



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Dinâmica da Paisagem no Estudo da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente das Sub-Bacias do Rio Itacaiúnas - Município de Marabá (PA)

Alan Nunes Araújo¹ Bruno Chaves Carvalho² Amintas Nazareth Rossete³ Ronis Cley Fontes da Silva⁴ Joabi Luiz Lima de Lima⁵

¹Professor Doutor da Faculdade de Geografia e Cartografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará (UFPA). R. Augusto Corrêa, 01 – Guamá, CEP 66075-110, Belém – PA. (91) 983107190. alannunesaraujo@gmail.com. (autor correspondente)

²Engenheiro Sanitário e Ambiental, pela Universidade Estadual do Pará (UEPA), R. Una, 156, CEP 66050-540, Belém – PA. (94) 981162054. eng.brunocarvalho@hotmail.com.

³Professor Doutor da Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas e Sociais e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado de Mato Grosso. Rua Prof. Dr. Renato Figueiro Varella, CEP 78690-000, Caixa Postal 08, Nova Xavantina - MT. (66) 3201-7390. unimat.amnrote@uol.com.br.

⁴Licenciado e Bacharel em Geografia, pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO) na Universidade Federal do Pará (UFPA), R. Augusto Corrêa, 01 – Guamá, CEP 66075-110, Belém – PA. (94) 991078012. ronis.fontes@gmail.com.

⁵Engenheiro Civil, pela Universidade da Amazônia (UNAMA), discente da Faculdade de Geografia e Cartografia, pela Universidade Federal do Pará (UFPA). R. Augusto Corrêa, 01 – Guamá, CEP 66075-110, Belém – PA. (91) 3201-7390. joabe16lima@gmail.com.

Artigo recebido em 24/10/2022 e aceito em 06/05/2023

RESUMO

A análise da fragilidade ambiental tem por critério contribuir para o entendimento dos fatores ambientais, das condições físicas e naturais das mais diferentes formas de interposição das ações humanas. Isso é permitido porque o referido estudo possibilita a identificação de área que apresentam estabilidade e instabilidade ambiental, nos mais diferentes patamares, trazendo assim subsídios para diminuição e posterior prevenção de problemas de cunho social e ambiental. Nessa perspectiva, o estudo tem por objetivo analisar a fragilidade ambiental a partir da interação das características fisiográficas e bióticas das sub-bacias que compõem a porção baixa do rio Itacaiúnas até seu encontro com rio Tocantins, localizando-se no sudoeste do estado do Pará. Foram elaborados mapas temáticos com dados de uso e ocupação do solo, declividade do terreno, erosividade da chuva e erodibilidade do solo através de álgebra de mapas com os softwares ArcGIS 10.6 e eCognition® 9.2 para classificação das imagens. Se constatou que a bacia ainda apresenta um estado de conservação relevante com as duas fragilidades ambientais, potencial e emergente, com baixa e muito baixa intensidade e baixa e média, respectivamente. Apesar de ser um indicador positivo, a região, tal como a Amazônia de maneira geral, passa nos últimos anos pela elevação dos números de desmatamento e incêndios criminosos, consequência de uma política de desmonte das instituições ambientais, principalmente em nível federal, o que pode em curto prazo acelerar e alterar estes indicadores pela instabilidade ambiental caso este novo cenário se consolide e resulte na ruptura do equilíbrio dinâmico.

Palavras-chave: Diagnóstico; Fragilidade Ambiental; Sub-bacia Hidrográfica. Rio Itacaiúnas

Landscape Dynamics in the Study of Emerging and Potential Environmental Fragility in the Sub-Basins of the River Itacaiúnas - Municipality of Marabá (PA)

ABSTRACT

The analysis of environmental fragility has the criterion of contributing to the understanding of environmental factors, physical and natural conditions of the most different forms of interposition of human actions. This is allowed because the aforementioned study makes it possible to identify areas that present environmental stability and instability, at the most different levels, thus bringing subsidies for the reduction and subsequent prevention of social and environmental problems. In this perspective, the study aims to analyze the environmental fragility from the interaction of the physiographic and biotic characteristics of the sub-basins that make up the lower portion of the Itacaiúnas river until its meeting with the Tocantins river, located in the southwest of the state of Pará. Thematic maps were prepared with data on land use and occupation, terrain slope, rainfall erosivity and soil erodibility through map algebra with ArcGIS 10.6 and eCognition® 9.2 software for image classification. It was found that the basin still has a relevant conservation status with the two environmental weaknesses, potential and emerging, with low and very low intensity and low and medium, respectively. Despite being a positive indicator, the region,

like the Amazon in general, has experienced an increase in deforestation and arson in recent years, as a result of a policy to dismantle environmental institutions, mainly at the federal level, which can in the short term, accelerate and change these indicators due to environmental instability if this new scenario consolidates and results in a disruption of the dynamic balance.

