

Análise de risco geomorfológico na bacia do Rio Parauapebas, Região de Integração de Carajás (PA)

Geomorphological risk analysis in the Parauapebas River Basin, Carajás Integration Region (PA)

Franciney Carvalho da Ponte^{1*}, Luziane Mesquita da Luz¹, Débora Cássia Souza dos Santos¹,
Izabele Cristine Correa Pontes¹

RESUMO

Os desastres ambientais têm ocorrido de maneira mais frequente, principalmente, aqueles de origem associada às condições climáticas, como inundações e deslizamentos. Este trabalho tem como objetivo propor o mapeamento de indicadores físico-ambientais para subsidiar a análise de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do Rio Parauapebas (PA). Para tanto, a metodologia foi fundamentada em preceitos da teoria da ecodinâmica (TRICART, 1977), baseada na relação entre pedogênese e morfogênese, vislumbrando a análise de variáveis e critérios adotados na estimativa da fragilidade do meio ambiente (ROSS, 1994). Como resultado, foram identificadas quatro classes de risco – muito baixo, baixo, moderado e alto. Nesse sentido, a bacia hidrográfica do Rio Parauapebas demonstrou um panorama preocupante diante do risco geomorfológico, considerando o fato que a mesma apresenta um considerável potencial a ocorrência de desastres, uma vez que, aproximadamente, a metade da área é constituída por moderado a alto risco geomorfológico, podendo, entretanto, ser potencializado pela expansão acelerada de atividades antrópicas, como a urbanização e a mineração.

Palavras-chave: Cartografia ambiental; Risco geomorfológico; Carajás.

ABSTRACT

Environmental disasters have occurred more frequently, especially those of origin associated with weather conditions, such as floods and landslides. This work aims to propose the mapping of physical-environmental indicators to support the analysis of geomorphological risk in the hydrographic basin of the Parauapebas River (PA). Therefore, the methodology was based on precepts of the theory of ecodynamics (TRICART, 1977), based on the relationship between pedogenesis and morphogenesis, envisioning the analysis of variables and criteria adopted in estimating the fragility of the environment (ROSS, 1994). As a result, four risk classes were identified – very low, low, moderate and high. In this sense, the Parauapebas river basin showed a worrying panorama in view of the geomorphological risk, considering the fact that it presents a considerable potential for the occurrence of disasters, since approximately half of the area is constituted by moderate to high risk. geomorphological, which may, however, be enhanced by the accelerated expansion of human activities, such as urbanization and mining.

Keywords: Environmental cartography; Geomorphological risk; Carajás.

¹ Federal University of Pará (UFPA), Belém, Pará, Brazil.

*E-mail: fcponce@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A apropriação acelerada dos recursos naturais pelo ser humano tem desencadeado impactos ambientais negativos em todo o globo terrestre. Dentre os desastres ambientais destacam-se aqueles de origem associada às condições climáticas, geralmente, induzidos pelas ações antropogênicas, como inundações, erosões e deslizamentos. Tais eventos têm ocorrido proeminentemente em área de risco como encostas/vertentes declivosas, terrenos susceptíveis a inundação, morros e serras, muitas vezes, próximos a áreas de assentamentos populacionais, podendo resultar em desastres socioeconômicos.

Os desastres naturais são, de modo geral, determinados pela relação entre o homem e o meio físico. Os fenômenos da natureza que geram impactos ao homem podem advir da própria sociedade e não somente da natureza, tornando indispensável a aplicação de medidas de prevenção de desastres (MARTINELLI, 2011). Recentemente, cita-se o caso de Mariana, considerado um marco em desastre ambiental do Brasil, desencadeado pelo rompimento da barragem do Fundão da Samarco em 2015, e Brumadinho em 2019, ambos ocorridos no âmbito da extração de reservas de minérios.

Ao estudar os fatores dos riscos geomorfológicos, pode-se compreender que as situações de riscos são originadas pela somatória de vários fatores, como as características geológicas, a densidade da cobertura vegetal, a forma desordenada da ocupação, dentre outros. Entretanto, a eficácia na compreensão desses fatores somente ocorrerá se as formas inerentes ao relevo forem relacionadas em termos de sistemas dinâmicos, facilitando assim o entendimento dos processos que formam a sua modelagem (GREGORY, 1992).

O termo risco geomorfológico pode ser definido como o perigo de ocorrência de processos de dinâmica superficial em áreas ocupadas, os quais modelam a paisagem e constituem elementos da geomorfologia (OLIVEIRA, 2004), equacionando a probabilidade de ocorrência, no espaço e no tempo, de situações de instabilidade topográfica e geomorfológica na superfície terrestre (CUNHA e RAMOS, 2013).

Considerando que as situações de risco são uma associação entre fatores do meio físico e do meio social, para que uma determinada área esteja em risco é necessário que haja a possibilidade de ocorrência de algum processo de dinâmica superficial que afete a população, tornando necessária a análise holística de processos envolvidos na dinâmica

das áreas de risco, com uma visão sistêmica do meio (RECKZIEGEL e ROBAINA, 2005).

A área objeto deste estudo está localizada no âmbito da Região de Integração de Carajás (RIC), no Estado do Pará, mais especificamente, a bacia hidrográfica do Rio Parauapebas (BHP). A escolha desta bacia ocorre justamente por estar inserida na região de maior produção de minério de ferro do referido estado e, por conseguinte, apresentar possíveis riscos ambientais, tendo em vista, a presença de 21 barragens de mineração (ANM, 2021), situadas no interior da referida bacia. A RIC é composta por 13 municípios, entre eles, destacam-se Parauapebas, Marabá e Canaã dos Carajás, os quais possuem os maiores PIBs desta região, decorrente, predominantemente, das exportações de minério de ferro. A BHP possui uma área de 6.196 km², perpassando por quatro municípios e, correspondendo a 14% da RIC. A BHP apresenta uma população de aproximadamente 150.000 habitantes (IBGE, 2010), residente predominantemente na cidade de Parauapebas.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de mapeamento de indicadores ambientais para subsidiar a análise de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do Rio Parauapebas, a partir de dados geomorfológicos (morfoestrutura, morfoescultura e unidade morfológica), pedológicos, cobertura vegetal e uso da terra.

METODOLOGIA

De acordo com Oliveira (2004), a ocupação desordenada do espaço tem condicionado a ocorrência de desastres socioambientais, muitas vezes, em razão da falta de conhecimento das fragilidades e dinâmicas processadas na configuração morfológica do relevo. A noção de risco pode ser entendida quando existe a possibilidade de um determinado evento provocar perdas e danos para uma sociedade, seja do ponto de vista social, econômico e/ou ambiental (SANTOS e VITAL, 2020).

