

PAISAGEM E DINÂMICA EROSIVA DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO NA BACIA AMAZÔNICA

LANDSCAPE AND FLOODPLAIN EROSION DYNAMICS IN THE AMAZON BASIN

PAISAJE Y DINÁMICA EROSIVA DE LA LLANURA INUNDABLE EN LA CUENCA AMAZÓNICA

Marina Nascimento Alves Vieira¹

Aline Maria Meiguins de Lima²

Resumo: A Planície de Inundação Amazônica apresenta dinâmica própria cuja configuração atual é herdada dos processos cenozoicos que formaram a bacia hidrográfica do rio Amazonas; a compreensão da ação erosiva atuante foi o principal objeto adotado, conduzindo a investigar a ocorrência de processos erosivos de origem fluvial, os conceitos aplicados e risco social resultante. Adotou-se um conjunto de pesquisas realizadas, visando quantificar e qualificar a erosão fluvial e a ocorrência de movimentos de massa; a delimitação das áreas de segmentos de drenagem influentes; sua caracterização geológica e geomorfológica; associação com a presença de cidades e demais localidades; e avaliação integrada dos indicadores gerados. Do total 33,01% da região avaliada apresentaram baixo potencial a ocorrência de processos erosivos e 53,85% de alto. Porém, quanto a localização das áreas de ocupação, 56,38% estão em regiões de média exposição e 35,42% de alta. O padrão identificado representa a necessidade da gestão de riscos integrada na região e a ampliação das pesquisas visando a melhor definição dos processos e de seus agentes causadores.

Palavras-chave: Morfodinâmica fluvial, Grau de exposição, Movimentos de massa.

Abstract: The Amazon Floodplain has its own dynamics, the current configuration of which is inherited from the cenozoic processes that formed the Amazon basin; understanding the erosive action at work was the main objective adopted, leading to the study of the occurrence of erosive processes of fluvial origin, the concepts applied and the resulting social risk. A set of research studies that quantify and qualify river erosion and the occurrence of mass movements were adopted, associated with influential areas of drainage segment definition, their geological and geomorphological characterization, the presence of cities and other locations, and integrated evaluation of the indicators generated. Of the total, 33.01% of the assessed areas have a low potential for erosion and 53.85% have a high potential. However, in terms of the location of the occupied areas, 56.38% are located in areas of medium exposure and 35.42% have high potential. This pattern highlights the need for integrated risk management in the region. Research should also be stepped up to better define the processes and their causes.

Keywords: River morphodynamics, Exposure degree, Mass movements.

¹Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará. Engenheira Civil pelo Centro Universitário Metropolitano da Amazônia. Email: marinaalvesv@gmail.com. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0003-1908-6767>.

² Doutora em Desenvolvimento Socioambiental - Núcleo de Estudos Amazônicos - Universidade Federal do Pará (2007). Professora da Universidade Federal do Pará (UFPA). Email: ameiguins@ufpa.br. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-0594-0187>.

Resumen: La Llanura Aluvial Amazónica tiene una dinámica propia cuya configuración actual es heredada de los procesos cenozoicos que formaron la cuenca del río Amazonas. El principal objetivo adoptado fue comprender la acción erosiva activa, lo que llevó a investigar la ocurrencia de procesos erosivos de origen fluvial, los conceptos aplicados y el riesgo social resultante. Se adoptó un conjunto de investigaciones realizadas con el objetivo de cuantificar y calificar la erosión fluvial y la ocurrencia de movimientos en masa, delimitar las áreas de segmentos de drenaje influyentes, caracterizar geológicamente y geomorfológicamente dichos segmentos, y asociar su presencia con la de ciudades y otros lugares, además de evaluar de forma integrada los indicadores generados. Del total, el 33,01 % de la región evaluada tuvo un potencial bajo para la ocurrencia de dichos procesos y el 53,85 %, alto. Sin embargo, en cuanto a la ubicación de las áreas de ocupación, el 56,38 % se encuentran en regiones de exposición media y el 35,42 % en regiones de exposición alta. El patrón identificado representa la necesidad de una gestión integrada del riesgo en la región y de ampliar investigaciones encaminadas a definir mejor los procesos y sus agentes causales.

Palabras clave: Morfodinâmica fluvial, Grado de exposição, Movimentos de massas.

Introdução

A erosão fluvial retrata um processo natural responsável pela formação dos diversos modelados que compõe a paisagem. Os fatores físicos de maior intervenção estão relacionados ao regime hidrológico e a formação geológica (erodibilidade), sendo esta diretamente vinculada aos processos de definição das coberturas de intemperismo (rocha alterada a solo residual) e ao controle tectônico que condiciona as principais estruturas formadoras.

A intensidade e formas de ocorrência dos processos erosivos são diversas, sendo relacionadas aos seus agentes potenciais, dentre estes a água exerce um fator preponderante. Tanto pela ação da água das chuvas (erosividade) quanto pela ação direta do escoamento superficial (runoff) ou subterrâneo, a resposta erosiva é contínua (Yao *et al.*, 2016), variando apenas quanto aos fatores temporais e espaciais de distribuição (Souza *et al.*, 2018; Wittmann *et al.*, 2022).

Sistemas fluviais complexos, como a bacia Amazônica, não possibilitam análises generalistas, pois além do volume de água, tem-se a diversidade geológica das sub-bacias formadoras. A carga sedimentar transportada pelos rios amazônicos retrata inclusive uma forma de classificação de suas águas, como de águas claras (com muito sedimento) e escurias (com maior matéria orgânica) (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2003). Além disto, constitui uma extensa planície de inundação com formas geomorfológicas diversas, tais como, terraços, diques, ilhas fluviais e meandros abandonados; estes são produzidos e

condicionados pelos processos de acreção e denudação continuados (Lima da Silva *et al.*, 2007; Calvès *et al.*, 2019).

A diversidade de formas de ocorrência dos processos erosivos, resulta em outra questão que trata da dificuldade de entender como estes ocorrem e quem são os agentes de maior influência. O regime fluvial impõe condições de vazão e variação de nível das águas, esta pode ser sazonal, de acordo com o período chuvoso e menos chuvoso da região, ou acrescida do efeito das marés, que traduz em uma variação diurna (Fassoni-Andrade *et al.*, 2021). A resposta deste sobre o perfil solo-rocha formador da bacia hidrográfica incide diretamente na resistência deste material à remoção pela força das águas (Moragoda *et al.*, 2022).

O intemperismo químico e físico forma os perfis constituintes da planície de inundação e induz a presença de resistências diferenciadas. O perfil rochoso responde de forma mais lenta a erosão que o perfil alterado, devido à presença dominante do solo residual ou da fração solo-rocha compondo uma matriz heterogênea (Batista *et al.*, 2019). As porosidades primária e secundária condicionam o comportamento da permeabilidade, que implica diretamente no potencial de percolação da água no perfil. Assim, a variabilidade do grau de saturação da água no perfil contribui para um comportamento mais fluido do material, resultando no seu deslocamento e posterior transporte (Gan *et al.*, 2024).

Os minerais formadores do perfil solo-rocha passam a ter relevância, pois o alto grau de absorção de água, pode implicar em intemperismo físico-químico elevado, onde a variação volumétrica resultante da mudança do grau de saturação tem um efeito erosivo intenso, de resposta imediata e que pode deslocar grandes volumes de material inconsolidado (Alfaia *et al.*, 2022). Este processo, mapeado inicialmente no rio Solimões, passou a ser conhecido localmente como “terrás caídas” (Souza *et al.*, 2021).

Em síntese, a definição da categoria de processo erosivo dominante depende do conhecimento do sistema onde ele está atuando e dos principais condicionantes de modelamento da paisagem. O fator antrópico se posiciona como um elemento histórico (Macedo *et al.*, 2019) e catalizador, pois o crescimento das cidades marginais aos rios e as formas de intensificação do uso do solo, resultam no aumento da susceptibilidade, favorecendo que as perdas do recurso natural (solo), tenham o acréscimo das componentes social e econômica da região afetada (Morais *et al.*, 2008; Cortes *et al.*, 2020).

A planície do rio Amazonas tem como rio formador principal o rio Amazonas, seu potencial reflete os valores contabilizados de 10% da carga dissolvida e 3% da carga de sedimentos suspensa contribuintes ao oceano Atlântico; esta complexa arquitetura compõe um sistema formado por uma drenagem orientada de W para E, a rede é controlada estruturas topográficas relacionadas à evolução recente da Placa Sul-Americana e da Cordilheira dos Andes; disto resulta na paisagem recente, em um rio com elevada carga de sedimentos finos suspensos e pela planície de inundação lateral com uma cobertura vegetal diversa, responsável pela formação de ecossistemas típicos da planície (Latrubesse, 2008; Moreira-Turcq *et al.*, 2018; Calvès *et al.*, 2019).

A carga sedimentar que transita na bacia é mista de origem predominantemente andina, configurando um perfil marcado pela deposição de uma sucessão mista de sedimentos clásticos e de carbonatos continua, que a partir do Mioceno, resultaram em uma contribuição maior, produzindo toda a configuração do delta-estuário Amazônico e a formação de uma sequência do Pleistoceno-Holoceno, situada na extensão distal do leque submarino (Hoorn *et al.*, 2017).

A dinâmica da planície amazônica entendida pela análise dos ecossistemas formadores (Wittmann *et al.*, 2022; Householder *et al.*, 2024), dos aspectos geológicos-geomorfológicos (Lima da Silva *et al.*, 2007; Calvès *et al.*, 2019) ou pelas relações estabelecidas pelos componentes do balanço hídrico (Rocha *et al.*, 2017; Heerspink *et al.*, 2020) tem por consequência a estruturação de um mosaico de paisagens, distribuídos desde os limites com a Cordilheira dos Andes, até a sua foz no oceano Atlântico (Rozo *et al.*, 2012; Espinoza-Villar *et al.*, 2018; Quintana-Cobo *et al.*, 2018). Considerando as diferentes abordagens relativas a origem da ação erosiva relacionada ao sistema hidrológico, esta pesquisa teve por objetivo avaliar a ocorrência dos processos de erosão fluvial ao longo da planície amazônica, a diversidade dos conceitos aplicados e risco social resultante.