Keywords: Diagnosis; Environmental Fragility; Hydrographic sub-basin. Itacaiúnas River

Introdução

Os desastres ecológicos, desmatamento, aumento da temperatura, enchentes e escassez de água tem contribuído para que nos últimos anos a temática ambiental fosse um assunto tratado em nível nacional e internacional. Segundo Araújo e Prates (2018), na perspectiva da Teoria dos Sistemas, todas as trocas de energia se relacionam mediante um equilíbrio interativo, porém, as ações humanas tendem a desestabilizar este ambiente, podendo ter consequências transitivas ou permanentes, ocasionando alterações com complexo grau de reversão para o seu estado original ou similar.

Os sistemas ambientais frente às modificações humanas proporcionam maior ou menor fragilidade em função das características apresentadas por cada tipo de ambiente, como relevo, solo, vegetação, clima e nos recursos hídricos, ocasionando assim o desequilíbrio das relações dinâmicas dessas variáveis (Ross, 1994). Por meio do diagnóstico das categorias é possível mensurar a fragilidade ambiental dos ambientes naturais.

Para determinar a fragilidade ambiental de uma região é preciso um estudo integrado dos elementos que compõem o meio ambiente, procurando a correlação dos dados e consequentemente a definição de áreas prioritárias à intervenção e a gestão do território.

A fragilidade ambiental está baseada em vários fatores ambientais dentre eles: uso e cobertura do solo, declividade do terreno, geomorfologia, pedologia, potencial erosivo das chuvas, cobertura vegetal e entre outros; estes quando analisados sob enfoque geossistêmico, são determinantes para a compreensão da dinâmica ambiental e sua fragilidade, proporcionando os caminhos a serem traçados e ações a serem desenvolvidas no espaço físico-territorial, dessa forma, propicia-se a realização de zoneamentos ambientais e importantes contribuições na gestão territorial (Spörl, 2001; Araújo; Prates, 2018).

Segundo Costa e Leite (2022), a análise da fragilidade ambiental de um ambiente fornece subsídio ao planejamento ambiental e ao uso e ocupação adequando a área analisada. Portanto, a execução do mapeamento da fragilidade ambiental potencial e emergente em bacias hidrográficas, se faz necessário, para que se venha promover os

princípios da conservação dos recursos naturais, frente a expansão urbana, bem como para gerar o desenvolvimento sustentável das relações humanas com o meio ambiente.

As bacias hidrográficas são para além de um sistema aberto circundado por seus interflúvios, tendo seu nível de base correspondente ao seu exutório, estabelecendo trocas de energia e matéria entre o meio interno e externo, também uma unidade de gestão do território, palco de mudanças da natureza e também da sociedade. Portanto, as alterações em uma bacia hidrográfica, do ponto de vista antrópico, propiciam um descontrole de energia entre os componentes, tornando-os mais ou menos suscetíveis a intempéries geossistêmicas (Silva et al, 2022).

O município de Marabá (Pará) situa-se na confluência entre dois grandes rios (Itacaiúnas e Tocantins), sendo o Rio Itacaiúnas o que apresentam maior expressividade para a região frente a um contexto histórico referente ao transporte da borracha e da castanha no século XX e atualmente viabilizando a economia e a sobrevivência da região como fonte de recurso hídrico, abastecendo a área urbana e fomentando a agricultura, percorrendo uma área municipal de 200 km face ao Rio Tocantins que na mesma localidade percorre apenas 50 km (Silva et al, 2022).

Nessa perspectiva, o estudo tem por objetivo analisar a fragilidade ambiental a partir da interação das características fisiográficas e bióticas das sub-bacias que compõem a porção baixa do rio Itacaiúnas até seu encontro com rio Tocantins, localizando-se no sudoeste do estado do Pará

Material e métodos.