A análise do risco geomorfológico fora baseada em preceitos da teoria da ecodinâmica (TRICART, 1977), fundamentada na relação entre pedogênese e morfogênese, a qual permite setorizar o terreno em meios estáveis, meios intergrades (intermediários) e meios instáveis, bem como, considerou variáveis e critérios adotados por Ross (1994) na estimativa da fragilidade do meio natural.

Procedimentos operacionais

Primeiramente, foram utilizados os dados temáticos do Banco de Informações Ambientais (IBGE, 2022), os quais permitiram a confecção dos mapas preliminares de Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso da terra.

Posteriormente, com intuito de refinar o tema de Geomorfologia, fora adotado o modelo digital de elevação - SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), adquirido junto ao Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA-INPE), com resolução espacial de 30 m (1 Arc Second). Nesta etapa, realizou-se a extração de curvas de nível para a geração de grade triangular (TIN), a qual subsidiou a geração da rede de drenagem, a delimitação da bacia de estudo, a produção de dados morfométricos do terreno (amplitude de elevação e declividade), permitindo os ajustes das classes morfoesculturais e a definição das unidades morfológicas do relevo, equivalente ao 3º táxon da classificação de Ross (1992).

O mapa de cobertura vegetal não fora ajustado, por considerar seu nível de detalhe e informação compatível com a proposta desta pesquisa. No entanto, os dados de uso da terra foram refinados a partir de informações adquiridas junto ao IBGE (2015) e ao Mapbiomas (2021), no que se refere às áreas urbanizadas e às de mineração, respectivamente.

Após a elaboração dos mapas temáticos, realizou-se o cruzamento entre os mesmos, através do processo de álgebra de mapas, o qual permitiu a atribuição de pesos a setores/classes de cada tema, bem como, a definição de valores associados à importância de cada mapa temático, obtendo-se assim uma média ponderada na análise do risco. O quadro 01 apresenta as temáticas e seus respectivos critérios na análise da fragilidade e do risco geomorfológico.

Quadro 1 – Mapas temáticos e critérios de ponderação na análise de risco

TEMA	CRITÉRIO
Geomorfologia/relevo	Amplitude altimétrica, declividade, morfoestrutura, morfodinâmica
Pedologia	Maturidade pedogenética (textura e profundidade)
Cobertura vegetal	Densidade e grau de proteção do solo
Uso do solo	Estrutura tecnológica e ameaça potencial/capacidade de transformação ecológica

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

A escolha dos pesos está relacionada com a fragilidade/susceptibilidade de cada classe frente ao potencial de risco geomorfológico, onde valores próximos de 1,0 dizem respeito à baixa fragilidade potencial, entorno de 2,0 fragilidade moderada e 3,0 alta fragilidade. A tabela 1 apresenta a relação entre os pesos e os valores de importância de cada temática.

Tabela 1 – Pesos e valores de importância atribuídos às classes e mapas temáticos

MAPA/TEMA	CLASSE	PESO	VALOR
Unidades de Relevô	Planície Fluvio-Terracial	2,0	3,0
	Pediplano	1,0	
	Dissecação Tabular	1,5	
	Dissecação Colinosa	2,0	
	Patamar Colinoso	2,5	
	Morros e Serras	2,75	
	Montanhas/Escarpas	3,0	
	Platôs/Chapadas	1,5	
Pedologia	LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo	1,0	1,5
	PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo	1,5	
	NVd - Nitossolo Vermelho Distrófico	1,0	
	RLd - Neossolo Litófico Distrófico	3,0	
Cobertura Vegetal	Floresta Ombrófila Densa	1,0	2,5
	Floresta Ombrófila Aberta	1,25	
	Refúgio Vegetacional Montano	3,0	
	Vegetação Secundária	2,0	
Uso do Solo	Pecuária (pastagens)	2,5	2,0
	MN - Mineração	3,0	
	AU - Área Urbanizada	3,0	

Fonte: Elaborada pelos autores (2022)

Observa-se que o valor de maior importância fora atribuído às unidades de relevo, uma vez que seus processos morfodinâmicos apresentam uma estreita relação

com a estrutura geológica. O segundo nível de importância ficou com a cobertura vegetal, por considerá-la fundamental no controle, equilíbrio e estabilidade dos processos pedomorfológicos, através da proteção representada pela densidade de suas copas e de suas raízes. O uso do solo ocupou o terceiro nível, por considerar que as estruturas tecnológicas apresentam potencial de transformação exponencial sobre os aspectos físicos do meio ambiente, desde a remoção da cobertura vegetal até a descaracterização topográfica, podendo impactar diretamente na dinâmica e na morfologia do relevo. A pedologia, mesmo desempenhando função ímpar no equilíbrio pedomorfológico, recebeu menor valor, por ser sido considerada hierarquicamente inferior em relação aos demais temas, frente a possibilidade de ocorrência de um evento e/ou acidente de natureza geomorfológica.