Material e Métodos

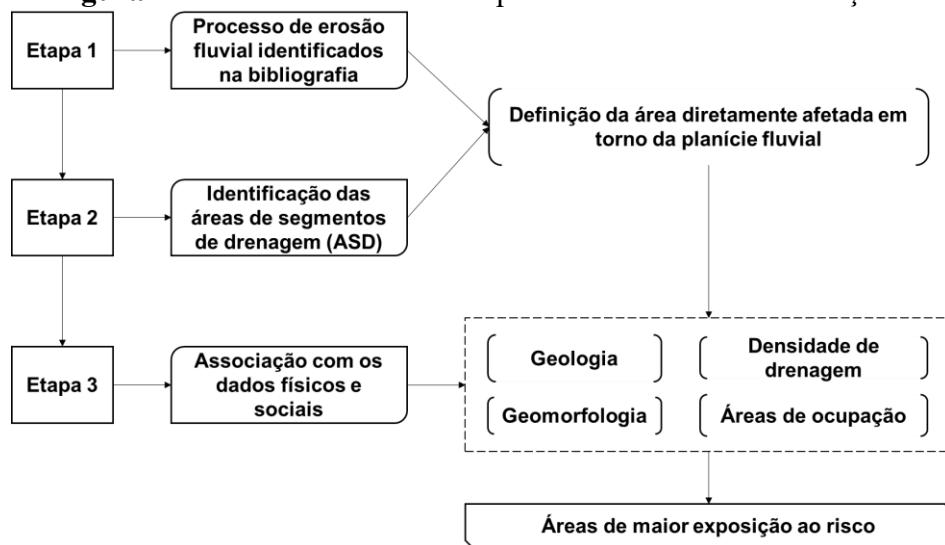
As bases de referência adotadas para elaboração do sistema de informações geográficas (SIG) de suporte às análises constou: rede hidrográfica ottocodificada da ANA (2019); mapa hidrogeológico do Brasil elaborado pela CPRM/SGB (2014); dados logísticos (localidades, cidades, vias de acesso) do IBGE (2024); mapa de unidades de

relevo do IBGE (2006); e da base de dados gerada a partir do levantamento de pesquisas com a temática “erosão fluvial” de 2000 a 2022 na bacia Amazônica.

O processo de extração das informações primárias utilizou de fontes diversas (artigos, dissertações, teses e relatórios técnicos de serviços públicos a partir de bases online, como SciELO, WorldWebScience, Portal Periódicos Capes e Repositórios Institucionais), com a identificação da forma de caracterização do processo: se a partir de dados primários ou secundários; obtidos e tratados em campo; com análises físicas; ou de vulnerabilidade socioeconômica. O universo temporal adotado foi pós anos 2000 para melhor uniformidade das metodologias adotadas, principalmente as que usam geotecnologias como suporte.

A área de interesse foi definida na planície fluvial do rio Amazonas, sendo delimitada a partir da reclassificação das áreas de segmentos de drenagem (ASD), segundo o nível 6 do sistema de codificação de Otto Pfafstetter (ANA, 2019), organizadas de acordo com: (a) as ASDs diretamente afetadas pelos processos erosivos, coincidentes com os locais onde as pesquisas foram realizadas; e (b) as de probabilidade de ocorrência ou influência, que representam as ASD que interligam as áreas identificadas ou proximais. De forma complementar, na delimitação da faixa 100 km a partir do limite das ASDs, foram utilizados o Índice de Segurança Hídrica - ISH (ANA, 2020) e a base de Setorização de Riscos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB, 2022), a fim de estimar o limite espacial a ser considerado para avaliação da população vulnerável ao fenômeno de erosão fluvial (IPT, 2007; Bandeira *et al.*, 2018; Lana *et al.*, 2021; Souza e Oliveira, 2022; Teixeira e Conceição, 2022).

O procedimento adotado constou das etapas de: (1) identificação dos pontos onde foram realizadas as pesquisas associadas ao processo de erosão fluvial, incluindo a ocorrência de “terrás caídas”; (2) definição das ASDs com base nos pontos definidos na etapa 1, acrescido de um raio de 100 km a partir do limite destas; (3) caracterização geológica e geomorfológica da área de planície definida; (4) associação da área definida pelas ASDs, com os agrupamentos envolvendo cidades e demais localidades contidas nestas; e (5) avaliação integrada com os indicadores, utilizando superposição cartográfica (álgebra de mapas) e posterior reclassificação segundo os maiores graus de exposição à ocorrência de processos erosivos identificados. A sequência adotada é apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Sistemática adotada de processamento das informações.

Resultados

Avaliação quantitativa e espacial das áreas investigadas

A avaliação das diferentes abordagens de estudos relativos às pesquisas de processos erosivos na região amazônica gerou a distribuição apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais abordagens adotadas: Grupo 1 - estudos com revisão bibliográfica; Grupo 2 - pesquisas com enfoque metodológico diverso; Grupo 3 - levantamentos de dados primários associados; Grupo 4 - dados socioeconômicos gerados.

Autores	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Alencar <i>et al.</i> (2014)		X		X
Azevedo Filho (2018)	X		X	
Bandeira e Teixeira (2020)			X	
Bandeira <i>et al.</i> (2018)		X		
Bandeira <i>et al.</i> (2019)			X	
Bandeira <i>et al.</i> (2021)		X		
Carvalho (2006)	X	X	X	X
Carvalho e Cunha (2011)			X	X
Carvalho <i>et al.</i> (2009)			X	X
Freitas (2009)	X	X	X	
Freitas e Albuquerque (2012)			X	
Gonzalez <i>et al.</i> (2022)	X		X	
Guimarães <i>et al.</i> (2019)				X
Jacauna (2019)	X		X	X
Labadessa (2011)	X		X	X
Labadessa (2014)	X		X	X
Lopes e Rodrigues (2014)	X	X	X	
Magalhães (2011)	X	X	X	
Magalhães e Gomes (2013)		X	X	
Magalhães e Vieira (2018)			X	
Marques (2017)	X			
Matos (2019)	X		X	X
Matos e Nogueira (2014)	X		X	X
Mazoca (2017)	X			

Melo <i>et al.</i> (2012)	X		X	
Moraes <i>et al.</i> (2008)		X		
Pacheco <i>et al.</i> (2012)				X
Queiroz e Alves (2021)		X	X	
Queiroz e Carvalho (2021)		X		
Queiroz e Tomaz Neto (2019)			X	
Queiroz <i>et al.</i> (2018)	X		X	X
Reis (2022)	X	X	X	X
Ribeiro (2018)	X		X	
Rodrigues (2014)	X			
Sadala (2020)	X			X
Santos (2020)				X
Serrão e Lima (2013)		X		X
Silva e Andrade (2019)		X	X	
Silva e Noda (2016)			X	X
Silva <i>et al.</i> (2019)			X	
Silva Jr. <i>et al.</i> (2020)	X			
Sousa <i>et al.</i> (2020)	X			
Sousa e Campelo (2020)		X	X	
Souza (2019)	X	X	X	
Souza e Oliveira (2022)		X		
Teixeira e Melo Jr. (2019)		X		
Teixeira <i>et al.</i> (2019)		X	X	
Vale <i>et al.</i> (2019)				X

Fonte: Adaptado de Vieira (2024).

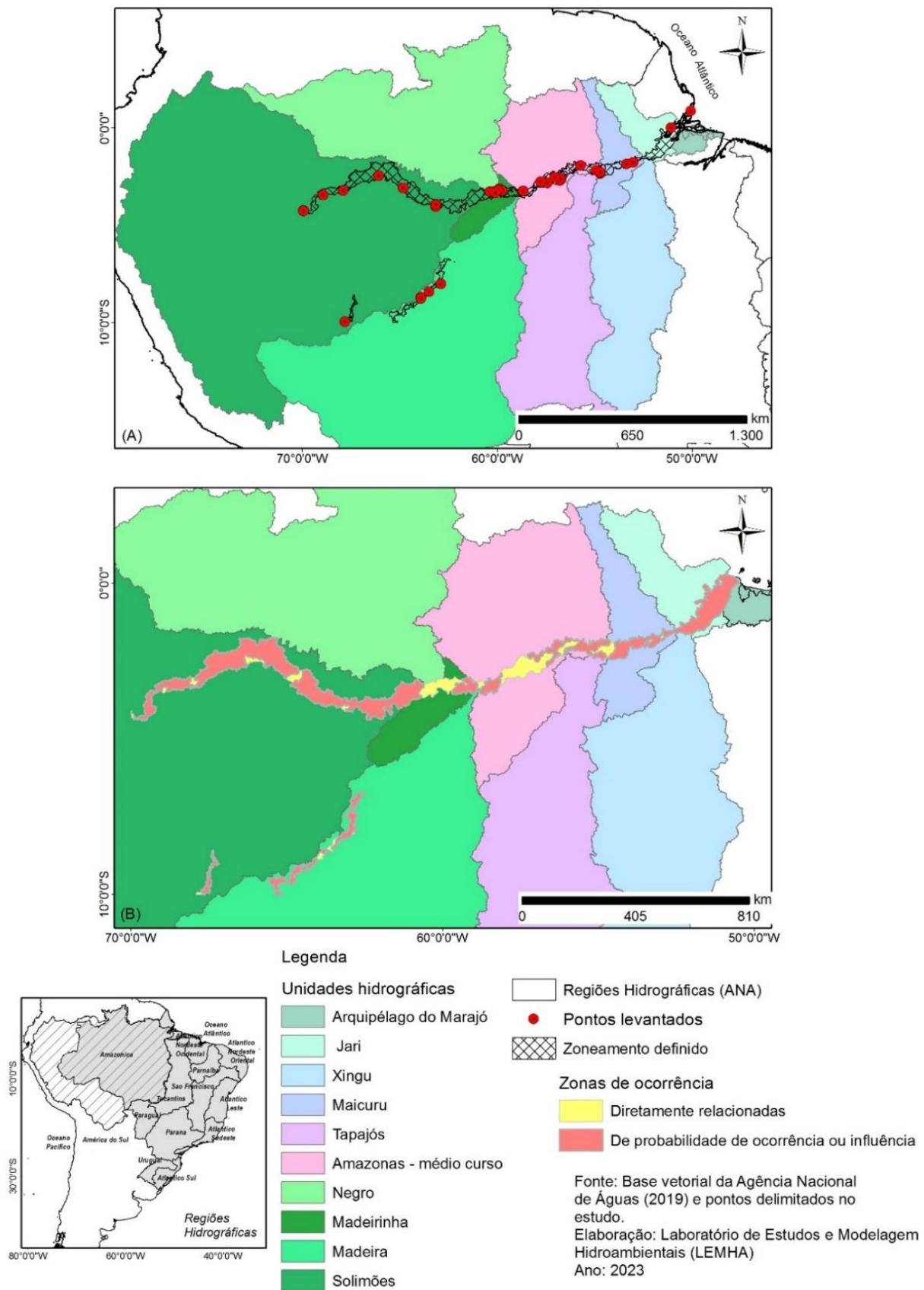
O agrupamento formulado configurou 4 conjuntos que traduzem: (1) estudos que abrangem de forma mais discursiva aspectos de revisão bibliográfica no seu escopo; (2) pesquisas que destacam-se pela adoção de critérios metodológicos específicos, tais como, estudos de caso, análise multicritério, modelagem de múltiplas variáveis e aplicação de técnicas de geoprocessamento; (3) nesse agrupamento foram reunidas as pesquisas que detiveram-se a geração de dados primários de campo, envolvendo ensaio de solos, medições *in situ*, observações de campo e investigações utilizando técnicas de monitoramento diversas; e (4) os estudos que buscam a avaliação socioeconômica das informações com o desenvolvimento do levantamento de dados secundários, aplicação de entrevistas e questionários.