Localização e descrição da Área de Estudo

O município de Marabá está localizado na mesorregião do Sudeste paraense, a sede administrativa do município está no encontro de dois grandes rios, Tocantins e Itacaiúnas, formado assim por seis distritos urbanos. O município tem sua economia uma relação direta, desde a década de 1970, com a atividade mineral e siderometalúrgica acompanhadas pelo projeto Grande Carajás (ARAÚJO et al, 2020). Portanto objeto deste estudo, são as sub-bacias que compõem a

porção baixa do rio Itacaiúnas até seu encontro com rio Tocantins em Marabá, PA (Figura 1).

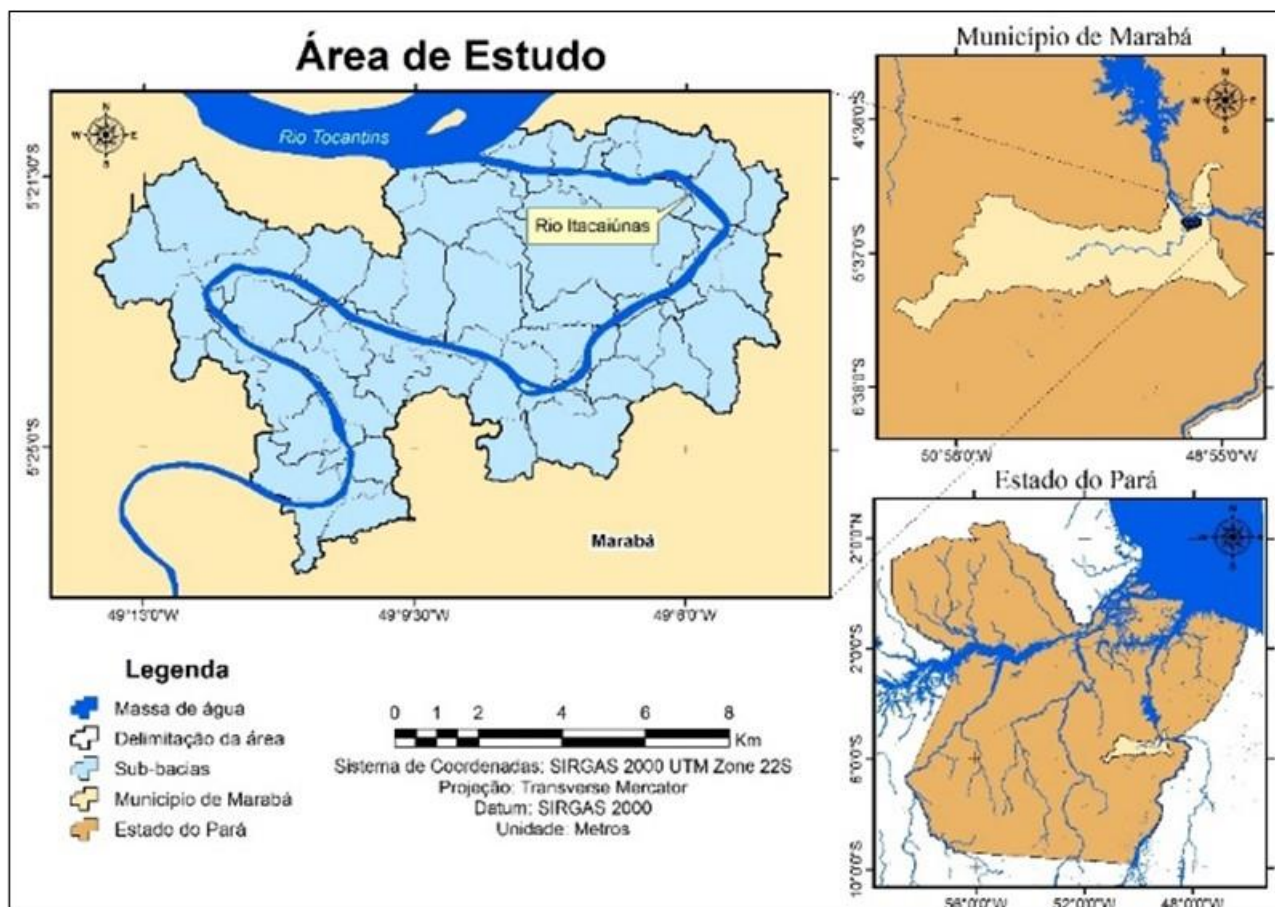


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, porção o baixo do rio Itacaiúnas, Marabá-PA.