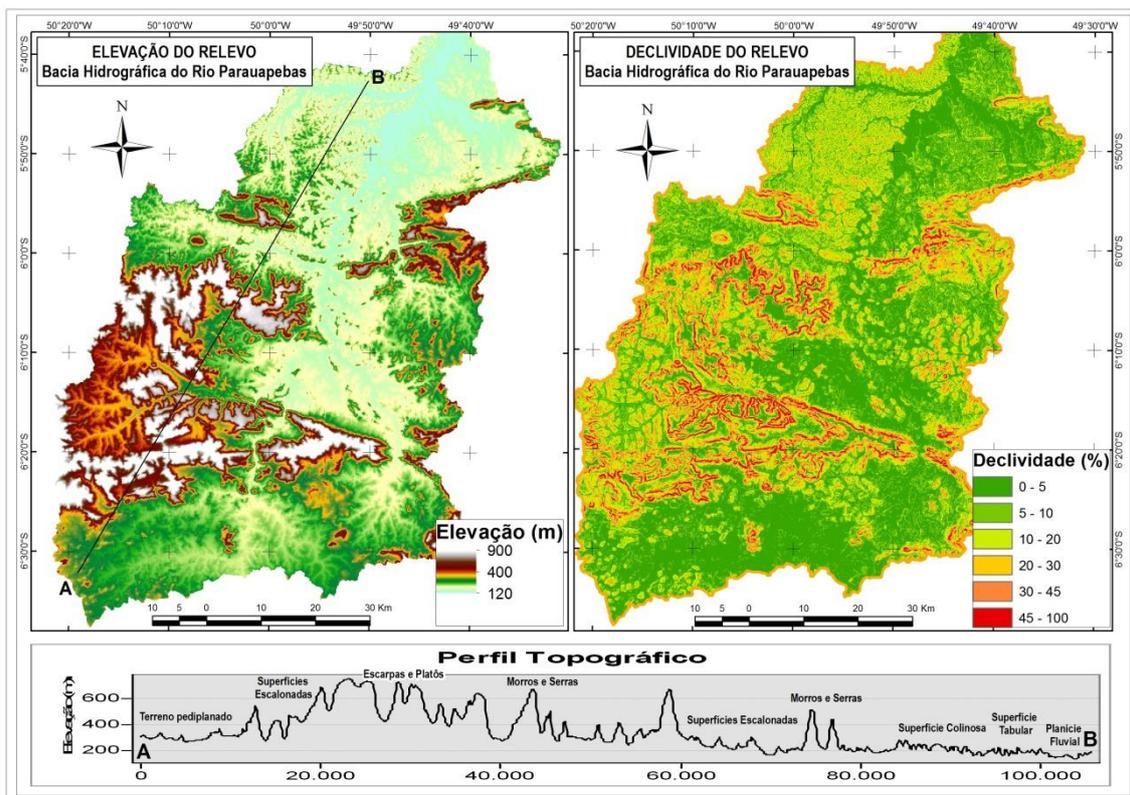
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos morfométricos do relevo

A partir do Modelo Digital de Elevação - SRTM (TOPODATA-INPE) foi possível gerar algumas variáveis da topografia da bacia hidrográfica do Rio Parauapebas, como por exemplo, a amplitude de declividade e de elevação, as quais possibilitaram constatar uma considerável diversidade morfométrica e, conseqüentemente, diversos modelados do relevo (Figura 1).

A declividade do terreno da BHP apresentou valores consideravelmente amplos, com destaque para as classes de 0 a 5% (35%), de 5 a 10% (25%) e 10 a 20% (20%), localizadas, predominantemente, ao longo das depressões do Rio Parauapebas, até confrontar-se com os modelados de dissecação, representados pelos patamares escalonados, morros e serras, escapas e platôs, os quais variam de 20 a 30 % (13%), de 30 a 45% (5%) e, acima de 45% (2%) (Figura 1). Nesse sentido, percebe-se que o quadro morfométrico da BHP aponta para uma variabilidade topográfica diversa e abrupta, principalmente, levando-se em consideração a amplitude de elevação, oscilando entre 120 m (planícies fluvial), 400 m (superfícies escalonadas) e 800 m (serras e platôs). A coexistência de modelados pediplanados e dissecados imprimem um conjunto de unidades morfológicas do relevo condizente com o cenário geomorfológico da BHP, conforme apresentado pelo mapa da figura 2.

Figura 1 – Elevação e declividade da bacia hidrográfica do Rio Parauapebas, RI Carajás



Fonte: Modelo Digital de Elevação - SRTM (TOPODATA/INPE). Cartografia: Autores (2022)

Geomorfologia

A partir do mapa geomorfológico (IBGE, 2022) e dos aspectos morfométricos (TOPODATA/INPE), foi possível identificar uma classe morfoestrutural (Crátos Neoproterozóicos), três classes morfoesculturais (Planaltos Residuais, Depressões Marginais/Parauapebas, Planície) e, oito modelados/unidades morfológicas (Planície Fluvio-Terracial, Pediplano, Dissecação Tabular, Dissecação Colínosa, Patamar Colínoso, Morros e Serras, Escarpas e Platôs/Chapadas), ambas associadas aos três primeiros níveis taxonômicos de Ross (1992), respectivamente (Figura 2).

A classe morfoestrutural, representada pelos Crátos Neoproterozóicos, associada ao 1º nível taxonômico, funciona como substrato e/ou escudos estruturais sobre os quais estão assente as Depressões e Planaltos Residuais. Tais estruturas constituem formações antigas e estáveis, datadas do Pré-Cambriano, sendo profundamente metamorfizadas e constituídas, essencialmente, de rochas cristalinas, de formação ígnea e de consolidação intrusiva, ou de material sedimentar dobrado,

arrasado e metamorfozido (PENTEADO, 1983), sendo predominantemente marcados por rupturas topográficas, em relação às formações sedimentares, e por uma declividade mais acentuada, condicionando a dinâmica e a morfologia do relevo.

Nesse contexto, os Crátons constituem maciços litosféricos, que sofreram pouca ou nenhuma deformação, não apresentando margem ativa, podendo ser circundados por uma camada marginal de rochas sedimentares (GUERRA; GUERRA, 2005). Esta classe constitui o embasamento cristalino da BHP, acondicionando extensas unidades de relevo, como planaltos residuais, alinhamentos serranos, chapadas e depressões marginais, elaborados em terrenos dobrados e falhados, incluindo, como cobertura, metamórfitos, granitoides associados, rochas sedimentares e/ou vulcano-plutonismos (IBGE, 2009).

Com relação à morfoescultura, a BHP apresenta três unidades de mapeamento, associadas ao 2º nível taxonômico, que são: Planaltos Residuais, Depressões Marginais/Parauapebas e Planície. Os planaltos são conjuntos de relevos planos ou dissecados, de altitudes elevadas, limitados, pelo menos em um lado, por superfícies mais baixas, em que os processos de erosão superam os de sedimentação, enquanto as serras constituem relevos acidentados, elaborados em rochas diversas, formando cristas ou bordas escarpadas de planaltos (IBGE, 2019). Tais unidades são esculpidas sobre embasamento cristalino, interpenetrando nas depressões marginais, configurando-se como um conjunto de planaltos em descontinuidade.

Os Planaltos Residuais se inserem e são representados por uma compartimentação topográfica, caracterizada pela prevalência de processos erosivos e pela esculturização do relevo, mediante o controle estrutural (IBGE, 2009). Constituem terrenos fragmentados, representados por relevos em forma de morros, de topos convexos, retilinizados e planos, chegando, em alguns casos, a configurar chapadas, morros e serras isoladas (ex. Carajás), constituídos por coberturas sedimentares residuais de diversos ciclos erosivos, associados a intrusões graníticas, a derrames vulcânicos antigos e seus dobramentos (ROSS, 1985). Os Planaltos Residuais alcançam altitudes que oscilam entre 400 e 900 metros, em geral, constituídos por rochas cristalinas, apresentando cristas, vertentes ravinadas e colinas, com escarpas de forte declive e com a presença de afloramentos rochosos (FURTADO e PONTE, 2013).