A proposição de agrupamentos não exclui a possibilidade do envolvimento de mais de uma abordagem. A diversidade de formas de análise fortalece a hipótese de que discutir processos erosivos na bacia amazônica, além das dificuldades logísticas, tem necessidade de adequação de método em decorrência da diversidade de fatores associados, que são naturalmente resposta da complexidade do sistema fluvial amazônico, somado ao crescente antropismo ocorrido ao longo das margens dos rios.

O uso de geotecnologias mostrou-se a alternativa mais acessível para monitorar e avaliar as dimensões amazônicas, principalmente para conseguir transpor amostragens setoriais para áreas mais amplas ao longo da bacia. Destaca-se que o horizonte apresentado não inclui trabalhos de natureza geológica que discutem a bacia sedimentar do rio Amazonas e os processos geomorfológicos responsáveis pela sua evolução. Os autores pesquisados abordam os processos descritos como terras caídas, erosões fluviais e movimentos de massa marginais ao leito dos rios, que representam fatores de risco às comunidades ribeirinhas marginais da bacia hidrográfica.

A escolha desta diretriz, justifica-se pela necessidade da representação espacial do universo amostrado, com o objetivo de identificar a áreas de maior correção com os processos erosivos e seu potencial ameaça social e econômica para a região, como o definido pela Figura 1. As ocorrências registradas no Quadro 1 foram identificadas na Figura 1, considerando as áreas de segmento de drenagem correspondentes (ASD) para a descrição das características do ambiente associado.

Figura 1 - (a) Faixa da planície amazônica amostrada. (b) Classificação segundo as áreas de segmentos de drenagem (ASD).



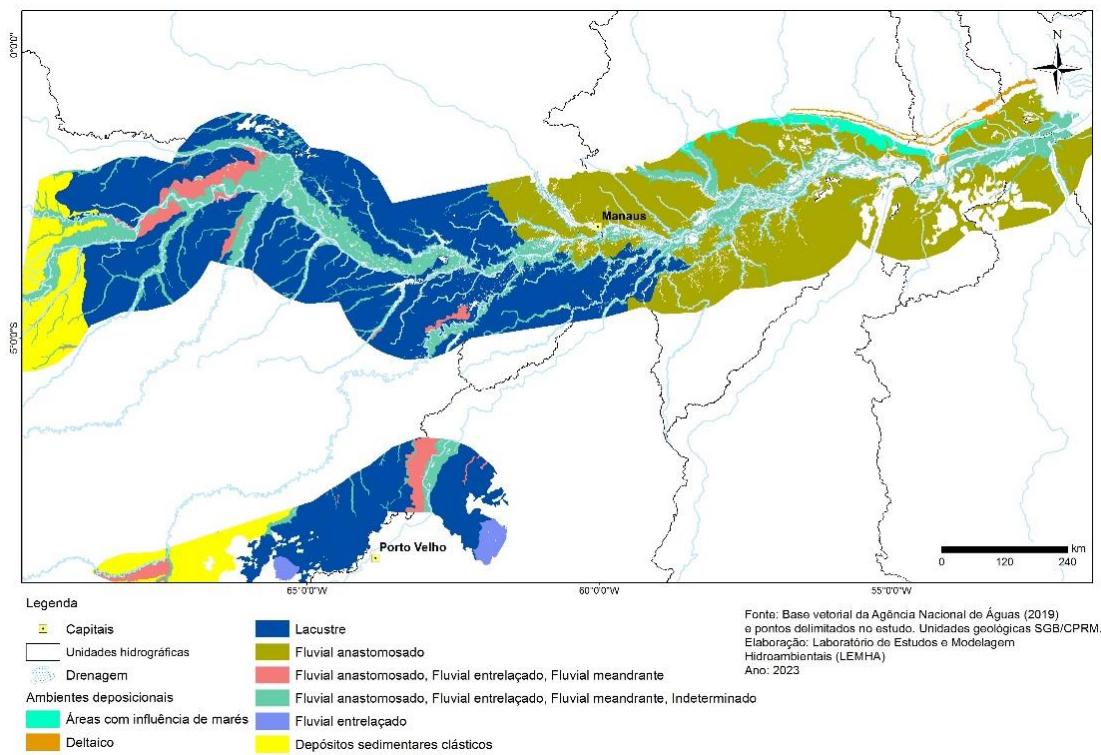
No horizonte dos estudos a totalidade da planície amazônica já havia sido recoberta por pesquisas desde o médio curso do rio Solimões até a foz do rio Amazonas. Este é um fator que demonstra a continuidade dos processos ao longo da faixa marginal, seja nas ASD diretamente afetadas, ou nas que indicam conectividade entre as mesmas, descritas como áreas de probabilidade de ocorrência ou de influência.

Interpretação segundo o potencial erosivo

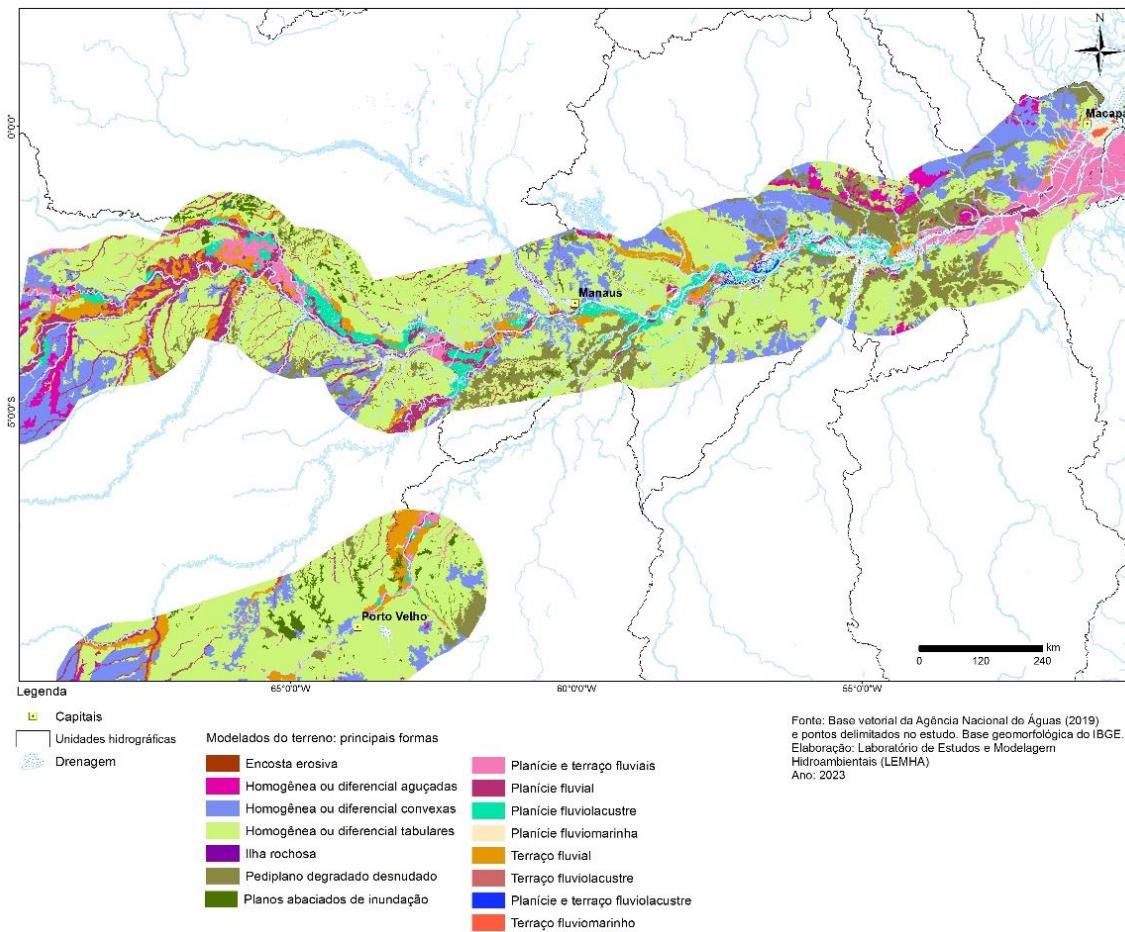
A Figura 2 descreve os fatores geológicos-geomorfológicos que influenciam as ASD, admitindo uma faixa de 100 km a partir do limite destas. O resultante da interpretação das características descritas, indica que (IBGE, 2006; CPRM/SGB, 2014):

- (a) Na região de maior abrangência das pesquisas dominam encostas erosivas associadas a formas de dissecação com grande densidade de incisões resultantes da atuação predominante do escoamento concentrado. Estas concentram-se em terrenos sedimentares com a presença de areias, conglomerados, argilas e cascalhos.
- (b) Nas regiões de rochas cristalinas dominam formas homogêneas, com relevos de topos estreitos e alongados, denotando controle estrutural, com forte direcionamento dos vales encaixados.
- (c) O sistema fluvial é marcado por padrões anastomosados, fluvial entrelaçado, fluvial meandrante, treliça, retangular e outros menores como o padrão dendrítico, presente nas áreas de menor controle estrutural ou do relevo.
- (d) Outra forma de destaque são os relevos de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas, denotando eventual controle estrutural. Além da presença de superfícies de aplanamento em consequência de mudança do sistema morfogenético, apresentando topos conservados, geralmente separados por escarpas.
- (e) As áreas planas são resultantes de processos de acumulação fluvial/lacustre, podendo comportar canais anastomosados ou diques marginais, com ou sem ruptura de declive. Estas são sujeitas a inundações periódicas, incluindo as várzeas atuais, podendo conter lagos de meandros, furos e diques aluviais paralelos ao leito atual do rio.