De acordo com Silva et al. (2022) ressaltam que a bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas compreende uma área de drenagem de 41.732 km², compõe majoritariamente dezoito municípios paraense, desde Água Azul do Norte – PA, até a foz do rio no município de Marabá (Figura 1), todos no sudeste do estado. Portanto, as áreas das sub-bacias estudadas, compreendem assim cerca de 96 Km² sendo parte importante para a região.

As análises metodológicas que serão aplicadas nessa pesquisa são a junção de duas propostas: A análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais proposta por Ross (1994) e a proposta elaborada por Crepani et al. (2001) aliando duas técnicas complementares, que são o Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

aplicado ao Zoneamento Ecológico Econômico e ao Ordenamento Territorial.

Procedimentos Metodológico

Os procedimentos iniciais foram a combinação do método de sobreposição ponderada dos mapas: mapa de solos, mapa de intensidade pluviométrica e ocorrência de erosividade das chuvas, mapa de declividade os quais resultarão no mapa de fragilidade ambiental potencial. Posteriormente serão elaborados o mapa de fragilidade ambiental emergente com a sobreposição ponderada dos mapas de fragilidade ambiental potencial e mapa de uso e cobertura do solo, como descrito no fluxograma abaixo (Figura 2).

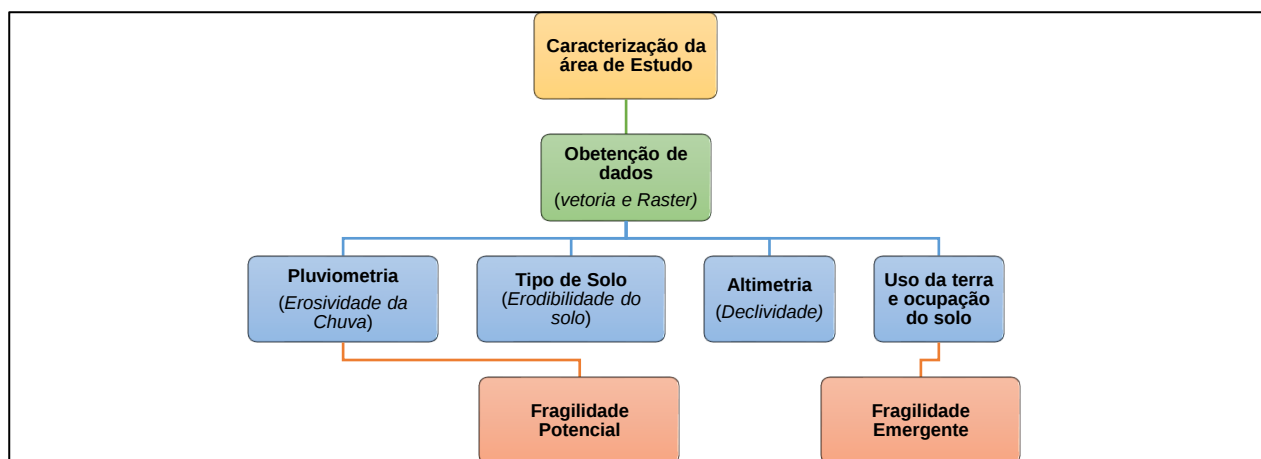


Figura 2. Método de construção e ponderação dos dados.

A geração do mapa de declividade foi feita por intermédio da análise morfométrica da área de estudo, através da obtenção do Modelo Digital de Elevação - MDE oriundo da missão SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), a este respeito para aquisição dos dados de sensores de radar ativos foram utilizados a banda X-SAR (Banda X Synthetic Apperture Radar) com resolução espacial de um arco de segundo e diferente, portanto, da banda C (Space borne Image Radar) com resolução espacial de três arcos de segundo, com passagem em 23 setembro de 2011, da cena SRTM1 S 06° W 05' 0" V3.