As Depressões Marginais do Rio Parauapebas, caracterizam-se por seu embasamento cristalino, associado tanto aos Crátons Neoproterozóicos como aos

Cinturões Móveis. Constituem superfícies aplanadas por ciclos erosivos muito antigos, sepultadas pelos depósitos paleomesozoicos das grandes bacias sedimentares, parcialmente exumados pelos processos erosivos circundenudacionais, esculpidas pelas atividades erosivas, com alternância de ciclos secos (pediplanação) e úmidos (meteorização), ao longo do Terciário e do Quaternário (ROSS, 2013). Altimetricamente, essas depressões apresentam uma amplitude que varia entre 100 e 300 metros, ocupando os terrenos de menor elevação, geralmente, dispostas entre os Planaltos Residuais, demonstrando estreita relação da floresta ombrófila com relevos menos ondulados e com processos acentuados de pediplanação.

Já as Planícies estão assente sobre depósitos sedimentares, remontando a formações do Cenozoico, principalmente, do período do Quaternário, sendo representado pelos depósitos estratigráficos mais recentes e inconsolidados, desencadeados a partir do término da última era glacial. São superfícies essencialmente planas, formadas por sedimentos sucessivos, de origem fluvial, predominando processos agradacionais (ROSS, 1985). Constituem áreas de acumulação, representadas pelas planícies e pelos terraços de baixa declividade e, eventualmente, pelas depressões (IBGE, 2009). Tais planícies incluem terrenos, que estão diretamente sujeitos ao controle do Rio Parauapebas, com algumas áreas passíveis de alagamentos e inundações, principalmente, em locais depressivos e/ou nos vales de tributários imediatos deste rio. A altimetria oscila entre 100 a 200 metros, entretanto, essa unidade se pronuncia de maneira mais evidente, próximo à desembocadura do Rio Parauapebas, em razão da diminuição da elevação e da ocorrência de relevos menos dissecados.

No contexto das classes morfoesculturais, foi possível identificar oito unidades morfológicas do relevo. A Planície Fluvio – Terracial é formada por influência da decomposição de sedimentos de rios e são superfícies mais planas resultantes da ação fluvial, relacionadas com ou sem ruptura de declive aos patamares mais elevados, desta forma, apresentando depósitos basicamente holocênicos formados por aluviões (IBGE, 2009). Essa classe ocorre em menor disparidade na Bacia de estudo, apresentando uma área de 47 Km² (1%).

Por outro lado, a morfologia que mais compõe a Bacia é o Pediplano, que se desenvolvem por processos erosivos com regressão de escarpes com coalescência e expansão de áreas planas do “pé de monte” que representam tênue capeamento de material fragmentado (pedimento) e rocha nua na frente de leque

aluvionares (JOÃO, 2013). Além disso, ampliam-se até restarem somente raros testemunhos, como colinas suaves a suaves onduladas, das zonas mais elevadas na superfície de aplainamento. Essa unidade apresenta uma área de 2.877 Km² (46%), distribuída ao longo das depressões do Rio Parauapebas.

Na porção nordeste da bacia, encontramos a unidade denominada Dissecação Tabular, que são áreas dissecadas da superfície tabular, consequente da erosão por controle estrutural e processos fluviais e pluviais (IBGE, 2009). Essa unidade se encontra ao sul do município de Marabá, zona limítrofe com município de Parauapebas, com área de 310 Km² (5%).

Outra unidade que completa o arranjo geomorfológico das depressões da bacia é a Dissecação Colinosa, em que o relevo é recorrente do domínio de “mares de morro”, com vertentes convexo-côncavo e topos arredondados e, vertentes de gradiente suave e moderado (IBGE, 2009). Essa morfologia se encontra à noroeste da Bacia e em pequenas áreas dos municípios de Marabá e Parauapebas, possuindo uma área de 694 Km² (11%).

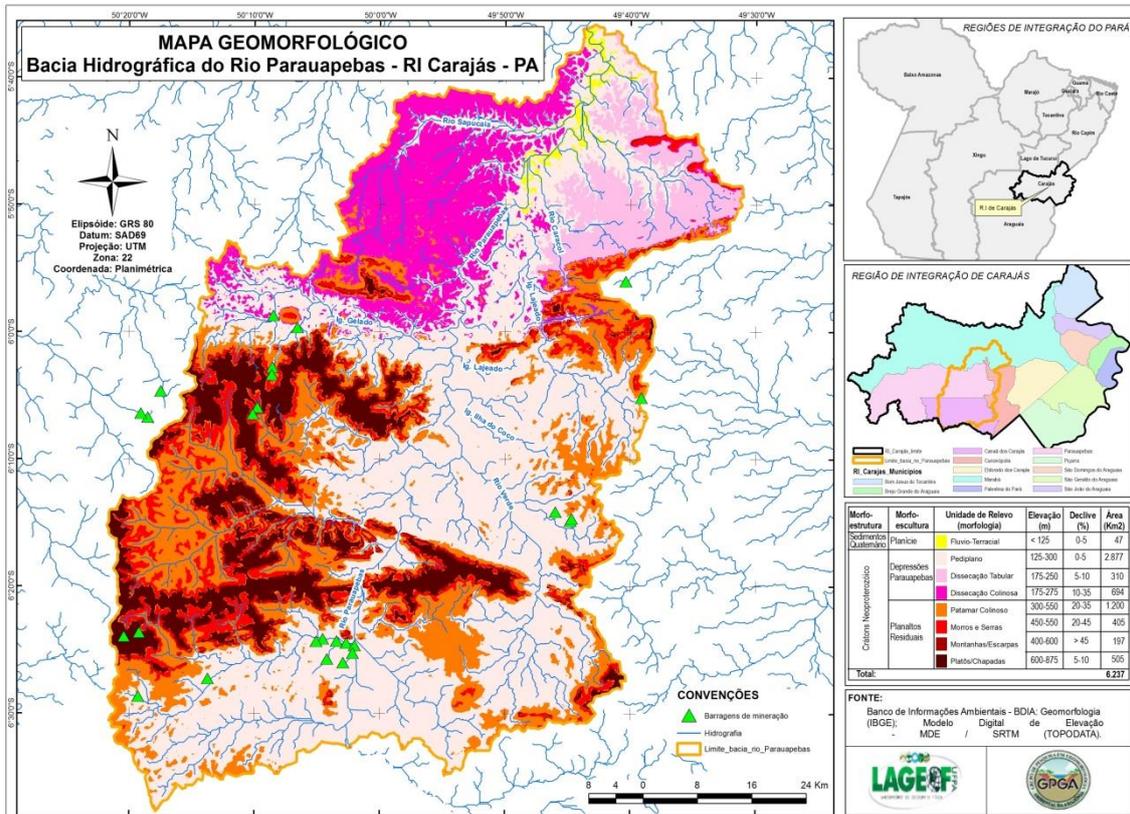
A segunda unidade geomorfológica que mais se destaca na bacia do rio Parauapebas é o Patamar Colinoso, em que são formas de relevo que se configuram como escarpas estruturais e/ou “superfícies escalonadas”, os Horts (IBGE, 2009). Essa classe é encontrada a leste da área de estudo, distribuída nos municípios de Marabá, Parauapebas, Canaã dos Carajás e Curionópolis, apresentando uma área em torno de 1.200 Km² (19%).