Figura 2 - Aspectos (a) geológicos e (b) geomorfológicos do entorno das ASD de referência.



(a)

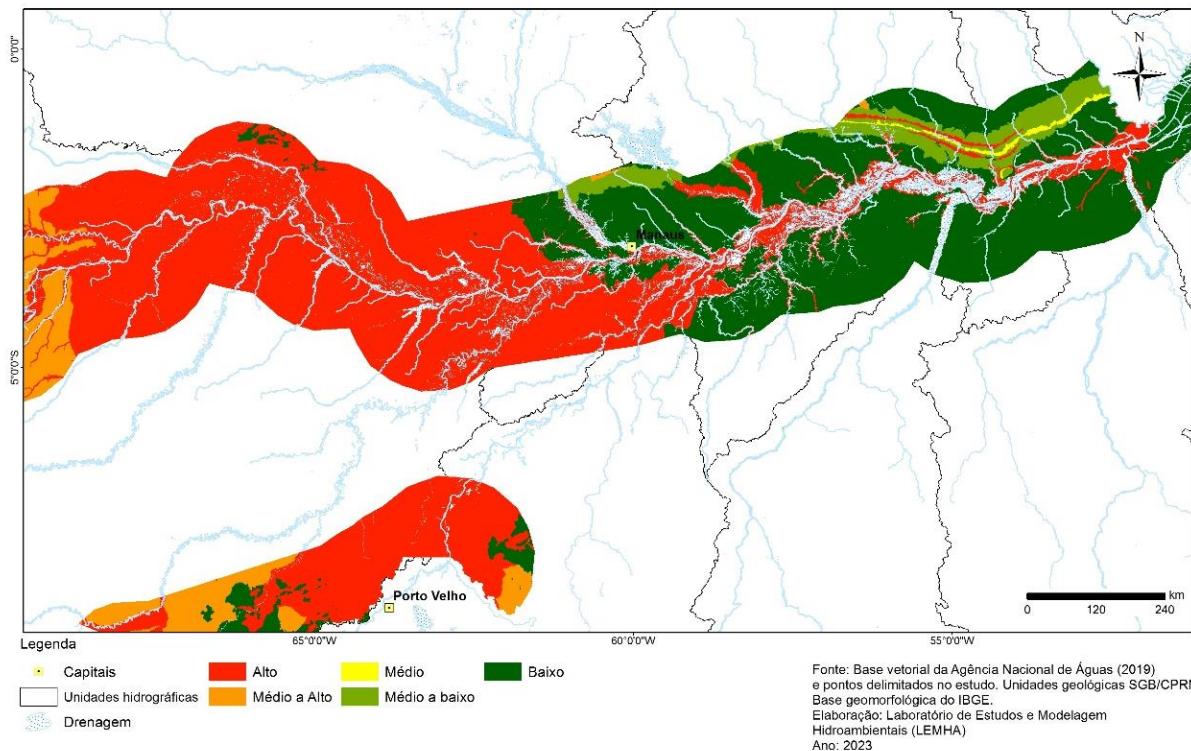


(b)

Fonte: (a) CPRM/SGB (2014); (B) IBGE (2006).

A Figura 3 traduz os condicionantes geológico-geomorfológicos, interpretando o potencial erosivo segundo as ASD de referência. Do total 33,01% correspondem a unidades de Baixo potencial e 53,85% de Alto. As demais classes de Médio (0,36%), Médio a Baixo (4,16%) e Médio a Alto (8,62%) detém menor representatividade.

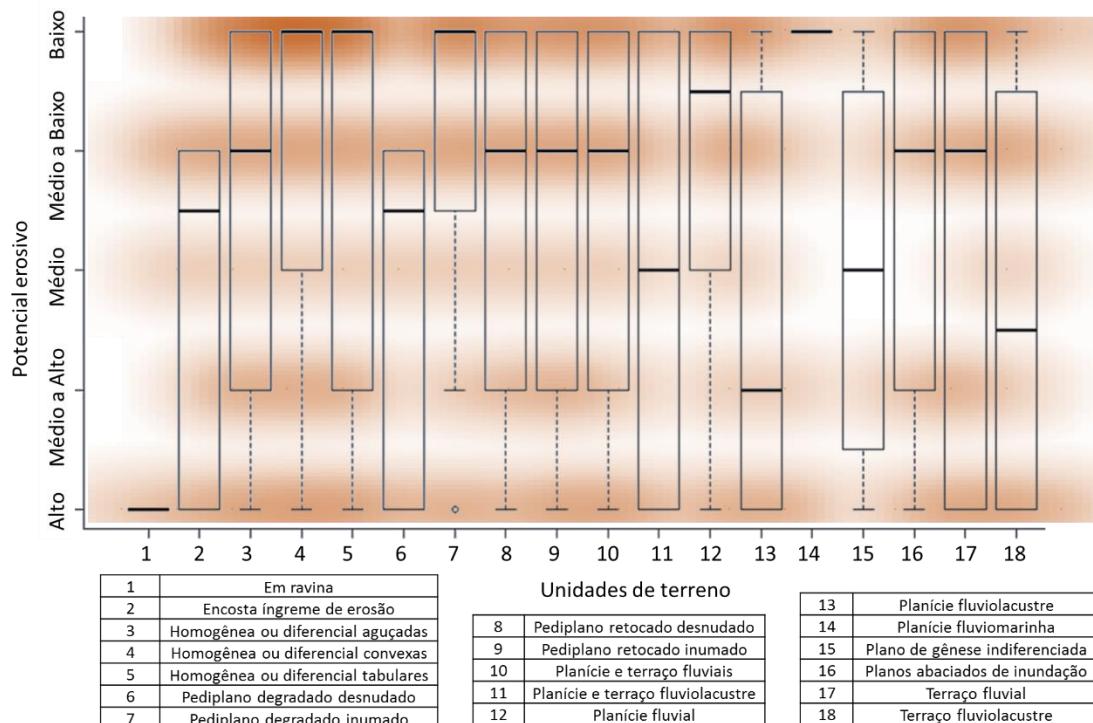
Figura 3 - Potencial erosivo interpretado a partir dos condicionantes geológico-geomorfológicos.



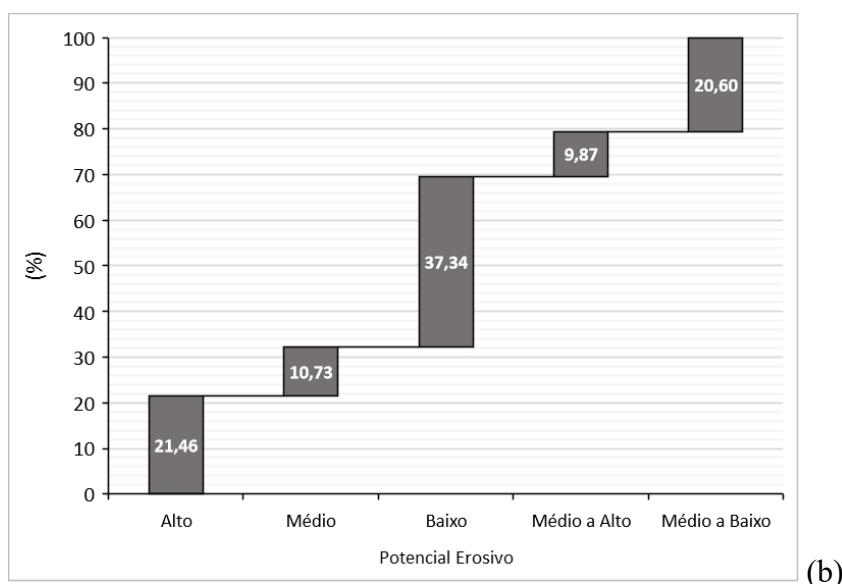
O comportamento geral descreve a complexidade das formas componentes da bacia amazônica, uma vez que as unidades de terreno formadoras apresentam uma grande variação, com respostas diferenciadas tanto segundo o potencial erosivo quanto em relação aos litotipos formadores (Figura 4). Com a planície fluvial dominando o potencial médio a baixo e baixo, mas com uma ampla representatividade de rochas constituintes. E as escarpas erosivas gradando do potencial alto ao médio a baixo.

Em relação a agregação com os litotipos formadores as unidades sedimentares com a presença de estratos alternados de conglomerados, arenitos e siltitos representaram as de maior potencial (21,46%), enquanto o conjunto de rochas ígneas e metamórficas presentes representam a maior influência das áreas de baixo potencial 37,34%. As unidades de Médio a Alto (9,87%) e Médio a Baixo (20,60%) indicam regiões de rochas sedimentares com conteúdo variável de material de granulometria mais argilosa (maior variação textural).

Figura 4 - (a) Variação do potencial erosivo e das unidades de terreno formadoras, segundo as análises de dispersão suave e boxplot; (b) E segundo os principais litotipos formadores.



(a)



(b)

A distribuição identificada é compatível com o definido por Riquetti *et al.* (2023), onde os maiores valores distribuem-se até a confluência do rio Amazonas com o rio Negro, permanecendo em faixas mais marginais; os cursos dos rios Solimões e Madeira aparecem como destaque devidos às altas taxas de erosão, ressaltando a influência dos

aspectos edafoclimáticos da Cordilheira dos Andes, ocasionando altas perdas por erosão do solo geradas pelo escoamento superficial.

Vulnerabilidade das áreas marginais de ocupação

Em termos quantitativos os estados do Acre (11), Rondônia (13), Amapá (27), Pará (105) e Amazonas (349) detém o maior número de ocorrências por ASD, recobrindo o curso dos rios Solimões, Amazonas e Madeira. A análise de densidade indica que estas regiões coincidem também com a maior presença de vilas, cidades e outras formas de núcleos habitacionais, sejam estes rurais ou urbanos (Figura 5), que constantemente respondem as ameaças de conviver com a dinâmica da planície (Mello *et al.*, 2012; Alencar *et al.*, 2014).