Para a erosividade da chuva foi utilizado um índice numérico que determina a capacidade que a precipitação apresenta de causar erosão em uma determinada localidade e área sem proteção (Bertoni e Lombardi Neto, 1999). Portanto, em um certo local e ano, o fator de erosividade da chuva (R) é adquirido pelo somatório da energia cinética das chuvas pela máxima intensidade observada em 30 minutos – EI30 (Wischmeier e Smith, 1978). Contudo, devido a inexpressiva quantidade de séries de dados necessários para a obtenção do EI30, foi utilizado nesse estudo a Equação de Fournier, (Eq. 1) uma equação empírica entre R e volumes médios mensais e anuais de precipitação.

$$R = \alpha \left(\frac{P_m^2}{P^b} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo: R (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹) = erosividade da chuva e enxurrada; P_m (mm) = precipitação média mensal do local; P (mm) = precipitação média anual do local; α e b = coeficientes empíricos de ajuste.

Utilizou-se o coeficiente proposto por Da Silva (2004), onde existe uma alta correção (r² = 0,975; a=1%) entre a distribuição geográfica da erosividade anual e os índices pluviométricos anuais no Brasil. A equação de Fournier utilizada no estudo foi a seguinte (Eq. 2).

$$R = 36,849 \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_{mi}^2}{P} \right)^{1,0852} \quad \text{Eq. 2}$$

Os dados pluviométricos foram extraídos da Agência Nacional de Águas – ANA. No qual foram considerados os dados da série histórica de 5 (cinco) estações que se encontram nas proximidades das sub-bacias de estudo, sendo esta série de 2004 até 2015 (Tabela 1) com respectivos valores anuais médios de precipitação do período. Utilizou-se para o manuseio dos dados uma planilha eletrônica do software Microsoft Excel, considerando assim apenas os valores correspondentes a precipitação mensal e anual.

Tabela 1. Estações pluviométricas com suas respectivas médias anuais.

Estação Pluviométrica	Latitude	Longitude	Média anual de precipitação (mm)
FAZENDA ALEGRIA	-5:29:48	-49:13:22	1.239,30
KM 60 PA-150	-5 48 11	-49 11 0	2.225,05
FAZENDA SURUBIM	-6 25 40	-49 25 11	2.031,65
ELDORADO	-6 6 19	-49 22 39	2.551,81
FAZENDA CAIÇARA	-6 48 55	-50 32 20	1.617,34

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA)

Posteriormente, os dados foram realocados para ambiente SIG, os resultados da erosividade foram interpolados pelo Método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) que é um interpolador determinístico univariado de médias ponderadas. Este método se norteia no princípio da interpolação global, no qual, quanto mais próximo estiver um ponto do outro maior será a correlação entre os valores. Dado ao determinado interpolador, o mesmo foi escolhido devido ser um método rápido e que exige pouco custo (BERTONI; TUCCI, 2000).

Para melhor visualização dos dados do potencial de liberação de material particulado provenientes da chuva, foram transformados os valores quantitativos da erosividade da chuva, de MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, para tm mm ha⁻¹ ano⁻¹, transformado os valores para o sistema métrico decimal, no qual os valores obtidos em megajoules são divididos por 9,81 e adotando-se as classes definidas por Carvalho (1994) (tabela 2).

Tabela 2. Classe de erodibilidade com seus respectivos valores.

Classe de Erosividade	Valores de R (tm.m.mm/ha.h.ano)	Classes de fragilidade	Peso
Muito baixa	R < 250	Muito baixa	2
Baixa	250 < R < 500	Baixa	3
Média	500 < R < 750	Média	5
Alta	750 < R < 1000	Alta	8
Muito Alta	R > 1000	Muito alta	9

Fonte: Adaptado de Carvalho (1994, p. 210) e Carvalho (2008, p.600)

O parâmetro de erodibilidade do solo pode ser entendido como, a susceptibilidade de um determinado solo a erosão, visto que o mesmo pode variar naturalmente conforme as características do solo e apresenta modificações conforme o seu tipo e característica (Bertoni e Lombardi Neto, 1999).

A princípio foram feitas pesquisas para a identificação das classes de solo que são encontradas na área de estudo, para isso, foi utilizado a base de dados pedológicas disponibilizadas ao público da Secretaria de Meio e Sustentabilidade do Estado do Para – SEMAS.

