIZAÇÃO DE GEOLOGIA, CLASSES DE SOLOS, DECLIVIDADE E USO DA TERRA***

Na geologia da BHTA (Figura 4 a) predomina a Formação Alter do Chão, que corresponde a 72,42% da área. Com quase  $\frac{1}{4}$  da área da bacia, cerca de 24,66%, a Formação Belterra localiza-se, sobretudo, em áreas de interflúvio. As áreas de Depósitos Aluvionares de Planície Aluvial representam apenas 0,94% da bacia, percorrendo uma estreita faixa margeando o rio Tarumã-Açu, desde o seu curso intermediário até a altura do baixo curso, onde o canal enlarguece devido ao represamento hidráulico do rio Negro.

No que concerne aos tipos de solos encontrados na BHTA, predominam os Latossolos Amarelos, que compreendem uma área de 1.334,39 km<sup>2</sup>, o equivalente a 97,40%, quase a totalidade da bacia (Figura 4 b). Esses solos se subdividem em Latossolos Amarelos Ácricos (58,96%) e Latossolos Amarelos Distróficos (41,04%), distribuídos na maior parte da bacia. Esse tipo de solo destaca-se por sua coloração amarelada, grande profundidade, homogeneidade, boa drenagem e baixa fertilidade natural. Em sua maioria, são encontrados em relevo plano ou suave ondulado, mas também ocorrem em relevo mais movimentado (TEIXEIRA et al., 2010; IBGE, 2015).

Os solos classificados como Gleissolos representam, apenas, 0,60% da bacia, restringindo-se à porção terminal da massa d'água do rio Tarumã-Açu, no médio curso. Esse solo é característico de áreas sujeitas à inundações e alagamentos, localizados principalmente nas várzeas dos rios, podem ter alta fertilidade natural (IBGE, 2015). Teixeira et al. (2010) destacam sua constituição hidromórfica, por serem solos mal drenados em condições naturais, tendo o horizonte A cores desde cinzentas a pretas, constituídos por material mineral e teores variáveis de carbono orgânico. O percentual restante corresponde à rede de drenagem e ao canal principal, o rio Tarumã-Açu.

Figura 4 - Manaus (AM): a) Mapa de solos da BHTA. B) Mapa de geologia da BHTA, 2021.



Fonte - elaborado pelos Autores. Nota: as convenções cartográficas apresentadas nesses mapas estão legendadas no mapa de localização (Figura 1).

Na BHTA, a declividade varia de zero a 74,50%, distribuindo-se em cinco classes (Figura 5 a). A média de declividade é de 10,70% ( $\pm 7,43$ ), o que a caracteriza como ondulada, conforme classificação da Embrapa (SANTOS et al., 2018). As menores declividades correspondem, principalmente, aos topos dos platôs e às planícies de inundação, áreas cujo escoamento superficial não é visível e a perda de material se dá por infiltração e/ou escoamento (IBGE, 2009).

As áreas fortemente onduladas e íngremes abrangem pouco mais de 12% da bacia, sendo as áreas suavemente onduladas e onduladas as mais representativas, com percentuais de 32,63% e 43,34%, respectivamente. Aquelas regiões íngremes (declividade superior a 45%), além de impróprias à ocupação, constituem, como dispõe o art. 4º, inciso V, do Código Florestal Brasileiro – Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012 – APPs (BRASIL, 2012), que correspondem apenas 0,06% da bacia. Cerca de 6,28% dessa área estão ocupadas por usos antrópicos, sendo 54,72% de solo exposto, 33,96% de agricultura e 11,32% de áreas urbanizadas. As maiores declividades são encontradas nos divisores de água, que traçam os limites da bacia, e nas vertentes entre os platôs e as planícies de inundação, sobretudo nas maiores altitudes.