A unidade composta de Morros e Serras, localizada entre as unidades de Patamar Colinoso e Escarpas, é caracterizada como monte pouco elevado e como conjuntos de morros agrupados que podem representar uma feição com desnível abrupto e a outra suavemente inclinada (JOÃO, 2013), com uma área aproximada de 405 Km² (7%). Com proximidade à unidade anterior, estão as Escarpas, que são um relevo de transição entre duas superfícies, demonstrando uma elevada amplitude de relevo e vertentes abruptas (IBGE, 2009). Destacam-se com menor discrepância na Bacia, com uma área de 197 Km² (3%).

Por fim, os Platôs/Chapadas, que são caracterizados por apresentarem terras altas, mas nem tanto em comparação às cadeias montanhosas e nem relativamente baixas em relação às áreas de planície. São locais de formação geológica mais antiga, representando terrenos menos acidentados, em que o processo de meteorização se

destaca sobre o de deposição e/ou sedimentação (IBGE, 2009). Essa unidade apresenta uma área por volta de 505 Km² (8%).

Figura 2 – Geomorfologia da bacia hidrográfica do Rio Parauapebas, RI Carajás



Fonte: Adaptado IBGE (2022); MDE/SRTM (TOPODATA/INPE). Cartografia: Autores (2022)

Pedologia

Os aspectos pedológicos são fundamentais na dinâmica de processos morfológicos e na evolução da cobertura vegetal. Os solos constituem a camada mais intemperizada da superfície, resultando da interação entre as condições climáticas e a configuração topográfica, onde a evolução fitogeográfica e a dinâmica modeladora do relevo estão diretamente condicionadas às características pedogenéticas dos solos, como textura e profundidade, por exemplo.

Os solos da BHP, apesar de sua considerável diversidade de ocorrência, apresentam-se predominantemente bastantes intemperizados, excetuando-se aqueles associados aos planaltos residuais dissecados, em razão das altas taxas de precipitação, fato que se mostra relativamente desfavorável à sustentabilidade da própria floresta e à estabilidade de processos morfológicos da superfície, aquele em decorrência de solos

profundamente consolidados e/ou compactados e, este, por conta de uma topografia evidentemente dissecada. Nesse contexto, foram identificadas seis classes de solos na BHP, que são: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho Eutrófico, Nitossolo Vermelho e Neossolo Litólico (Figura 3).

Os Latossolos constituem solos com evolução muito avançada, classificados como 1º nível categórico (ordem), sobre o qual há atuação expressiva do processo de latolização, resultando em intemperização intensa dos constituintes minerais primários e secundários, sendo representado pelo horizonte B latossólico, prevalecendo concentrações de óxido e de hidróxido de ferro e alumínio, com distribuição textural gradativa e aparentemente uniforme (SANTOS et al., 2013). No segundo nível categórico (subordem), essas classes foram identificadas como Vermelho-Amarelo e Vermelho, aquela em razão de uma menor concentração de óxido de ferro, de uma profundidade reduzida e de um relevo plano a suave ondulado, e, esta, em decorrência da maior concentração de óxido a seisquíóxidos de ferro, assente em relevo predominantemente plano, profundo e fortemente meteorizado.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo se apresentam discretamente na área de estudo, mais precisamente, no extremo norte, próximo à desembocadura do Rio Parauapebas, com textura média a argilosa, com pequena variabilidade ao longo do perfil, e com relativa boa drenagem, enquanto os Latossolos Vermelho, situados na porção oeste da BHP, estão assentados sobre relevos em forma de platôs, com textura muito argilosa, boa drenagem, perfil profundo e homogêneo (IBGE, 2022).

Os Argissolos representam os solos mais maduros e desenvolvidos da BHP. Constituem solos bem a mal drenados, com baixa atividade da fração argila, de profundidade variada e com ocorrência do horizonte B textural, caracterizado pelo acúmulo de argila, em detrimento de sua redução na camada mais superficial (EMBRAPA, 2013). Os Argissolos estão distribuídos, predominantemente, sobre as Depressões Marginais, caracterizando-se como solos profundos, com textura média a argilosa, gradiente textural perceptível, ao longo do perfil e, relevo suave ondulado a ondulado, podendo imprimir um progressivo comprometimento na condição de drenagem (IBGE, 2022).

Os Nitossolos são solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte B nítrico abaixo do horizonte A, relacionados ao material de origem (ex.