No presente trabalho, a aquisição dos valores de erodibilidade do solo (Fator K) para os tipos solo encontrados na região de estudo, foram

utilizados dados disponíveis em várias obras que tratam do assunto.

O fator de erodibilidade dos solos (K) que foram encontrados: Cambiossolo 0,0355 (Mg ha MJ-1 mm-1) por Silva et al. (2009), Argissolo Vermelho Amarelo media/argilosa 0,033 (Mg ha MJ-1 mm-1) por Albuquerque et al. (2005) e Farinasso et al. (2006), Latossolo Vermelho Amarelo 0,034(Mg ha MJ-1 mm-1) por Marques et al. (1997), Neossolo Quartzarênicos 0,041(Mg ha MJ-1 mm-1) por EMBRAPA (2018). Com suas respectivas fragilidades (Tabela 3).

Tabela 3. Tipos de solos e classe de fragilidade.

Classe de Fragilidade	Tipo de Solo	Peso
Muito baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo Textura Argilosa	2
Baixa	Latossolo Vermelho-Amarelo Textura Média/Argilosa	3
Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo Textura Média/Argilosa	5
Alta	Argissolo Vermelho-Amarelo Textura Média/Arenosa e Cambissolos	8
Muito Alta	Argissolo Vermelho, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Arênico	9

Fonte: ARAÚJO e PRATES (2018)

Para a classificação de uso e ocupação do solo foi utilizada uma cena do sensor Landsat-8, datada em 19 de julho de 2021, do município de Marabá – PA, no qual compreende uma parte da bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas e seguindo as seguintes etapas: reparação da imagem, seleção de amostras de treinamento, classificação orientada ao objeto (Nearest Neighbor) através da classificação “pixel a pixel” (MAXVER) e posterior avaliação dos resultados.

Foram utilizadas para a classificação de uso e ocupação do solo o software eCognition developer 64 (versão trial) que utiliza a análise orientada ao objeto (Nearest Neighbor), no qual foi utilizado o algoritmo Multi-resolution Segmentation para a classificação da imagem, de acordo com Bernardi et al. (2007) a aplicabilidade

desse calculador e unificar regiões menores (cada pixel) em regiões múltiplas ou regiões maiores, utilizando como critério a cor, forma, compacidade, suavidade e escala, analisando assim de cada banda espectral.

A Classificação produzida no eCognition developer 64 (versão trial) foram identificadas na análise 8 classes de uso e cobertura (Floresta Nativa, Área alagadiça, capoeira, pastagem, áreas urbanizadas, solo exposto e área de mineração e água) (Tabela 4). O processamento desenvolveu-se a partir de uma segmentação hierárquica de classes de uso e cobertura e posterior classificação de suas fragilidades e seus determinados pesos (ARAÚJO et al, 2022).

Tabela 4. Classes de Proteção dos Usos e cobertura do solo.

Classe	Fragilidade	Tipos de Uso e Cobertura	Peso
1	Muito baixa	Alta Floresta/Matas Naturais, Recursos hídricos	2
2	Baixa	Capoeira Densa, Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre – arbustiva (Área alagadiças) Áreas urbanizadas	3
3	Média	Pastagem	5
4	Alta	Áreas de mineração	8
5	Muito Alta	Solo exposto	9

Fonte: Adaptado de Ross (1994, p. 67) e ARAÚJO; PRATES. (2018)

Para a validação das amostras identificadas de uso e ocupação do solo ou dos seguimentos gerados, foi utilizada a interpretação visual da imagem. Sendo assim, foram realizadas a

classificação automática da imagem adota como referência, portanto como toda classificação manual está sujeita a um determinado erro humano de interpretação.

Os dados de declividade do solo, erosividade da chuva e erodibilidade do solo foram combinadas, através da ferramenta Weighted Overlay, resultando assim, em um produto que foi a criação do mapa de fragilidade ambiental potencial

No que se refere, a composição dos mapas de fragilidade ambiental emergente, foram necessárias as conversões dos arquivos vetoriais em arquivos matriciais do tipo (GRID), após isso os arquivos foram reclassificados, através da ferramenta Reclassify do Software ArcGIS 10.3. Por fim, foi utilizada o método booleano de

associação de mapas (Álgebra de Mapas), no qual se denomina sobreposição ponderada através da ferramenta Weighted Overlay.