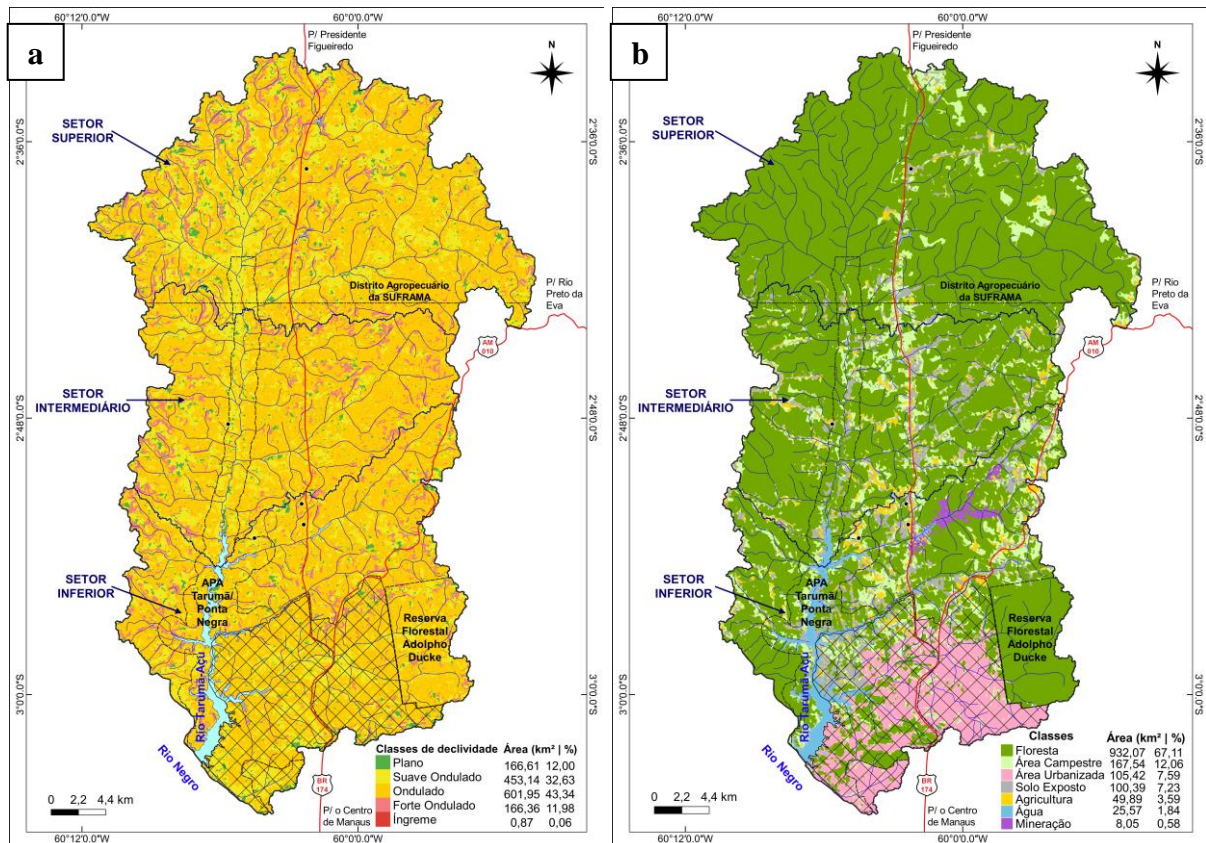
Os dados de uso da terra apontam que, aproximadamente, 31% da BHTA sofreu alterações antrópicas, o que equivale a 431,30 km<sup>2</sup>. Apesar disso, a predominância ainda é de cobertura florestal (67,11%), principalmente no seu setor superior dentro dos limites do Distrito Agropecuário da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), que ocupa uma área de 481,80 km<sup>2</sup> dentro da bacia, onde a paisagem ainda se apresenta bastante preservada, conforme Figura 5 b. Em contraponto, há uma intensificação na conversão de coberturas naturais por usos antrópicos no setor inferior, cuja degradação é mais acentuada somando um total de 258,55 km<sup>2</sup>, cerca de 49,69% da área.

Essa condição de maior alteração no setor inferior da bacia se dá em função da concentração de quase a totalidade das áreas urbanizadas, terceira classe mais representativa na BHTA (7,5%). É preciso rememorar que parte da BHTA se encontra na área periurbana, ou seja, algumas sub-bacias do setor



inferior são áreas de contato entre as zonas urbana e rural, além de figurar como zona de expansão do processo de urbanização do município, cujo limite atual é a margem esquerda do rio Tarumã-Açu (MATOS e SILVA, 2005). No que se refere à cobertura natural do setor inferior, destaca-se a Reserva Florestal Adolpho Ducke, na porção sudeste da bacia, que representa a maior mancha de floresta dessa região (54,45 km<sup>2</sup>), ainda, bastante preservada mesmo inserida numa matriz antropizada.

Figura 5 - Manaus (AM): a) Mapa de declividade da BHTA, 2021. B) Mapa de uso da terra da BHTA (2016),

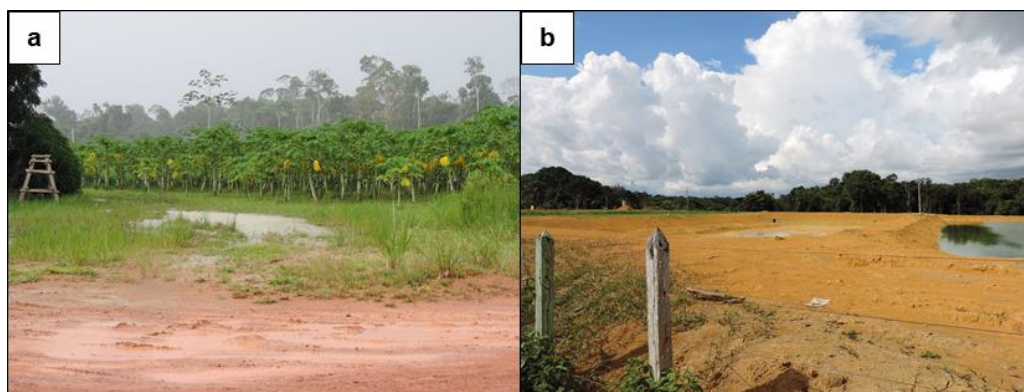


Fonte - elaborado pelos autores. Nota: as convenções cartográficas apresentadas nesses mapas estão legendadas no mapa de localização (Figura 1).

Quanto aos demais usos, 1,84% da área da bacia corresponde à classe água. A atividade de agricultura representa 57,94 km<sup>2</sup> (3,5%) do uso da terra, com plantios de mandioca, banana, mamão, abacaxi, cana-de-açúcar, hortaliças (Figura 6 a) em sua maioria, desenvolvidas em assentamentos do Instituto Nacional Colonização e Reforma Agrária (INCRA), como o Tarumã Mirim e Santo Antônio no setor intermediário. Observa-se que essas culturas estão distribuídas de forma disjunta e ocupam áreas relativamente pequenas tratando-se, basicamente, de agricultura familiar.