O processo de erosão do solo implica em um volume de carga sedimentar destinado aos cursos d'água, que pode ter sua amplitude variada em função dos processos hidrológicos e antrópicos. Estes últimos são diretamente relacionados a urbanização marginal aos rios. Ferreira *et al.* (2021) tratam principalmente da resposta em termos de quantidade e qualidade das águas, ressaltando problemas tais como, ocupações ilegais sem obras de saneamento básico, remoção da vegetação e lançamento de resíduos diversos (plástico, matéria orgânica, vidro...) em locais inapropriados; o resultado é um efeito induzido de erosão com a presença de sedimentos e resíduos, além de uma fonte adicional de contaminação da água, com a acidez sendo observada pela presença de ácidos húmicos dissolvidos, em função da decomposição da serapilheira florestal, acrescido do lançamento de efluentes diversos nas águas superficiais e forte contribuição da lixiviação do solo local, comprometendo a qualidade da águas dos corpos hídricos.

O produto integrado entre as áreas de maior potencial erosivo (Figura 3), densidade de ocupação (Figura 5b) e densidade de drenagem (Figura 6), gerou como resultante a definição das áreas de maior exposição ao longo das ASD de influência de movimentação de massa e processos erosivos (Figura 7). O resultado coincide com as áreas diretamente investigadas pelo conjunto de trabalhos pesquisados (Figura 1), mas indica também que existe a necessidade de ampliação dos esforços, pois ainda existe uma grande faixa descoberta e de elevada demanda social.

No referente as áreas diretamente relacionadas com as pesquisas 2066,80 km² (8,20%) encontram-se na faixa de baixa exposição, 14209,23 km² (56,38%) de média e 8924,81 km² (35,42%) de alta. Porém, na região classificada como de conexão entre estas

(indiretamente afetada), 45117,25 km² (42,42%) estão na área de alta exposição, 53008,66 km² (49,83%) de média e 8243,70 km² (7,75%) de baixa, demonstrando o potencial ainda a ser explorado da região (Figura 7).

Figura 5 - Núcleos de ocupação humana ao longo das ASD de influência de movimentação de massa e processos erosivos (a); e análise de densidade de Kernel (b).

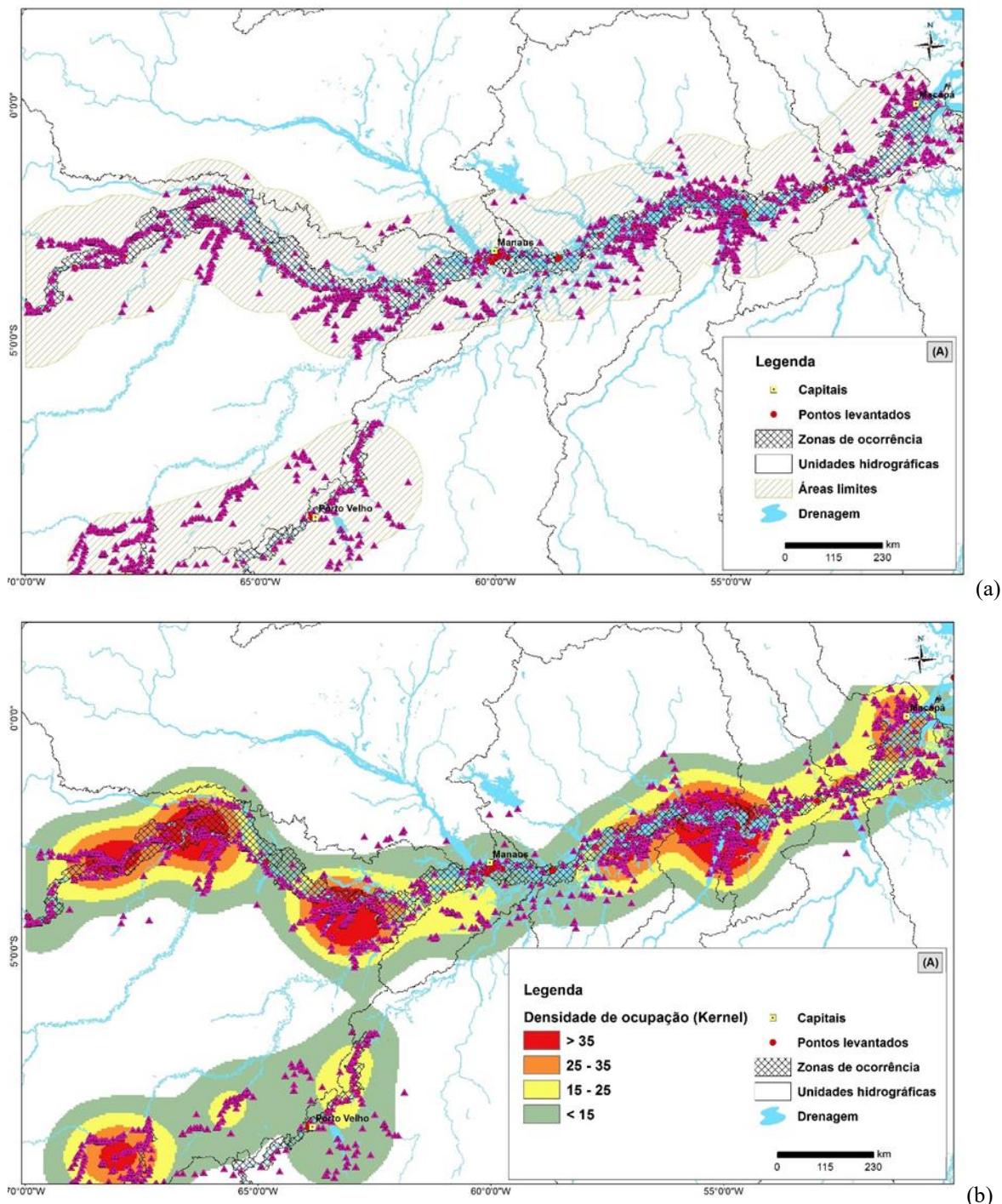


Figura 6 - Densidade de drenagem ao longo das ASD de influência de movimentação de massa e processos erosivos.

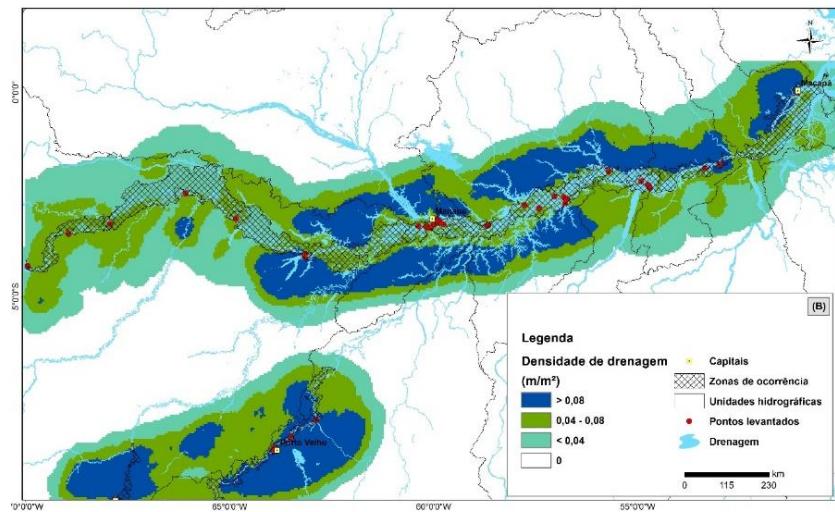
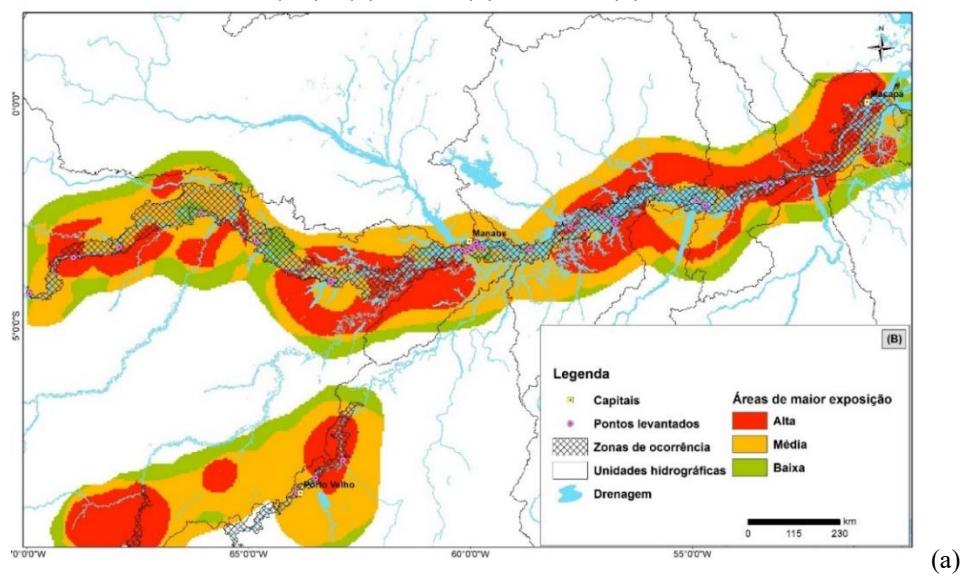
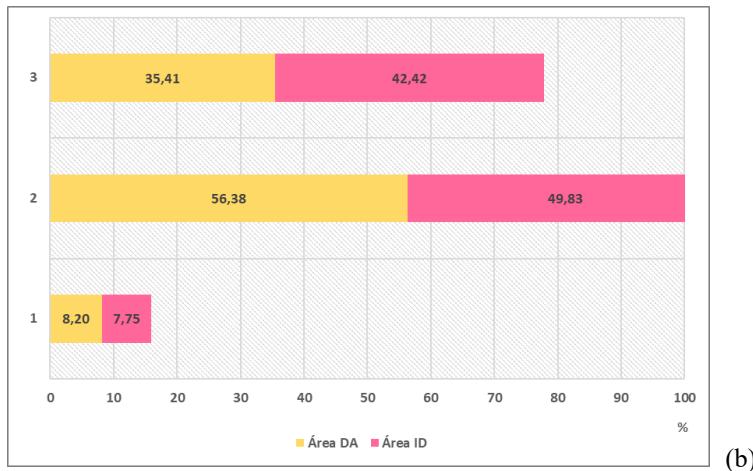


Figura 7 - (a) Áreas de maior exposição aos processos erosivos, ao longo das ASD de influência de movimentação de massa e processos erosivos. (b) Distribuição percentual entre as áreas diretamente relacionadas (DA) as pesquisas mapeadas e as relativas as áreas indiretamente relacionadas (ID): (1) Alto; (2) Médio; (3) Baixo.