Resultados e discussão

Declividade do Terreno

O resultado encontrado surgiu da correlação dos dados de declividade e que posteriormente foram cruzados e transformados em escalas de fragilidade em porcentagem conforme critérios estabelecidos por Ross (1994) (Tabela 5).

Tabela 5. Classes de declividade e graus de fragilidade e peso.

Classes de declividade (%)	Graus de Fragilidade	Grau de Limitação	Peso
0 a 3	Muito Baixa	Plano/Praticamente Plano	2
3 a 8	Baixa	Suave ondulado	3
8 a 20	Média	Moderado ondulado	5
20 a 45	Alta	Ondulado	8
>45	Muito Alta	Fortemente ondulado	9

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995, p.31) e Ross (1994, p.66)

O mapa de declividade foi gerado a partir de modelo digital de elevação da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que utiliza vários sensores como visada lateral e vertical, no qual tem por finalidade produzir o dimensionamento em três dimensões espaciais do relevo, como por exemplo, longitude, latitude e altitude.

Nas áreas das sub-bacias do Rio Itacaiúnas, os declives encontrados variam de 3% a 45%, onde a faixa que compreende 3% a 8% e 8% a 20% representam cerca de 98,1% do total, ficando assim apenas 1,9% para a faixa de 20% a 45% (Figura 3).

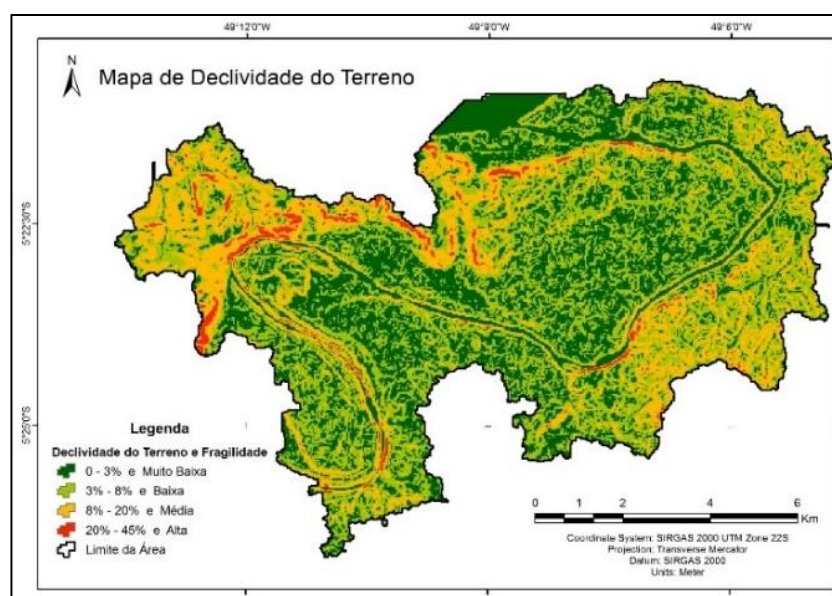


Figura 3. Mapa de declividade do terreno, porção o baixo do rio Itacaiúnas, Marabá-PA.

A faixa de declive classificado como suavemente ondulado (3-8%), representa a grande parte da porção central da área estudada, no qual pode ser observado os declives fluviais e parte da massa urbana. Apresentando assim um muito baixo grau de fragilidade.

Os conjuntos de maiores declives podem ser vistas nas regiões noroeste e sueste com a presença de áreas de declives nas faixas de 8-20% e 20-45% respectivamente. Variando assim em graus de média e alta fragilidade.

Portanto, as áreas apresentam os seguintes resultados por faixa de declive e grau de

fragilidade; 0 - 3% (110,05 HA) para plano/praticamente plano, 3-8% (133,02 HA) Suave ondulado, 8-20% (63,65 HA) Moderado ondulado e 20-45% (6,05 HA) Ondulado.

Erosividade da Chuva

Segundo Carvalho (1994), as chuvas neste local apresentam auto grau de energia cinética proveniente das chuvas, ou seja, a precipitação nessa área apresenta um alto grau de erosividade (Figura 4).