Diferentemente das atividades de subsistência, a exploração comercial ilegal de produtos madeireiros e a abertura de pastos para criação pecuária contribuem de modo significativo para a perda da cobertura florestal. Essas áreas, quando apresentam condições favoráveis, iniciam, naturalmente, o processo de sucessão ecológica, recompondo sua cobertura com vegetação secundária, definidas como área campestre, o que aconteceu em 12,06% da bacia. No entanto, aquelas áreas que perderam sua capacidade de resiliência permanecem expostas à ação de intempéries, como é o caso de 7,59% da bacia, classificada como solo exposto (Figura 6 b).

Figura 6 - Manaus (AM): (a) Plantio de mamão, cultura permanente; (b) solo exposto, construção de tanque de piscicultura, 2020.

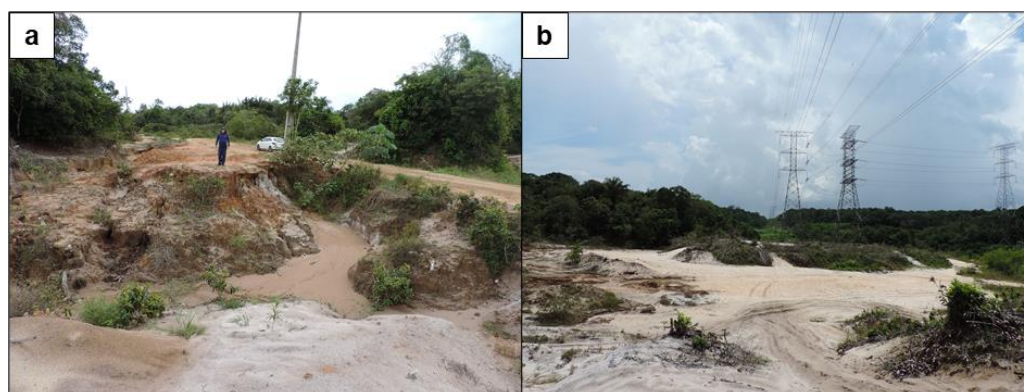


Fonte - acervo dos Autores (2020).

Na área de estudo, a piscicultura é uma atividade recente, exercida por pequenos produtores, que utilizam sistemas de cultivo de pequenas dimensões, baixa profissionalização e conhecimentos tecnológicos, sendo a principal modalidade de cultivo o viveiro escavado, como visto na figura 6 b, deixando o solo exposto (PANTOJA-LIMA et al., 2015). Dessa forma, há necessidade de serem adotadas Boas Práticas de Manejo (BPMs) visando à conservação do solo, como prover coberturas vegetais nos aterros e acima das inclinações dos canais e fazer inclinações e compactações adequadas nos aterros contra impactos e velocidade da água (FREITAS et al., 2014).

O uso para mineração abrange somente 0,58% (8,05 km<sup>2</sup>) da extensão da bacia, restringindo-se, especialmente, à sub-bacia do Igarapé do Leão, cujos solos dos tipos Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Amarelo Argilosos Arenosos são empregados na construção civil (ALBUQUERQUE e GAVINHO, 2004). Ressalte-se que, apesar do baixo percentual, a mineração apresenta alto potencial degradador, configurando uma atividade altamente impactante e não sustentável (GOMES et al., 2020). De acordo com Carvalho et al. (2018), esses impactos vão desde alterações do meio físico, como processos erosivos severos e a contaminação e o assoreamento dos corpos d'água, até a perda da biodiversidade, o que reduz o poder de recuperação dessas áreas (Figura 7).

Figura 7 - Manaus (AM): (a) Feição erosiva marginal a vicinal não pavimentada; (b) Área de exploração de areia, ao fundo, torres do linhão de transmissão de energia, 2020.



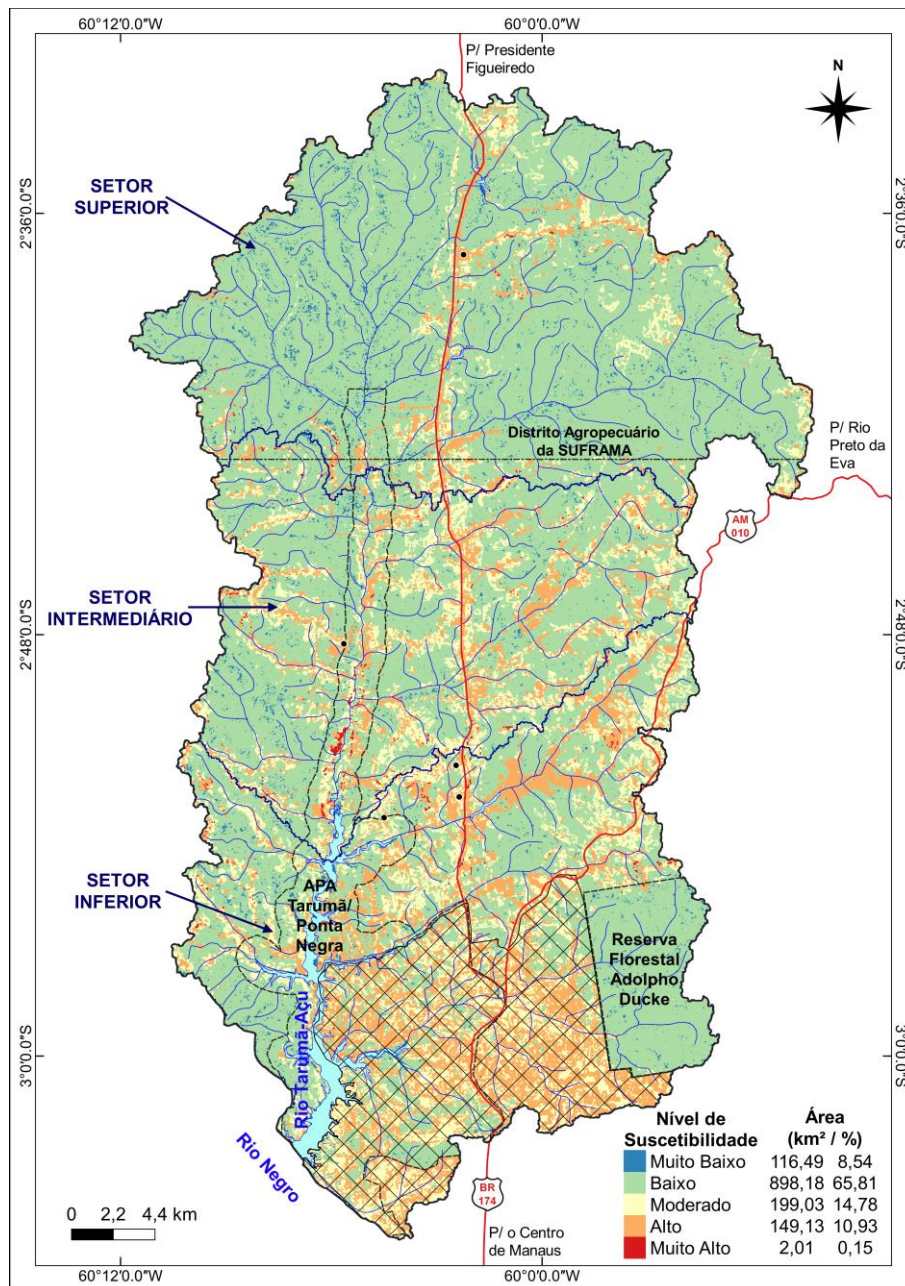
Fonte - acervo dos Autores (2020).