(b)

As populações residentes nas áreas próximas dos cursos d'água tem alto grau de exposição as variações das condições climáticas e de nível dos rios, tendo como respostas o efeito das secas, cheias e inundações, conforme Barbosa e Félix (2020); assim, o processo de urbanização modifica a configuração do escoamento das águas e da capacidade de armazenamento e retenção de águas, alterando o equilíbrio geomorfológico.

Os resultados obtidos demonstram que pesquisas integradas, como as desenvolvidas por Freitas (2009), Magalhães (2011), Lopes e Rodrigues (2014), Reis (2022) e Souza (2019), são as que melhor discutem o desenvolvimento de processos erosivos e de movimentos de massa na planície amazônica. Apenas por meio da conjugação de estudos, utilizando de levantamentos primários à secundários, além de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto associadas é possível investigar uma ampla área com processos tão dinâmicos como os relacionados ao sistema fluvial amazônico, discutidos a seguir.

Discussão

Os processos erosivos na bacia Amazônica são estudados desde sua evolução geológica até as diversas formas de intervenção do uso da terra. Enquanto aspectos de formação, destaca-se o quantitativo de sedimentos que bacia Amazônica é capaz de produzir de forma a superar um padrão de estabilidade e balanço hidrostático (Sternberg, 1950). As contribuições que a sua segmentação estrutural impôs em compartimentos, onde na Amazônia central e oriental dominam estruturas rebaixadas WSW-ENE; e na Amazônia ocidental são destacadas espessas deposições de sedimentares (arenitos cretáceos, formações argilo-arenosas terciárias) (Tricart, 1977).

A planície amazônica responde por processos fortemente ativos, marcados por migrações de canais, eventos de cheias e inundação, intenso transporte de carga sedimentar e segmentação da rede de drenagem induzida por atividade tectônica, tal dinâmica fluvial data da era Cenozoica com a formação da Cordilheira dos Andes, passando pela influência da neotectônica do Holoceno (Quintana-Cobo *et al.*, 2018), indo até a atualidade com o transporte fluvial marcado por elevada carga sedimentar, demonstrando a influência das mudanças paleoclimáticas e dos processos geomorfológicos na várzea amazônica.

O resultado da estruturação tectônica e deposicional formadora da bacia Amazônica configura variações de descarga hídrica e sedimentar, que resultam em solapamentos diversos ao longo das margens, estes tendem a migrar, com a formação de geometrias variadas, principalmente de meandros, com acumulação de bancos de areia e terraços fluviais com alturas diversas. Estes associados as modificações da cobertura vegetal e formas de uso da terra, se intensificam condicionando uma dinâmica adicional aos processos erosivos e ampliando as consequências dos mesmos principalmente sobre os núcleos de ocupação marginais (Tricart, 1977; Farias e Souza Carneiro, 2012; Labadessa, 2014; Padilha e Souza, 2018; Ramos e Molinari, 2022)

O sistema principal do rio Amazonas e sua pluma de sedimentos sustentam uma planície de inundação com uma área maior que 100.000 km², onde por 2.000 km ao longo do curso principal ocorrem trocas sedimentares com a planície de inundação, que incluem erosão de margens, deposição de barras, sedimentação de partículas de fluxo difuso sobre as margens e sedimentação em canais de planície de inundação, diques e deltas internos, fornecendo um substrato de nutrientes para toda a área que abrange a Ilha de Marajó, o litoral dos estados do Pará e Amapá do Brasil e as Guianas (Latrubesse *et al.*, 2017, p. 366).

Entender e avaliar os processos erosivos em uma área tão expressiva demanda por técnicas variadas e principalmente por indicadores que possibilitem regionalizar as ocorrências. Um dos elementos necessários de discussão é a evolução temporal e espacial dos rearranjos de drenagem, tais como: desvio de drenagem, geometria das áreas de exutório; captura de rios; e formas de desvio marcadas pela erosão em direção a uma drenagem adjacente onde toda a montante da bacia de drenagem interceptada é capturada (Salgado *et al.*, 2021).

As movimentações decorrentes dos processos erosivos alteram a posição do talvegue, especialmente na seção transversal, influenciando diretamente na estabilidade da margem, com o aumento da pressão hidráulica no canal (De Queiroz e Alves, 2021); esta relaciona-se com a pressão da água exercitada no perfil solo-rocha causando a saturação do mesmo, que dependendo das condições de porosidade e permeabilidade, em conjunto com a atuação da força da gravidade, tem por consequência o desabamento do perfil inconsolidado (Sousa *et al.*, 2020).

Na bacia Amazônica, a denominação tradicional de rios de água branca, água escura ou água clara, com base na concentração de sedimentos, não acompanha a maior ou menor propensão à ocorrência da erosão fluvial, esta é observada em rios de água branca, escura e clara; com maior percentual (79%) em rios denominados de água branca (Bandeira *et al.*, 2018). A relação da carga sedimentar e a cor tem sua base na origem assimilada das denominações onde as águas brancas são verdadeiramente “marrom claro” ou popularmente “barrentas”, e são responsáveis pelo transporte de aluviões e muita carga sedimentar em suspensão, com pH tendendo ao neutro a básico (em torno de 7); as águas pretas tem coloração similar a “azul-escuras” a “pretas”, sendo águas claras com matéria orgânica dissolvida, com pH tendendo ao ácido (menor que 7); e a água clara ou cristalina usualmente aparecem azul ou verde, quando não persiste a matéria orgânica (Prance, 1980).

A discussão específica do fenômeno de terras caídas (Bandeira *et al.*, 2018) abrange um espectro maior de processos vinculados a hidrodinâmica da bacia Amazônica, porém mantendo sua principal relação de causa-efeito, com o aprofundamento da ação dos vórtices de turbulência responsáveis pela movimentação da carga sedimentar marginal aos leitos fluviais (Pacheco *et al.*, 2012). As características do material incluem altas porcentagens de solos arenosos e siltosos, com menor ou nenhuma coesão no estado não confinado; alto nível de saturação e alta porcentagem de vazios (porosidade), onde a redução do contato entre os grãos impacta na resistência do perfil alterado; e diferentes grau de permeabilidade, com níveis mais permeáveis gerando tensões geostáticas maiores, tornando estas camadas menos resistentes e favoráveis a rupturas pelo peso dos níveis de elevada saturação (Souza *et al.*, 2021).

Como o ambiente amazônico tem uma história geológica atuante desde a borda andina a sua foz no oceano Atlântico, outros fatores relevantes que precisam de destaque são a neotectônica atuante vinculada a diferentes tipologias de drenagem e geometria dos

canais (Constantine *et al.*, 2014); o aumento da pressão hidráulica associado às intensas chuvas, somando os efeitos de erodibilidade e erosividade; e a ação mecânica e química das águas sobre os materiais marginais (Freitas e Albuquerque, 2012).

Do exposto, entende-se que este amplo e diverso ambiente associado a variadas formas de intervenção antrópica, naturalmente configura zonas com amplitudes erosivas e de movimentação de massa que podem afetar as populações residentes causando danos sociais e econômicos. Disto, há a real necessidade de atendimento de políticas públicas que fomentem a ampliação de estudos e a intervenção nas zonas de maior criticidade, tais como as capitais estaduais de Manaus (Amazonas) e Porto Velho (Rondônia).

Considerações finais

Os processos de erosão fluvial ao longo da planície amazônica detêm uma diversidade de conceitos aplicados e constituem um risco social constante. Os resultados obtidos por meio da interpretação integrada entre os estudos realizados e sua distribuição espacial, demonstraram que existe uma necessidade de ampliar a faixa de investigação, adensando nas áreas de maior intervenção antrópica onde as margens dos cursos d’água são mais impactadas.

A complexidade da dinâmica fluvial e a carência de investigação primária não favorecem a caracterização dos processos, fazendo com que as ocorrências se manifestem trazendo danos às comunidades locais. As áreas marginais aos cursos d’água são formadas por ambientes diversos, incluindo terraços, áreas lacustres, flúvio-lacustres e próximo ao estuário, as planícies flúvio-marinhais. Estes respondem a erosão em intensidade e velocidade diferenciadas, em consonância com a composição geológica e cobertura de solos existentes. Fatores tectônicos e de variabilidade climática também interferem, uma vez que refletem diretamente nas características do escoamento superficial.

Desta forma, parâmetros que não foram contextualizados, tais como vazão e variação de nível (cota), além da dinâmica de uso da terra, incluindo os efeitos da alteração das formas de cobertura (retirada da floresta ripária) podem definir novas zonas potenciais, que responderiam de maneira evolutiva com a intensificação das ações antrópicas e resposta às condições de variabilidade climática. O desenvolvimento de intervenções de gestão de risco nestas áreas é urgente, tanto pela população afetada,

quanto pela variabilidade dos processos envolvidos e de seu grau de abrangência ao longo do ambiente marginal.