Cobertura vegetal e uso da terra

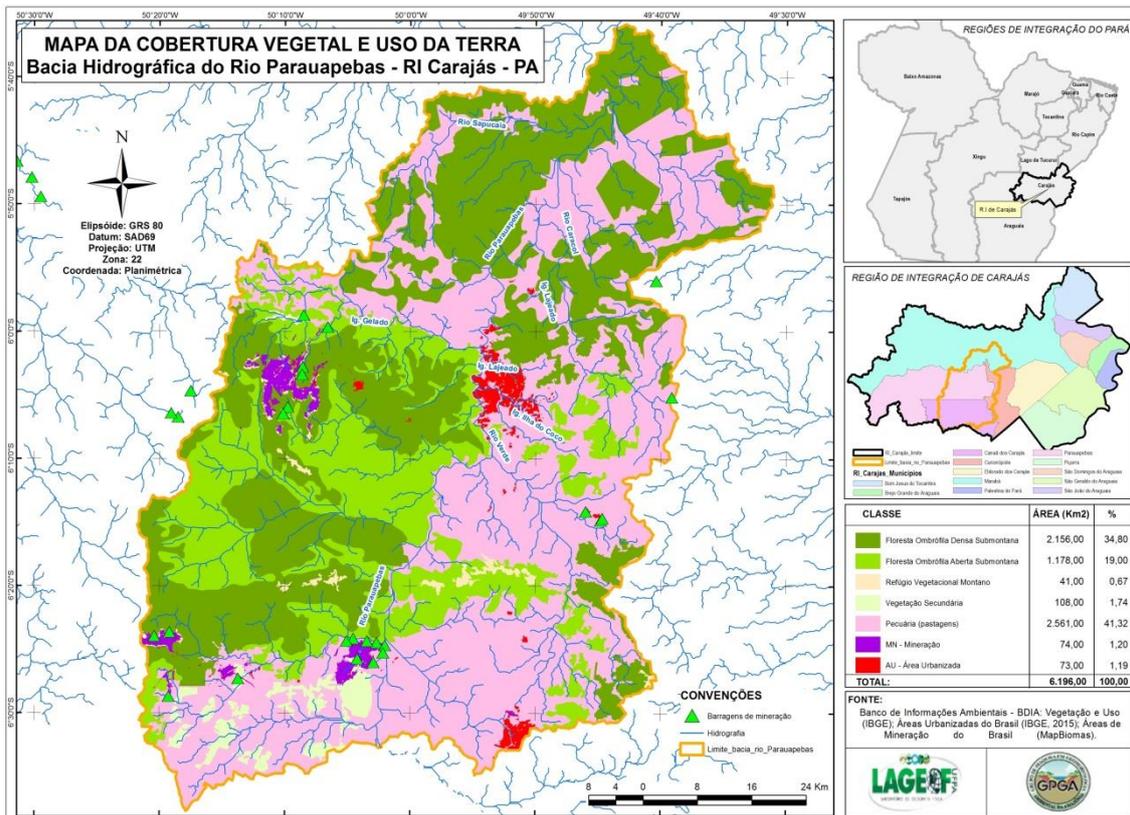
Foi possível identificar sete classes de vegetação e uso da terra, sendo três concernentes a formação florestal e quatro a unidades antrópicas. Dentre as formações florestais, destacam-se a Floresta Densa, Floresta Aberta e Refúgio Vegetacional Montano (Figura 4). A Floresta Densa caracteriza-se pela presença de árvores de grande porte e copas densas, representando a máxima expressão das condições de intempéries climáticas (precipitação e temperatura) na BHP, geralmente, estando associada a relevos menos dissecados e solos mais profundos e bem drenados. Na área de estudo esta formação está situada, predominantemente, na porção ocidental, com uma área em torno de 2.156 Km² (35%). Concomitante a esta formação, ocorre a presença da Floresta Aberta, caracterizada com uma formação fitoecológica de menor densidade, em razão de fatores pedogeneticamente limitantes (ex. menos profundos, mal drenados, compactados) e regime hídrico desfavorável (ex. períodos mais prolongados de estiagem). A Floresta Aberta está distribuída, hegemonicamente, na porção leste da BHP, sobre relevos mais acidentados e solos menos desenvolvidos, apresentando uma área de 1.178 Km² (19%).

Outra classe diz respeito ao Refúgio Vegetacional Montano (savana), a qual constitui uma formação típica de bioma extra-amazônico, de estrutura arbustiva, rasteira e pouco densa. Esta formação está condicionada, geralmente, a fatores limitantes edáficos, onde o solo pouco desenvolvido exerce maior importância, sendo possível observar que sua distribuição ocorre de maneira pouco expressiva e dispersa, estando situada em terrenos mais elevados, com uma área de aproximadamente 41 Km² (1%).

Com relação às unidades antropogênicas, destacam-se três classes na bacia de estudo, são elas: pastagem, mineração e área urbanizada (Figura 4). De acordo com o manual técnico de uso e cobertura da terra (IBGE, 2013), a pastagem, que se destaca com maior disparidade na área de pesquisa, se condiciona a áreas antrópicas agrícolas, em que a superfície é designada ao pastoreio do gado, composta através de plantio de forragens perenes ou benefício de pastagens naturais; além disso, nessas áreas, se encontram solos cobertos por uma vegetação caracterizada como gramíneas e leguminosas, em que a altura pode intercalar de decímetros a alguns metros. Ademais, essa classe se amplifica com a atividade da pecuária, na qual se busca unificar tecnologia e ciência procurando a produção de animais domésticos com a finalidade

econômica, particularmente como tratamento e criação de animais domésticos de grande, médio e pequeno porte, ocupando uma área por volta de 2.561 Km² (41%). Esta classe de mapeamento está concentrada, basicamente, nas porções leste e sul da área de estudo, concomitante as depressões do Rio Parauapebas.

Figura 4 – Cobertura vegetal e uso da terra, bacia hidrográfica do rio Parauapebas, RI Carajás



Fonte: BDIA: Vegetação e uso da terra (IBGE, 2022); Áreas Urbanizadas do Brasil (IBGE, 2015); Áreas de Mineração do Brasil (MapBiomass, 2021). Cartografia: Autores (2022)

A próxima classe, denominada de mineração, diz respeito às áreas de extração ou exploração de minerais. Em relação aos métodos de exploração, podem se destacar os mais corriqueiros que são a lavra e o garimpo. A primeira aborda um arranjo de operações ordenadas com objetivos sucintos do aproveitamento econômico da jazida, com início da extração dos minerais até as zonas de beneficiamento das mesmas; já no garimpo se emprega a tarefa de manejo de instrumentos, máquinas e aparelhos simples e de manejo móvel para a extração de minerais, além disso, é realizado individualmente (IBGE, 2013). Esta classe está situada, predominantemente, na porção leste da BHP, sobre relevos em forma platôs, onde ocorre a extração de minério, principalmente, de

ferro, nos município de Parauapebas e, mais recentemente, em Canaã dos Carajás, ocupando uma área explorada de aproximadamente 74 Km² (1%).