### **SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DO SOLO**

A partir do cruzamento dos mapas (uso da terra, declividade, geologia e solos), foi obtido o nível de suscetibilidade à erosão do solo. Os resultados apontam que esta é baixa a moderada em, aproximadamente 80,39% da bacia, totalizando 1.097,21 km<sup>2</sup> (Figura 8).



Figura 8 - Manaus (AM): Mapa de suscetibilidade à erosão do solo da BHTA, 2021.



Fonte - os autores (2021).

Os níveis de suscetibilidade muito baixo ou muito alto ocorrem em somente, 8,53% e 0,15% da bacia, respectivamente. O primeiro está relacionado à massa d'água e as áreas florestadas em terreno plano e/ou suave ondulado, enquanto o segundo coincide com a área em que ocorrem os Gleissolos e nas áreas com solo exposto combinadas com declives superiores a 20%, semelhante ao que constataram Silva et al. (2020), no estudo da suscetibilidade à erosão da bacia do Rio Gurupi (PA – MA). De acordo com Lepsch (2011), esse tipo de solo é comum em áreas sujeitas a pulsos de inundação ou permanentemente inundadas, e.g. várzeas e igapós, estando mais suscetíveis à erosão fluvial como acontece no Rio Tarumã-Açu.

As áreas com baixa suscetibilidade (aproximadamente, 65,81%) se distribuem por toda bacia, no entanto, há maior predominância nas áreas mais preservadas, com maior cobertura florestal, como em quase todo o setor superior e, em parte do setor inferior, a Reserva Florestal Adolpho Ducke. Segundo destaca

Salomão (2015), a cobertura vegetal atua como defesa natural de um terreno contra a erosão, protegendo o solo do impacto direto das gotas de chuva, dispersando e reduzindo a energia do fluxo de escoamento superficial. Barbosa e Fearnside (2000), ao comparar áreas de floresta primária e pastagem na Amazônia, obtiveram valores de erosão do solo 7,6 vezes maior em pastagens (150 e 1.128 kg.ha-1.ano-1), enquanto o escoamento superficial é 2,8 vezes superior ao da floresta primária, com 1,13 106 e 3,18 106 1.ha-1.ano-1, respectivamente. E destacam que a erosão na pastagem é sempre superior, independente das condições climáticas. Ou seja, a vegetação primária protege e comporta-se como uma capa protetora o solo, e sua retirada o expõe à ação direta dos fatores erosivos.

Além da presença de vegetação, os solos dos tipos Latossolos Amarelos Acrícos e Distróficos, sobre os quais estão assentadas essas áreas, reduzem a suscetibilidade à erosão, pela grande quantidade de óxidos de ferro e alumínio (CUNHA; MAGALHÃES JÚNIOR; PEDROTTI, 2019). Lepsch (2011) aponta que o alumínio e o óxido de ferro presentes nos minerais gibbsita e hematita, por exemplo, são resistentes e estáveis ao intemperismo. Os óxidos de ferro, em função das condições alternadas de oxidação e redução, tonam-se fortemente cimentados e endurecidos se expostos repetidamente a condições de umedecimento e secagem [...] os óxidos de alumínio por sua vez, são insolúveis (LEPSCH, 2011).

Essa combinação entre vegetação e solo como característica da baixa suscetibilidade à erosão foi relatada nos mais diversos biomas, conforme estudos de Caldas, Silva e Santos (2019), Claudino et al. (2020), Kubota et al. (2019) e Silva et al. (2020).