Referências

- ALENCAR, E. F.; SOUSA, I. S.; GONCALVES, A. C. Modos de interação com o ambiente e estratégias de subsistência dos moradores da várzea do rio Japurá (AM). **Fragmentos de Cultura**, v. 24 n. 2, p. 303-317, 2014.
- ALFAIA, S. S.; AYRES, M. I. D. C.; NEVES, A. L.; UGUEN, K.; MILLER, R. P.; FAJARDO, J. D. V.; BAKKER, A. P.; TICONA-BENAVENTE, C. A. Chemical features of floodplain soils under different land-uses in the Solimões/Amazon River basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, e0220005, p. 1-13, 2022. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220005>.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Base hidrográfica ottocodificada**. Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Índice de Segurança Hídrica - ISH**. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>.
- AZEVEDO FILHO, J. D. M.; CARVALHO, R. A.; GLÓRIA, S. A. Terras caídas e consequências ambientais: um estudo na encosta fluvial no bairro Santa Clara em Parintins (AM). **Marupiara - Revista Científica do CESP/UEA**, n. 4, p. 18-46, 2019.
- BANDEIRA, I. C. N.; ADAMY, A.; ANDRETTA, E. R.; COSTA DA CONCEIÇÃO, R. A.; ANDRADE, M. M. N. Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon?. **Environmental earth sciences**, v. 77, n. 6, 222, p. 1-16, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7405-7>.
- BANDEIRA, I. C. N.; SIMÕES, P. M. L.; MELO JUNIOR, H. R. Caracterização geológico-geotécnica dos sedimentos marginais e sua relação com suscetibilidade à erosão fluvial (terrás caídas) da comunidade de São Braz, município de Porto de Moz-PA. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, n. 1 e 2, p. 19-25, 2019.
- BANDEIRA, I. C. N.; TEIXEIRA, S. G. Determinação indireta da erodibilidade do talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba, Município de Santarém, Pará, Brasil e sua relação com suscetibilidade à erosão fluvial. **Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial**, v. 1, n. 1, p. 17-25, 2020.
- BARBOSA, E. F. F. M.; FÉLIX, R. A. Problemas ambientais das bacias hidrográficas do espaço urbano de Campo Grande/MS: a percepção ambiental de quem lê e vê a paisagem. **GEOFONTER**, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2020.
- BATISTA, P. V.; DAVIES, J.; SILVA, M. L.; QUINTON, J. N. On the evaluation of soil erosion models: Are we doing enough?. **Earth-Science Reviews**, v. 197, 102898, p. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102898>.
- CALVÈS, G.; CALDERON, Y.; ROSO, V.; BONNEL, C.; RODDAZ, M.; BRUSSET, S.; BABY, P.; CLIFT, P. Past Amazon Basin fluvial systems, insight into the Cenozoic sequences using seismic geomorphology (Marañón Basin, Peru). **Journal of South**

American Earth Sciences, v. 90, p. 440-452, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.12.019>.

CARVALHO, J. A. L. **Terras caídas e consequências sociais**: Costa do Miracauera - Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara - AM, Brasil. 2006. 141f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

CARVALHO, J. A. L.; CUNHA, S. B. Terras Caídas e Consequências Sociais na Costa do Miracauera, Município de Itacoatiara-Amazonas, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-16, 2011.

CARVALHO, J. A. L.; IGREJA, H. L. S.; CUNHA, S. B.; CARNEIRO, D. S. Episódio de terras caídas no rio Amazonas: caso Costa da Águia, Parintins - AM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, Campo Grande. **Anais ... ABRH**: Campo Grande, MS, 2009.

CONSTANTINE, J. A.; DUNNE, T.; AHMED, J.; LEGLEITER, C.; LAZARUS, E. D. Sediment supply as a driver of river meandering and floodplain evolution in the Amazon Basin. **Nature Geoscience**, v. 7, n. 12, p. 899-903, 2014.
<https://doi.org/10.1038/ngeo2282>.

CORTES, J. P. S.; SZLAFSZTEIN, C. F.; LUVIZOTTO, G. L. Geomorfologia e planejamento ambiental em uma região de conflitos socioambientais na Amazônia Brasileira. **Geociências**, v. 39, n. 3, p. 765-778, 2020.
<https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i03.15077>.

CPRM/SGB. Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo**. Folhas SA-20 a 23, SB 19 a 22. Recife: CPRM/SGB, 2014. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/atlas-hidrogeologico-do-brasil-ao-milionesimo>.

CPRM/SGB. Serviço Geológico do Brasil. **Produtos por Estado - Setorização de Riscos Geológicos**. Brasília, DF: CPRM/SGB, 2022. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/produtos-por-estado-setorizacao-de-riscos-geologicos>.

DE QUEIROZ, M. S.; ALVES, N. S. Conditioning factors of “terrás caídas” in lower Solimões River - Brazil. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 80, p. 220–233, 2021.
<https://doi.org/10.14393/RCG228054842>.

ESPINOZA-VILLAR, R.; MARTINEZ, J-M; ARMIJOS, E. et al. Spatio-temporal monitoring of suspended sediments in the Solimões River (2000–2014). **Comptes Rendus Geoscience**, v. 350, n 1-2, p. 4-12, 2018.

FARIAS, E. M. B.; SOUZA CARNEIRO, D. Alterações geomorfológicas no rio Amazonas-Santarém/PA. **Revista Geonorte**, n. 3, v. 5, p. 72-79, 2012.

FASSONI-ANDRADE, A. C.; FLEISCHMANN, A. S.; PAPA, F. et al. Amazon hydrology from space: Scientific advances and future challenges. **Reviews of Geophysics**, v. 59, e2020RG000728, 2021. <https://doi.org/10.1029/2020RG000728>.

FERREIRA, S. J. F.; PINEL, S.; RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. et al. Impact of rapid urbanization on stream water quality in the Brazilian Amazon. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, p. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09621-7>

FREITAS, F. T.; ALBUQUERQUE, A. R. Análise temporal sobre as "terrás caídas" no médio Solimões/Coari (AM). **Mercator**, v. 11, n. 25, p. 129-14, 2012..

<https://doi.org/10.4215/RM2012.1125.0010>.

FREITAS, Francimara Torres. **Análise multitemporal da modalidade erosiva do tipo terra caída na região do médio Solimões Coari (AM)**. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009.

GAN, F.; SHI, H.; GOU, J.; ZHANG, L.; DAI, Q.; YAN, Y. Responses of soil aggregate stability and soil erosion resistance to different bedrock strata dip and land use types in the karst trough valley of Southwest China. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 12, n. 3, p. 684-696, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.09.002>.

GONZALEZ, A. Z. D.; REBOITA, J. L. A.; CAPUCIN, W. C. S.; SOUSA, C. A. Susceptibilidade à Erosão Marginal no Perímetro Urbano de Cáceres-MT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 01, p. 518-534, 2022.

GUIMARÃES, D. F. S.; VASCONCELOS, M. A.; ALEGRIA, J. M. M. *et al.* Aplicação de geotecnologias em estudos de desastres naturais na Amazônia: o caso das terras caídas na Costa do Catalão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19, Santos. **Anais ... SBSR**: Santos, SP, 2019.

HEERSPINK, B. P.; KENDALL, A. D.; COE, M. T.; HYNDMAN, D. W. Trends in streamflow, evapotranspiration, and groundwater storage across the Amazon Basin linked to changing precipitation and land cover. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 32, 100755, p. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100755>.

HOORN, C.; BOGOTÁ-A, G. R.; ROMERO-BAEZ, M. *et al.* The Amazon at sea: Onset and stages of the Amazon River from a marine record, with special reference to Neogene plant turnover in the drainage basin. **Global and Planetary Change**, v. 153, p. 51-65, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.02.005>.

HOUSEHOLDER, J. E.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. *et al.* 2024. One sixth of Amazonian tree diversity is dependent on river floodplains. **Nature Ecology & Evolution**, v. 8, p. 901-911. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02364-1>.

IBGE. **Geomorfologia, Brasil - Unidades de Relevo**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.

IBGE. **Organização do território**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.

JACAUNA, Brenno Tavares. **Terras caídas e suas implicações para a comunidade São José do Paraná do Espírito Santo de cima em Parintins - AM**. 2019. 41 f. Monografia (Graduação), Universidade do Estado do Amazonas, Centro de Estudos Superiores de Parintins, Parintins.

LABADESSA, A. S. “Terras caídas”, as causas e implicações socioeconômicas: uma análise preliminar na comunidade de Calama - baixo rio Madeira/RO. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 71, n. 1, p. 12-20, 2014. <https://doi.org/10.5380/geo.v71i0.24930>.

LABADESSA, Aparecido Silvério. “Terras Caídas”, as causas naturais e antrópicas: uma ocorrência na comunidade de São Carlos–Médio Madeira/RO. **Geoingá**, v. 3, n. 1, p. 45-61, 2011.

LATRUBESSE, E. M. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. **Geomorphology**, v. 101, n. 1-2, p. 130-145, 2008.

LATRUBESSE, E. M., ARIMA, E. Y., DUNNE, T. *et al.* Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, v. 546, n. 7658, p. 363-369, 2017. <https://doi.org/10.1038/nature22333>.

LIMA DA SILVA, C.; MORALES, N.; CRÓSTA, A. P.; COSTA, S. S.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Analysis of tectonic-controlled fluvial morphology and sedimentary processes of the western Amazon Basin: an approach using satellite images and digital elevation model. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 4, p. 693-711, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652007000400010>.

LOPES, I. R.; RODRIGUES, F. G. S. Análise das terras caídas nas margens do rio Solimões em Tabatinga, AM. **Revista Geonorte**, v.10, n.1, p.55-59, 2014.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, H. N.; SOUZA, A. C. G.; SILVA, F. W. R.; ENCINAS, O. C.; NEVES, E. G. Amazonian dark earths in the fertile floodplains of the Amazon River, Brazil: an example of non-intentional formation of anthropic soils in the Central Amazon region. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Ciências Humanas**, v. 14, n. 1, p. 207-227, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-81222019000100013>.

MAGALHÃES, R. C. **As características físicas, químicas, mineralógicas e hidráulicas do solo e sua susceptibilidade ao processo de Terras Caídas:** comunidade do Divino Espírito Santo - Iranduba/AM. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

MAGALHÃES, R. C.; GOMES, R. C. M. Mineralogia e química de solo de várzea e suas susceptibilidades no processo de terras caídas na comunidade do divino Espírito Santo-AM. **Sociedade & Natatureza**, v. 25, n. 3, p. 609-621, 2013.

MAGALHÃES, R. C.; VIEIRA, A. F. S. G. As características hidrológicas do solo de várzea e sua vulnerabilidade ao processo de terras caídas na Amazônia Central (BR). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 03, p. 773-788, 2018.

MARQUES, R. O. **Erosão nas margens do rio Amazonas:** o fenômeno das terras caídas e as implicações para a cidade de Parintins - AM. 2017. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

MATOS, J. Aspectos geomorfológicos das “terras caídas” em ambiente de várzea no Careiro da Várzea-AM. **Revista GeoUECE**, v. 08, n. 15, p. 78-88, 2019.

MATOS, J.; NOGUEIRA, A. As terras-caídas no careiro de várzea e as implicações para os moradores da comunidade Miracauera no Paraná do Careiro (Careiro da Várzea- AM). **Revista Geonorte**, v. 5, n. 20, p. 128-134, 2014.