As áreas urbanizadas, em que se caracterizam por apresentarem cidades, em que são designadas as sedes municipais, as vilas, que são as sedes distritais e as áreas urbanas, em que se classifica como isoladas, conforme a categorização do IBGE (2013). Desta forma, estão integrados nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem ser encontradas, em alguns casos, em áreas urbanas (IBGE, 2013). Esta classe está distribuída de maneira dispersa e arealmente modesta (ex. cidade de Parauapebas e núcleo urbano da Serra de Carajás), com área equivalente a 73 Km² (1%), no entanto, constitui uma das maiores expansões urbanas do território brasileiro, impulsionado pela commodity da extração mineral.

Risco Geomorfológico

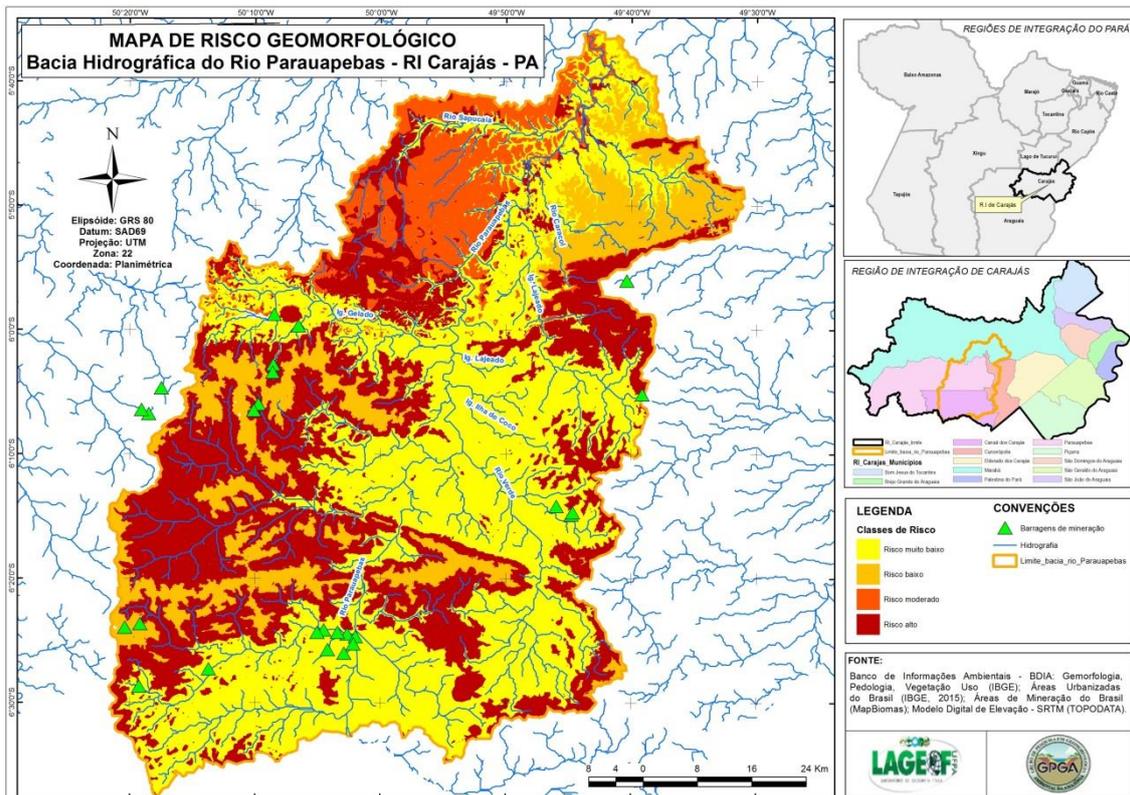
A partir da análise individual de parâmetros temáticos frente à fragilidade do meio ambiente, a qual condicionou atribuir pesos e valores de importância, fora possível elaborar o mapa de risco geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Parauapebas, no contexto da região de integração de Carajás (Figura 5). Através do mapa de risco geomorfológico foram identificados quatro classes de risco, que são: risco muito baixo (45%); risco baixo (14%); risco moderado (8%); e, risco alto (33%).

A unidade classificada como risco muito baixo ocupa aproximadamente a metade da área de estudo, em razão, principalmente, das depressões pediplanadas, por representarem relevos predominantemente planos a suave ondulado, associados à baixa declividade e aspectos pedogenéticos relativamente bem desenvolvidos e estáveis. Apesar de esta classe está sob uso predominante de pastagens e, esta, constituir uma estrutura tecnológica de baixa ameaça transformadora frente os aspectos geomorfológicos, o relevo se destaca quanto a importância diante do potencial de risco, fato este que culminou da definição dessa unidade.

A classe considerada como risco baixo corresponde às áreas assentadas sobre os relevos de dissecação tabular (porção nordeste) e sobre os relevos em forma de platôs/chapadas (porção centro-oeste). Apesar da discrepância de elevação, essas áreas apresentam semelhanças quanto ao topo relativamente suave ondulado e a cobertura

vegetal representada por florestas densas, excetuando-se aquelas áreas sob a tipologia antrópica de pastagens (porção nordeste), culminando em meios de baixa instabilidade pedomorfológica, em decorrência da baixa a moderada declividade e, conseqüentemente, na presença de processos erosivos pouco acentuados.

Figura 5 – Risco Geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Parauapebas, RI Carajás



Fonte: IBGE (2022); Áreas Urbanizadas do Brasil (IBGE, 2015); Áreas de Mineração do Brasil (MapBiomas, 2021); Modelo Digital de Elevação (TOPODATA). Cartografia: Autores (2022)

O risco moderado fora assim classificado em razão da ocorrência de relevos com dissecação colinosa, localizados na porção noroeste, representando as áreas de menor ocorrência da BHP. São zonas que apresentam declividades que variam de 10 a 30%, condicionando a ocorrência significativa de processos erosivos, principalmente, nas vertentes mais íngremes, próximas aos patamares escalonados (morros e serras). Os fatores fitopedológicos contribuíram decisivamente na definição desta classe, através da presença da Floresta Densa e do Argissolo Vermelho-Amarelo, uma vez que funcionaram como fatores atenuantes frente a instabilidade morfológica do terreno.

A classe considerada como risco alto constitui a segunda maior ocorrência na área de estudo, distribuída por toda a BHP, principalmente, nas zonas periféricas da mesma, com destaque para a porção oeste. Essa classe conjuga os aspectos de maior potencial a instabilidade do meio, como os planaltos residuais fortemente dissecados, com declividades variando de 30 a 45% (morros e serras) e, em alguns casos, acima de 45% (escarpas), solos pouco desenvolvidos com ocorrência de afloramentos rochosos, florestas ombrófilas abertas, refúgio vegetacional (savana) e, tipologias de uso com alta ameaça potencial de transformação estratigráfica (mineração). Essa classe é a que demanda maior cuidado, pois além das condições naturais de maior fragilidade e, conseqüentemente, mais susceptíveis a desastres naturais, o fator antropogênico e/ou tecnológico necessita de mais atenção quando implementadas em áreas com essas características, como por exemplo, as barragens de mineração localizadas na BHP, principalmente, aquelas assentadas nas áreas ou nas proximidades de áreas com alto risco geomorfológico (Figura 05).