O nível de suscetibilidade moderado é o segundo em abrangência (14,58%), somando 199,03 km<sup>2</sup>, ocorrendo em todos os setores da bacia e, com maior frequência, onde o relevo é fortemente ondulado, com declividade entre 20 e 45%. Esse grau de declividade favorece o escoamento superficial semiconcentrado e concentrado e, conseqüentemente, há formação de canaletas e sulcos profundos, com a remoção do horizonte A (IBGE, 2009). Percebe-se, também, uma associação desse nível de suscetibilidade com as áreas descobertas, com área campestre e de uso pela agricultura, como detalhado no Mapa de Uso de Cobertura (Figura 5a), semelhante ao registrado por Claudino et al. (2020), em condições de solo e pluviosidade comparáveis às da BHTA.

Na avaliação do potencial erosivo de uma área, é preciso considerar um conjunto de fatores ativos (e.g. pluviosidade, capacidade de infiltração do solo, declividade) e passivos (resistência à erosão e cobertura vegetal), além dos usos e da ocupação antrópica (KUBOTA et al., 2019). Nessa perspectiva, observa-se que a alta suscetibilidade à erosão, no setor inferior, mantém íntima relação com a conversão da paisagem natural em uso urbano, incluindo a supressão da vegetação, a impermeabilização dos solos, a ocupação inadequada, sem planejamento e até ilegal de terras marginais. Aquelas áreas classificadas como de mineração igualmente estão mais sujeitas à ocorrência de processos erosivos, em razão não apenas da perda da cobertura natural que fragiliza o solo, mas do próprio processo de extração ou armazenamento do material (PEREIRA JÚNIOR e LIMA, 2018). No âmbito da BHTA, 10,93% de sua área apresenta alta suscetibilidade à erosão (Tabela 8).

Tabela 8 - Manaus (AM): Distribuição de percentual e área dos níveis de suscetibilidade à erosão do solo na BHTA por setores hidrográficos, 2021.

Nível de Suscetibilidade	Setores da BHTA					
	Superior		Intermediário		Inferior	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Muito Baixo	52,00	3,81	24,42	1,79	40,07	2,94
Baixo	406,62	29,79	237,95	17,43	253,60	18,58
Moderado	21,87	1,60	52,83	3,87	124,33	9,11
Alto	16,59	1,22	35,11	2,57	97,43	7,14
Muito Alto	0,32	0,02	1,14	0,08	0,55	0,04
Total	497,41	36,44	351,45	25,75	515,99	

Fonte - os autores (2021).



Nota-se que no setor superior da bacia encontram-se os menores níveis de suscetibilidade à erosão, com percentual de 29,79% baixo e 3,81% muito baixo (406,62 km<sup>2</sup> e 52,00 km<sup>2</sup>), sendo essa última classe mais expressiva nos demais setores, em razão do curso fluvial mais largo do rio Tarumã-Açu. No setor inferior o nível de suscetibilidade apresentou maiores percentuais na classe moderada, com aproximadamente 9%. É nesse setor da bacia que se encontra a porção com maior densidade populacional e alterações na paisagem. Todavia, o maior percentual de áreas com grau muito alto de suscetibilidade à erosão é encontrado no setor intermediário da bacia, com 1,14 km<sup>2</sup>, equivalente a 0,08% do total da bacia. Enquanto no curso inferior e superior essa classe representa cerca de 0,55 e 0,32 km<sup>2</sup>, respectivamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das geotecnologias, associado ao método AHP, mostrou-se eficaz na identificação de áreas suscetíveis à erosão na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu, o que sugere a possibilidade de utilização no estudo de outras bacias Amazônicas, urbanas e periurbanas, principalmente, em razão da disponibilidade de acesso sem custos às imagens de satélite, modelos de elevação e dados vetoriais, através de portais institucionais nacionais e internacionais (e.g. INPE, IBGE, EMBRAPA, CPRM, USGS). Combinando características naturais (tipos de solos, declividade e cobertura vegetal) e antrópicas (usos da terra), a classificação dessas áreas constitui ferramenta relevante de suporte à análise de unidades de paisagem, como as bacias hidrográficas, identificando as fragilidades e potencialidades e subsidiando o planejamento territorial e a gestão dos recursos naturais.

Os resultados apontam baixa suscetibilidade à erosão na bacia em áreas que aliam: solos do tipo Latossolo, relevo plano a ondulado e cobertura florestada. Nenhuma unidade geológica é determinante para essa configuração, uma vez que, dentro de uma mesma unidade podem ocorrer níveis altos e baixos de suscetibilidade. Essa conjugação de fatores torna o setor superior a região com maior porcentagem de áreas sujeitas a nível baixo de suscetibilidade. Estes aumentam à medida em que o declive se acentua, passando ao nível moderado; ou alto, se somado às intensas transformações antrópicas, tais como urbanização, agricultura, pecuária, piscicultura e mineração. Níveis muito altos de suscetibilidade só foram verificados em áreas com solos do tipo Gleissolo, submetidas a inundações dinâmicas ou permanentes, portanto, suscetíveis a processos erosivos fluviais, além de áreas com solo exposto, com declividades que vão de forte ondulado a íngreme.

Apesar dos níveis, predominantemente, baixos a moderados, a suscetibilidade da bacia do Rio Tarumã-Açu à erosão pode se intensificar em função da condição natural de alta pluviosidade da região na qual está inserida. Nesse sentido, são necessários o planejamento e a implementação de medidas de ordenamento da expansão urbana e manejo da paisagem natural, desencorajando práticas de desflorestamento massivo e incentivando iniciativas de preservação e restauração.