MAURICE-BOURGOIN, L.; QUEMERAIS, B.; MOREIRA-TURCQ, P.; SEYLER, P. Transport, distribution and speciation of mercury in the Amazon River at the confluence of black and white waters of the Negro and Solimões Rivers. **Hydrological Processes**, v. 17, n. 7, p. 1405-1417, 2003. <https://doi.org/10.1002/hyp.1292>.

MAZOCA, C. E. M. **Avaliação de elementos estruturais e processos fluviais na evolução geomorfológica da Amazônia Central.** 2017. 145 f. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELLO, C. F.; CARVALHO, D. L. R.; CRUZ, M. J. Masulo da Erosão/sedimentação e o modo de vida ribeirinho na costa do Arapapá - Rio Solimões (AM). **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 377-384, 2012.

MORAGODA, N.; KUMAR, M.; COHEN, S. Representing the role of soil moisture on erosion resistance in sediment models: Challenges and opportunities. **Earth-Science Reviews**, v. 229, 104032, p. 1-16, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104032>.

MORAIS, R. P.; AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M. Controles hidrogeomorfológicos nas unidades vegetacionais da planície aluvial do rio Araguaia, Brasil. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 411-421, 2008.

MOREIRA-TURCQ, P.; ESPINOZA, J. C.; FILIZOLA, N.; MARTINEZ, J-M. Rivers of the Andes and the Amazon Basin: Deciphering global change from the hydroclimatic variability in the critical zone. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 350, n 1-2, p. 1-3, 2018.

NASCIMENTO BANDEIRA, I. C.; CONCEIÇÃO, R. A. C.; NOGUEIRA DE ANDRADE, M. M. *et al.* Fluvial erosion risk analysis: an Amazon study case. **Revista Geonorte**, v. 12, n. 39, p. 01-25, 2021. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2021.V.12.N.39.01.25>

PACHECO, J. B.; MARTINS BRANDÃO, J. C.; LIMA DE CARVALHO, J. A. Geomorfologia fluvial do Rio Solimões/Amazonas: Estratégias do Povo Vazeano do sudoeste do Careiro da Várzea. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 542–554, 2012.

PADILHA, R. M.; SOUZA, C. Dinâmica fluvial na bacia hidrográfica do rio Carapá, inserida na bacia do rio Amazonas. **Rev. Bras. de Geografia Física**, v. 11, n. 04, p. 1490-1511, 2018.

PRANCE, G. T. A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundação. **Acta Amazonica**, v. 10, n. 3, p. 499-504, 1980. <https://doi.org/10.1590/1809-43921980103499>.

QUEIROZ, M. D.; TOMAZ NETO, A. G. A influência dos Rios Negro e Solimões nas comunidades rurais ribeirinhas no município de Iranduba-Amazonas. **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: Editora UFC, p. 01-12, 2019.

QUEIROZ, M. S.; ALVES, N. S. Conditioning factors of “terrás caídas” in Lower Solimões river - Brazil. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 80, p. 220-233, 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG228054842>

QUEIROZ, M. S.; CARVALHO, J. A. L. O baixo rio Solimões pela perspectiva da teoria do caos (caos determinístico). **Revista Geotemas**, v. 11, p. e02112, 2021. <https://doi.org/10.33237/2236-255X.2021.3193>.

QUEIROZ, M. S.; SOARES, A. P. A.; TOMAZ NETO, A. G. Comunidades rurais ribeirinhas e as águas do rio Solimões no município de Iranduba - Amazonas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, p. 108-119, 2018.

QUINTANA-COBO, I.; MOREIRA-TURCQ, P.; CORDEIRO, R. C. *et al.* Dynamics of floodplain lakes in the Upper Amazon Basin during the late Holocene. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 350, n 1-2, p. 55-64, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.10.004>

RAMOS, J. E.; MOLINARI, D. C. Processos geodinâmicos no rio Negro: Praia De Paricatuba-Iranduba, Amazonas. **Revista GeoAmazônia**, v. 10, n. 20, p. 92-115, 2022.

<http://dx.doi.org/10.18542/geo.v10i20.13660>

REIS, J. P. S. **Cidades ribeirinhas da Amazônia:** a relação entre produção do espaço urbano e a dinâmica fluvial na cidade de São Paulo de Olivença-AM, Brasil. 2022. 172 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

RIBEIRO, E. S. **Terras caídas e seus impactos na sedimentação do leito do Paraná do Ramos/Parintins-AM.** 2018. 47 f. Monografia (Conclusão de Curso), Universidade Estadual do Amazonas, Manaus.

RIQUETTI, N. B.; BESKOW, S.; GUO, L.; MELLO, C. R. Soil erosion assessment in the Amazon basin in the last 60 years of deforestation. **Environmental Research**, v. 236, 116846, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116846>

ROCHA, V. M.; CORREIA, F. W. S.; SILVA, P. R. T. *et al.* Reciclagem de Precipitação na Bacia Amazônica: o papel do transporte de umidade e da evapotranspiração da superfície. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 387-398, 2017. <https://doi.org/10.1590/0102-77863230006>.

RODRIGUES, F. G. S. O conceito de terras caídas e a caracterização Morfodinâmica fluvial do Alto Solimões. **Revista Geonordeste**, n. 3, p. 04-23, 2014.

ROZO, M. G.; NOGUEIRA, A. C. R; TRUCKENBRODT, W. The anastomosing pattern and the extensively distributed scroll bars in the middle Amazon River. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, n. 14, p. 1471-1488, 2012.

SADALA, K. Y. **Estudo pessoa-ambiente-gênero a partir da vivência das terras caídas numa várzea amazônica:** análise do afeto ao lugar em Fátima de Urucurituba no eixo Forte/Santarém-PA. 2020. 214 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, Santarém.

SALGADO, A. A. R.; MARENT, B. R.; PAIXÃO, R. W. Large rivers, slow drainage rearrangements: The ongoing fluvial piracy of a major river by its tributary in the Branco River Basin-Northern Amazon. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, 103598, p. 1-7, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103598>.

SERRÃO, S. L.; LIMA, R. A. P. Áreas alagadas em Macapá: estudo de caso Bairro do Araxá. **Biota Amazônia**, v. 3, n. 3, p. 146-156, 2013.

SILVA JUNIOR, O. M.; SANTOS, L. S.; RODRIGUES, M. R. C. Panorama dos riscos costeiros no estado do Amapá: Conhecer para agir. In: MAGNONI JUNIOR, L.; FREITAS, C. M.; LOPES, E. S. S. *et al.* (orgs.). **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano.** São Paulo: Centro Paula Souza, p. 454-472, 2020.

SILVA, D. B. Q.; ANDRADE, L. N. P. S. Caracterização hidrossedimentológica e as formas de uso/ocupação da terra no alto curso da sub-bacia hidrográfica do córrego jaracatiá no município de Colider - Mato Grosso. **Caminhos da Geografia**, v. 20, p. 32-51, 2019.

SILVA, S. H.; NODA, S. N. A dinâmica entre as águas e terras na Amazônia e seus efeitos sobre as várzeas. **Rev. Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, p. 377-86, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1805>

SOUSA, E. S.; CAMPELO; N. S. **Caracterização e modelagem geotécnica do**

fenômeno das terras caídas no ambiente Amazônico. São Paulo: Dialética, 2020, 235p.

SOUZA, K. C.; CARVALHO, J. A. L.; ALVES, A.; SILVA, G. M. Caracterização dos processos de erosão fluvial e movimento de massa na falésia fluvial do rio Negro, Amazonas. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 103, p. 54-66, 2020.

SOUZA, A. G. H.; OLIVEIRA, M. A. **Setorização de áreas de risco geológico**. Barcelos, AM: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Departamento de Gestão Territorial - DEGET, 2022. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22741>.

SOUZA, E. S. **Terras caídas:** caracterização e modelagem geotécnica do fenômeno erosivo amazônico. 2019. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

SOUZA, E. S.; CAMPELO, N. S.; AGUIAR, R. L.; CAVALCANTE, R. H. L. Geotechnical characterization and modelling of the - Fallen Lands - phenomenon in the amazon environment. **Global Journal of Engineering and Technology Advances**, v. 9, p. 122-132, 2021. <https://doi.org/10.30574/gjeta.2021.9.3.0168>.

SOUZA, J. J. L. L.; FONTES, M. P. F.; GILKES, R.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, T. S. Geochemical signature of Amazonian tropical rainforest soils. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-18, e0170192, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170192>.

STERNBERG, H. O'R. Vales tectônicos na planície Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 511-534, 1950.

TEIXEIRA S. G.; BANDEIRA, I. C. N.; FONSECA, D. D. F. Caracterização das tipologias de risco geológico identificadas no Estado do Pará no período de 2012 a 2018. In: TEIXEIRA S. G.; CHAVES C. L. (Org.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belém: SBG – Núcleo Norte, 2019. v. 11, p. 253-270.

TEIXEIRA S. G.; MELO JÚNIOR H. R. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa:** município de Marapanim – Pará. Belém: Serviço Geológico do Brasil - CPRM. 2019, 18 p. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18338>

TRICART, J. Tipos de planícies aluviais da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 39, n. 2, p. 3-40, 1977.

VALE, R. S.; LIMA, L. S.; MONTE, C. N.; SANTANA, R. A. S. Evidências do fenômeno de terras caídas com grandes cheias na região Oeste do Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 6, p. 6295-6302, 2019.

VIEIRA, M. N. A. **Zoneamento socioambiental associado ao processo de Terras Caídas nas bacias hidrográficas amazônicas.** 2024. 80f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém.

WITTMANN, F.; HOUSEHOLDER, J. E.; PIEDADE, M. T. F.; SCHÖNGART, J.; DEMARCHI, L. O.; QUARESMA, A. C.; JUNK, W. J. A review of the ecological and biogeographic differences of amazonian floodplain forests. **Water**, v. 14, n. 21, 3360, p. 1-28, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14213360>.

YAO, X.; YU, J.; JIANG, H.; SUN, W.; LI, Z. Roles of soil erodibility, rainfall erosivity

and land use in affecting soil erosion at the basin scale. **Agricultural Water Management**, v. 174, p. 82-92, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.001>.

Recebido em 20 de fevereiro de 2025.

Aceito em 10 de setembro de 2025.

Publicado em 21 de outubro de 2025.