CONCLUSÕES FINAIS

A análise do risco geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Parauapebas, no contexto da região de integração de Carajás (PA), permitiu tecer algumas conclusões, descritas a seguir:

1. O diagnóstico do meio físico e a análise de sua fragilidade diante de um determinado evento natural e/ou socioeconômico são fundamentais ao planejamento ambiental e a mitigação de possíveis desastres e/ou acidentes. Nesse contexto, que a cartografia ambiental tem mostrado sua eficácia diante de uma maior compreensão dos fatores físico-naturais, partindo da premissa de uma abordagem sistêmica e holística.

2. O mapa de risco geomorfológico constitui a síntese de uma abordagem contraditória, pois leva em consideração fatores favorável e não favorável acerca do potencial de ocorrência de determinados eventos, neste caso específico, a susceptibilidade do meio a desastres naturais, no contexto das barragens de mineração, bem como, possibilita a geração de indicadores de instabilidade e/ou estabilidade do terreno, parcelando a área de estudo em zonas e ou setores, com sugestões quanto a fragilidade e/ou a potencialidade frente a ocupação destes espaços, por determinadas tipologias/estruturas tecnológicas.

3. A Bacia Hidrográfica do Rio Parauapebas demonstra um panorama preocupante diante do risco geomorfológico, considerando o fato que a mesma apresenta um elevado potencial a ocorrência de desastres, sejam eles naturais e/ou sociais. Esta afirmativa decorre da presença de fatores favoráveis à eclosão desses eventos, pois quase a metade da bacia é constituída por moderado a alto risco geomorfológico. Logo, trata-se de um cenário que requer maior atenção das autoridades privadas e governamentais, em busca de melhor ordenamento territorial e maior sustentabilidade ambiental, uma vez que esta região tem sido palco de grandes e aceleradas expansões urbanas e degradação de recursos naturais, resultando na retirada da cobertura vegetal, na aceleração da erosão, no desmonte de unidade morfológicas do relevo, no aumento do escoamento superficial e, na ocorrência de inundações, principalmente, em áreas urbanas como Parauapebas.

4. O risco geomorfológico de ocorrência de desastres naturais, como por exemplo, movimento de massa, restringe-se às áreas assentadas sobre os relevos de maiores declives, como as encostas de morros, serras e escarpas, situadas, predominantemente, na porção centro-oeste da bacia. Na área urbana de Parauapebas, as ocupações espontâneas e desordenadas também apresentam risco considerável, pois muitas dessas ocupações ocorrem em vertentes íngremes de morros, fato este, que demanda maior atenção das autoridades e, suscita por diagnósticos e planejamento munidos de produtos cartográficos desta natureza.

REFERÊNCIAS

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração**, 2021. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem>. Acesso em: 05/setembro/2021

CUNHA, L., RAMOS, A. Riscos Naturais em Portugal: alguns problemas e perspectivas e tendências no estudo dos riscos geomorfológicos, in: LOMBARDO, M., FREITAS, M. (Orgs.). **Riscos e Vulnerabilidade: teoria e prática no contexto luso-brasileiro**. Cultura acadêmica, São Paulo, pp. 19-43. 2013.

FURTADO, A.; PONTE, F. Mapeamento de unidades de relevo do Estado do Pará. **Revista GeoAmazônia**, Belém, v. 02, n. 2, p. 56 - 67, jul./dez. 2013.

GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. (Tradução de Eduardo Almeida Navarro). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

GUERRA, A.; GUERRA, A. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009. 182 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010** – Documentação. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_gerais_amostra/resultados_gerais_amostra_tab_uf_microdados.shtm. Acesso em: 29.04.2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais: Manual Técnico de Uso da Terra**. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Rio de Janeiro: IBGE. 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas urbanizadas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil: Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas**. Rio de Janeiro, 2019. 179p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados e Informações Ambientais - BDIA: geomorfologia, pedologia, vegetação e uso**. Rio de Janeiro: IBGE. 2022. Acesso em: 15 de maio de 2022. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br>

JOÃO, Xafi da Silva Jorge. **Geodiversidade do estado do Pará** / Organização: Xafi da Silva Jorge João, Sheila Gatinho Teixeira, Dianne Danielle Farias Fonseca. - Belém: CPRM, 2013.

MARTINELLI, M. Cartografia ambiental: uma cartografia diferente? **Revista do Departamento de Geografia**, n. 7, p. 61-80, 1994. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/download/47311/51047>

MARTINELLI, M. Cartografia ambiental: um mapa de síntese. **Confins**, São Paulo, n. 35, p.1-16, 2018. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/13273>

OLIVEIRA, E. L. de A. **Áreas de Risco Geomorfológico na Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS: Zoneamento e Hierarquização**. 2004. 141f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PENTEADO, M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

PROJETO MapBiomias. **Coleção 6, Cobertura vegetal e uso da terra. 2021**. Disponível em: <http://mapbiomas.org/pages/about/about>. Acesso em maio de 2022.

SANTOS, A. D.; VITAL, S. R. de O. Riscos Geomorfológicos no Município de Caicó (RN). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.02, 2020, 434-448.

SANTOS, H.; JACOMINE, P.; ANJOS, L.; OLIVEIRA, V.; LUMBRERAS, J.; COELHO, M.; ALMEIDA, J.; CUNHA, T.; OLIVEIRA, J. (Orgs.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. revisão ampliada – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

RECKZIEGEL, B. W.; Robaina, L. E. S. Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual. **Ciência e Natura**, Vol. 2, n.27. p.65-83. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2005.

ROSS, J. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 4, p. 25-39, 1985.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, 6, 17-29, 1992.

ROSS, J. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH – USP, São Paulo, n. 8, 1994.

ROSS, J. O Relevo Brasileiro nas Macroestruturas Antigas. **Continentes** (UFRRJ), ano 2, n. 2, p. 8-27, 2013.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

Recebido em: 20/05/2022

Aprovado em: 25/06/2022

Publicado em: 29/06/2022