Notadamente menciona-se alguns órgãos e ações de planejamento, fiscalização e políticas públicas que dialogam com a problemática apontada neste artigo, como: a Secretaria de Estado do Amazonas do Meio Ambiente (SEMA) – responsável pelas políticas ambientais destinadas ao combate do desmatamento e queimadas ilegais – prestando apoio técnico e administrativo para o Comitê de Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu; o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), através do Cadastro Ambiental Rural com o mapeamento e monitoramento de áreas erodidas em áreas rurais; a Prefeitura de Manaus, por meio de instrumentos previstos no Plano Diretor estabelece o controle da expansão horizontal da cidade visando a preservação dos ambientes naturais do município, além disso, respeitando o recorte territorial das bacias hidrográficas no planejamento da cidade; a Secretaria de Estado de Produção Rural (SEPROR), que promove a produção agrícola sustentável, bem como o uso da atividade de cultivo baseado nos Sistemas Agroflorestais (SAFs) realizada pela agricultura familiar como alternativa para melhoria da qualidade dos recursos ambientais visando a redução dos impactos ambientais negativos.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (nº429928/2018-1), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM (nº062.00188/2019) e Universidade do Estado do Amazonas – UEA pelo auxílio financeiro e bolsa de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. R. C.; GAVINHO, C. A. Análise das condições de erodibilidade na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu – Manaus (AM). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5.; ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 1., 2004, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. p. 01-10.
- AMARAL, D. G. P.; LANA, C. E. Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto (MG). **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 51, p. 641-655, 2017. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27n51p642>
- AMARO, V. E.; CARVALHO, C. C.; MATOS, M. F. A.; INGUNZA, M. D.; SCUDELARI, C. A. Avaliação da Suscetibilidade do solo à erosão nas falésias do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 1, 2021, p.03 - 25. <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i1.1887>
- ANDRADE, S. L., FERREIRA, V. O., SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. **Caderno de Geografia**, v. 24, 1-16, 2014. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2014v24n4p1>
- ARAGÃO, F. A.; HORBE, A. M. C., CAMPELO, N. S., GERT, R. W. Caracterização das argilas quaternárias para utilização em cerâmica vermelha – Pólo – Oreiro de Iranduba e Manacapuru – AM. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9: conhecer para desenvolver. **Anais [...]**. Belém/ PA, 2006. Belém, 2006. p. 362-365.
- BARBOSA, R. I.; FEARNside, P. M.; Erosão do solo na Amazônia: estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 30. n. 4, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43922000304613>.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4ª. ed. São Paulo: Ícone. Cap, v. 7, p. 68-93, 1999.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/ lei/L12651compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm). Acesso em: 29 jan. 2020.
- BRITO, D. S.; LEITE, E. F. Aplicação da metodologia de DFC para avaliar o potencial erosivo natural da bacia hidrográfica do Rio Água Suja, Tocantins (Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 8, n. 03, p.736-750, 2015.
- BÜHRING, R. **Estudo da Dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal e elaboração de uma proposta de zoneamento para a Bacia Hidrográfica do Tarumã, Manaus-AM**. 2010. 242 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.
- CAIADO, R. G. G.; SIMÃO, V. G.; RANGEL, A. D.; QUELHAS, O. L. G.; LIMA, G. B. A. Análise multicritério da ecoeficiência do transporte de cargas com veículos leves. **Transportes**, v. 26, n. 1, p. 68-83, 2018.
- CALDAS, V. I. S. P.; SILVA, A. S.; SANTOS, J. P. C. Suscetibilidade à erosão dos solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e análise multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 12, n. 4, p.1415-1430, 2019.
- CAMARGO, R. A. Avaliação da suscetibilidade à erosão e proposição de zoneamento estratégico com vistas à sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Piranga, MG. 2012. 104 f. **Dissertação** (Mestrado) – Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC (Flood Risk Assessment in the Cubatão do Norte River Basin, Joinville/Santa Catarina–Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 124-138, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p124-138>
- CARVALHO, D. P.; MOLINARI, D. C. Caracterização das Voçorocas na BR-174: trecho Manaus- Presidente Figueiredo (Amazonas). **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 8, n. 2, p. 5-19, 2014. <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v8i2.2971>

- CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. P. D.; REGIS, R. D. D.; MEIRELLIS, T. L. Sustentabilidade socioambiental da mineração. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 47, p. 333-390, 2018.
- CLAUDINO, W. V.; OLIVEIRA, V. A. A.; SILVA, E. P.; SANTOS, S. K. F.; OLIVEIRA, A. S. Atributos físicos e conservacionistas da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Helena. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 1, p. 91-96, 2020.
- COSTA, F. E. V. **Uma experiência de gestão dos recursos hídricos: a criação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.
- COSTA, J. S. **Potenciais impactos da transformação da paisagem para a gestão da bacia hidrográfica do Tarumã-Açu (Amazônia Central)**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de recursos hídricos) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2020. 130 f.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos – SP, p. 26, 1996.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos – SP, p. 103, 2001.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F.; SILVA, E. F. Zoneamento Ecológico-Econômico. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 285-318, 2008.
- CUNHA, B. G.; MAGALHÃES JÚNIOR, E. B.; PEDROTTI, A. Erodibilidade dos solos do entorno do reservatório da barragem Jaime Umbelino de Souza, São Cristóvão, Sergipe. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 7, p. 10196-10205, jul. 2019.
- CUNHA, H. N.; ALBA, J. M. F.; MIURA, A. K.; SALDANHA, D. L. Análise da suscetibilidade à erosão da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã (RS). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 65, p. 16-28, mar. 2018.
- EDUARDO, E. N.; CARVALHO, D. F.; MACHADO, R. L.; SOARES, P. F. C.; ALMEIDA, W. S. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 37, p. 796-803, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300026>
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Diagnóstico socioambiental do projeto de assentamento Tarumã-Mirim**. Manaus: INCRA; SEPROR, 2003.
- FARIA, D.; AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 34, n. 1, jun. 2013.
- FARIAS, A. F. G. F.; SOUSA, R. F. Utilização de Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico no Cálculo do NDVI do Município de João Pessoa. **Revista Principia**, João Pessoa, n. 20, p. 47-57, jul. 2012.
- FERNANDES, J. C.; PEIXOTO, R. A. O.; SCHMIDT, M. A. R.; PEREIRA, C. E. Análise multicritério com uso da AHP para avaliação temporal na vulnerabilidade ambiental: estudo de caso na bacia hidrográfica do Uberabinha, MG. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [sal.], v. 8, n. 3, p.141-158, 3 out. 2019. <https://doi.org/10.19177/rqsa.v8e32019141-158>
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FUSHITA, A.T.; CAMARGO-BORTOLIN, L. H. G.; ARANTES, E. M., Moreira, M. A. A.; CANÇADO, C. J.; LORANDI, R. Fragilidade Ambiental associada ao risco potencial de erosão de uma área da região geoeconômica médio Mogi Guaçu superior (SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 4, p. 477-488, 2011.
- FREITAS, R.S.; BOIJINK, C.L.; MUNIZ, A.W.; DAIRIKI, J.K.; INOUE, L. A. K. Qualidade da água e perspectiva para gerenciamento ambiental dos cultivos Tambaqui no município de Rio Preto da Eva, AM. **Scientia Amazonia**, v. 3, n.1, 116-126, 2014.

GEOTAP - Grupo de Pesquisa De Geotecnologias e Análise da Paisagem. **Banco de dados do projeto Monitoramento das águas do igarapé Tarumã-Açu por Sensoriamento Remoto (2019-2021)**. Disponível no Google Drive. Universidade do Estado do Amazonas: Manaus, 2020.

GIRÃO, Í. R. F. Debate conceitual sobre vulnerabilidade social e susceptibilidade aos riscos. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 3987-3998, 2017

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: riscos socioambientais, vulnerabilidade e suscetibilidade. **REGNE**, [s. l.], v. 4, n. especial, p. 71-83, 2018.

GOMES, C. S. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. **Cadernos do Leste**, Belo Horizonte, v. 19, n. 19, p. 63-78, jan./dez. 2019.

GOMES, F. B. R.; FAGUNDES, P. B. S. S.; CASTRO, S. R.; RIBEIRO, C. B. M. Avaliação de impactos ambientais do desastre de Brumadinho – MG pela proposição de valores de referência. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 01-20, jan./jun. 2020.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 11 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p.149-210, 2012

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, p. 225 – 251.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010: Agregados por Setores Censitários**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=10410&t=resultados>. Acesso em: 10 jul. 2019.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Pedologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

\_\_\_\_\_. **DTB - Divisão Territorial Brasileira**. Banco de dados Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/23701-divisao-territorial-brasileira.html?edicao=27715&t=downloads>. Acesso em: 16 set. 2021.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil. **Normal climatológica (1990/2017)**. Manaus - AM, 2020.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Adamantina, São Paulo. São José dos Campos: INPE. **Catálogo de Imagens**. Imagem de satélite 26 de julho de 2016. Satélite Landsat-8 OLI. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br>. Acesso em: 20 out. 2019.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) versão 5.5.6 (desktop)**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2019.

KUBOTA, N. A.; PRATA, T. C.; LIMA, I. F.; LIMA, A. M. M. Hidrogeomorfologia e suscetibilidade a erosão da Bacia do Rio Gurupi (PA-MA). **Rev. Geogr. Acadêmica**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 67-89, 2019.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 159-174, mar. 1977. <https://doi.org/10.2307/2529310>

LEPSCH, Igo F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LOURENÇO, R. W.; CUNHA E SILVA, D. C.; SALES, J. C. A.; MEDEIROS, G. A.; OTERO, R. A. P. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 122-140, 2015.

LUNARDON, K. A. F. Aplicação da análise multicritério para espacialização de condicionantes de focos de *Aedes aegypti* em Curitiba/Pr. **Hygeia-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 13, n. 26, p. 87-97, 2017.

MAIA, M. A. M. **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Org. MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Manaus: CPRM, 2010.



- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. Clima da região Amazônica. In: Cavalcanti, I. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.
- MATOS, F. D. A.; SILVA, K. E. Detecção de mudanças na cobertura vegetal da cidade de Manaus e seu entorno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: INPE, 2005. p. 609-616.
- MEIRELLES, E. O; DOURADO, F.; COSTA, V.C. Análise multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa na bacia do rio Paquequer-RJ. **Geo UERJ**, n. 33, p. 26037, 2018.
- MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto**. Brasília: Unb; Cnpq, 2012. p. 191-208.
- MOLINARI, D. C.; DONALD, A. R.; ALVES, N. S. Notas geológico-geomorfológica da BR-174: trecho Manaus - Santo Antônio do Abonari (Presidente Figueredo) - Amazonas (AM). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais** [...]. Viçosa, 2009.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- PACHECO, F. A. L. et al. Land degradation: Multiple environmental consequences and routes to neutrality. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 5, p. 79-86, 2018.
- PACHECO, F. A. L. et al. Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. **Science of the Total Environment**, v. 485, p. 110-120, 2014.
- PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S. M. dos; OLIVEIRA, A. T. de; ARAÚJO, R. L.; SILVAJR, J. A. L. da; ARIDE, P. H. R. Pró-rural aquícultura: relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do estado do Amazonas, Brasil. **Revista de Extensão do IFAM**, v. 1, n. 1, p. 35-45, abr. 2015.
- PEREIRA JÚNIOR, A.; LIMA, N. C. A. Avaliação qualitativa dos impactos ambientais durante o processo produtivo da mineração de areia no Rio Xingú, Altamira-PA. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 230-259, abr./jun. 2018.  
<https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018230-259>
- PINESE JÚNIOR, J.F.; RODRIGUES, S. C. O método de Análise Hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 23, p. 4-26, 2012. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0001>
- PINTO, R.W.P.; MOTA, M.; ANDRADE, N.F.; FRAIFELD, F. Influências geológicas e geomorfológicas na pedogênese em um trecho da região Amazônica e suas respostas erosivas. **Seminário de Geografia – SEGEO: Dinâmicas das Paisagens – São Gonçalo**, 2012.
- PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em: 21 ago. 2021.
- QGIS Development Team, 2021. **QGIS 3.16.4. Geographic Information System Installation Guide**. Open Source Geospatial Foundation Project. Electronic document: [http://www.qgis.org/wiki/Installation\\_Guide](http://www.qgis.org/wiki/Installation_Guide). Acesso em: 20 jun. 2021.
- REBELLO, A. A erosão no Contexto das bacias hidrográficas. In: REBELLO, A. (Org.). **Contribuições teórico-metodológicas da Geografia Física**. Manaus: EDUA, p. 9-31, 2010.
- RIBEIRO, A.S.; MINCATO, R.L.; CURTI, N.; KAWAKUVO, F. S. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 01, p. 016-031, 2016.
- RIKER, S. R. L.; LIMA, F. J. C.; MOTTA, M. B.; SILVA, D. P. B. Geologia e recursos minerais da região metropolitana de Manaus, Estado do Amazonas: escala de integração 1:500.000. Manaus: CPRM, 2016.
- ROSS, J. L. S. **Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 4, p. 25-39, 1985. <https://doi.org/10.7154/RDG.1985.0004.0004>
- SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**. Planning, Priority Setting, Resource Allocation; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1980.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. 10 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 229-268, 2015.

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.

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

SILVA JUNIOR, C.H.L.; FREIRE, A.T.G.; MENDES, J.J. Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico – AHP na avaliação da qualidade ambiental de nascentes. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 9, n. 19, p. 292-303, ago. 2015.

<https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2702.058-068>

SILVA NETO, J.C.A. **Zoneamento Ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS**. 2013. Tese (Doutorado) – Curso de Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013, 219 f.

SILVA, T. A.; DUARTE, M. L.; GATO, L. C.; GUANDIQUE, M. E. G. Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Candeias, RO. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife v. 5, n. 1, p. 58-68, 2020.

SIOLI, H. **Amazônia**: Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais. Petrópolis: Vozes, 1985. 72 p.

SIOLI, H.; KLINGE, H. **Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, [Belém], n. 1, p. 01-18, 1962.

SOUZA, J. L. L. L.; GOMES, T. S.; DIAS, R. S.; SANTOS, R. L. A utilização da Geotecnologia enquanto ferramenta de análise da suscetibilidade à erosão do solo no semi-árido baiano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: INPE, 2011. p.4303.

SOUZA, J. L. L. L.; BORGES, I. G. M.; SANTOS, R. L. 2015. Avaliação da eficiência do modelo AHP na análise de vulnerabilidade a erosão do município de Morro do Chapéu, BA. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 17, João Pessoa. **Anais [...]**. INPE, 25-29/abril/15, p. 5042- 5049.

TEIXEIRA, G. W. et al. Solos. In: MAIA, Maria Adelaide Mansini; MARMOS, José Luiz (Org.). **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 6, p. 71-86.

TORRES, F. S. M. **Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do Município de Ipojuca - PE**. 2014, 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

USGS - United States Geological Survey. **Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled**. Disponível em: [https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non-void-filled?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non-void-filled?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects). Acesso em: 14 abr. 2021.

VALE JUNIOR, J. F. et al. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p. 158-165, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.10.015>

VALLE JUNIOR, R. F.; VARANDAS, S.; PEREIRA, R.V.; SANTOS, F.C.; CORTES, R.; FERNANDES, L.F.S. Impacts of land use conflicts on riverine ecosystems. **Land Use Policy**, v. 43, p. 48-62, 2015. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i2.562>

VALERA, C. A. et al. The role of environmental land use conflicts in soil fertility: A study on the Uberaba River basin, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 562, p. 463-473, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.046>

VASCONCELOS, M. A. **Estudo da paisagem do setor sul da bacia hidrográfica do Tarumã-Açu, Manaus, utilizando imagens multipolarizadas do radar ALOS/PALSAR**. 2012. 75 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia,  
Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

WACHHOLZ, F.; FERREIRA JÚNIOR, J. C.; COLARES, I. S.; MAIA, S. A. Caracterização física e  
socioeconômica da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu – Amazonas. In: WORKSHOP  
INTERNACIONAL SOBRE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM BACIAS  
HIDROGRÁFICAS, 7., 2019, Manaus. **Anais** [...]. Manaus: UEA, 2019.

---

Recebido em: 26/04/2021

Aceito para publicação em: 16/09/2021