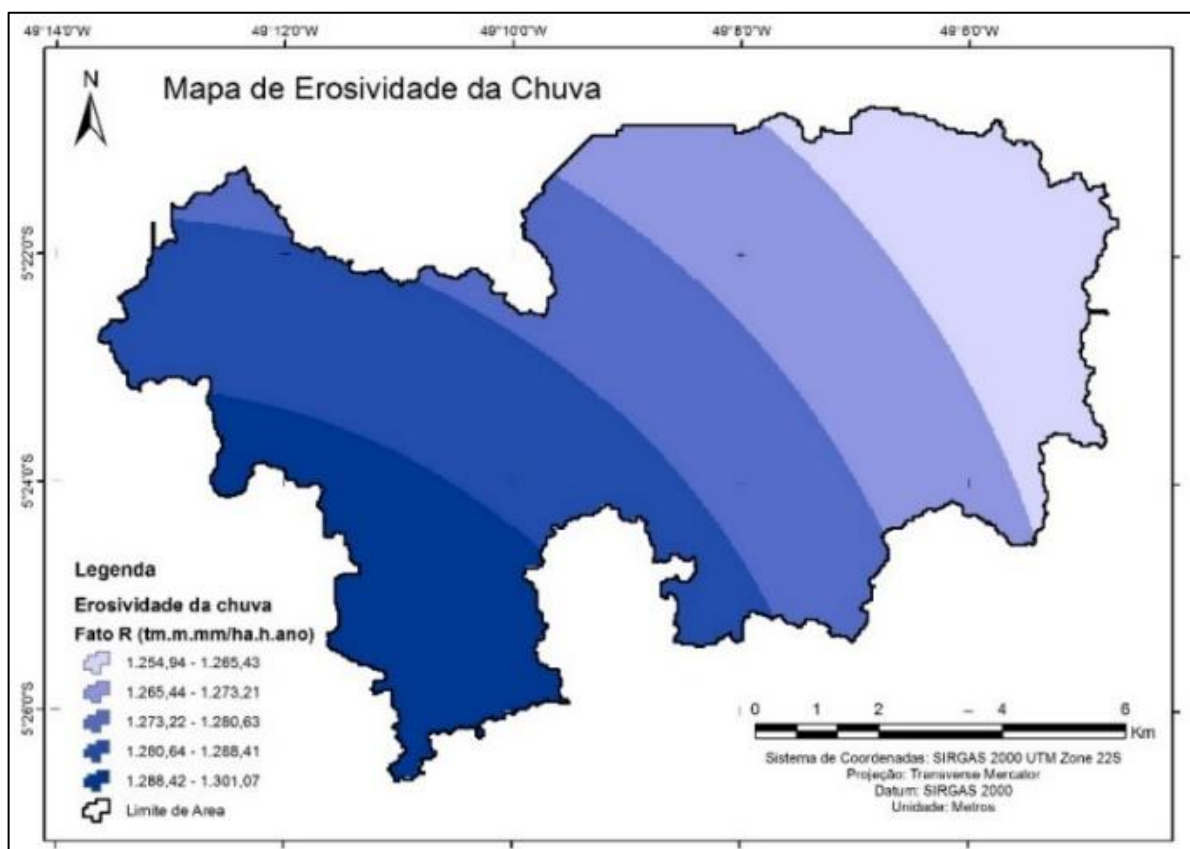


Figura 4. Mapa de Erosividade da Chuva, porção o baixo do rio Itacaiúnas, Marabá-PA.

Com base no mapa de intensidade pluviométrica e sua relação com a erosividade da chuva, foi possível identificar que existe um maior grau de erosividade da chuva na porção oeste da área estudada, no qual apresentam um grau de intensidade pluviométrica de até 1.301,07 tm.m.mm/ha.h.ano índice considerado por Carvalho (1994) muito alto, no que diz respeito a erosividade da chuva. Portanto apresentando muito alto grau de fragilidade

Na região leste apresenta valor de erosividade também bastante expressivo de até 1.254,94 tm.m.mm/ha.h.ano que é considerado uito alto para a ocorrência de erosividade. Ou seja, a

parte oeste da área de estudo sofre maiores intemperes em relação a energia cinética das gotas de chuva, ocorrendo assim maior erosividade da chuva nessa área do que a leste.

Erodibilidade do solo

Foram identificados quatro tipos de solo na região, Cambiossolo, Argissolo Vermelho Amarelo media/argilosa, Latossolo Vermelho Amarelo, Neossolo Quartzarênicos (Figura 5).

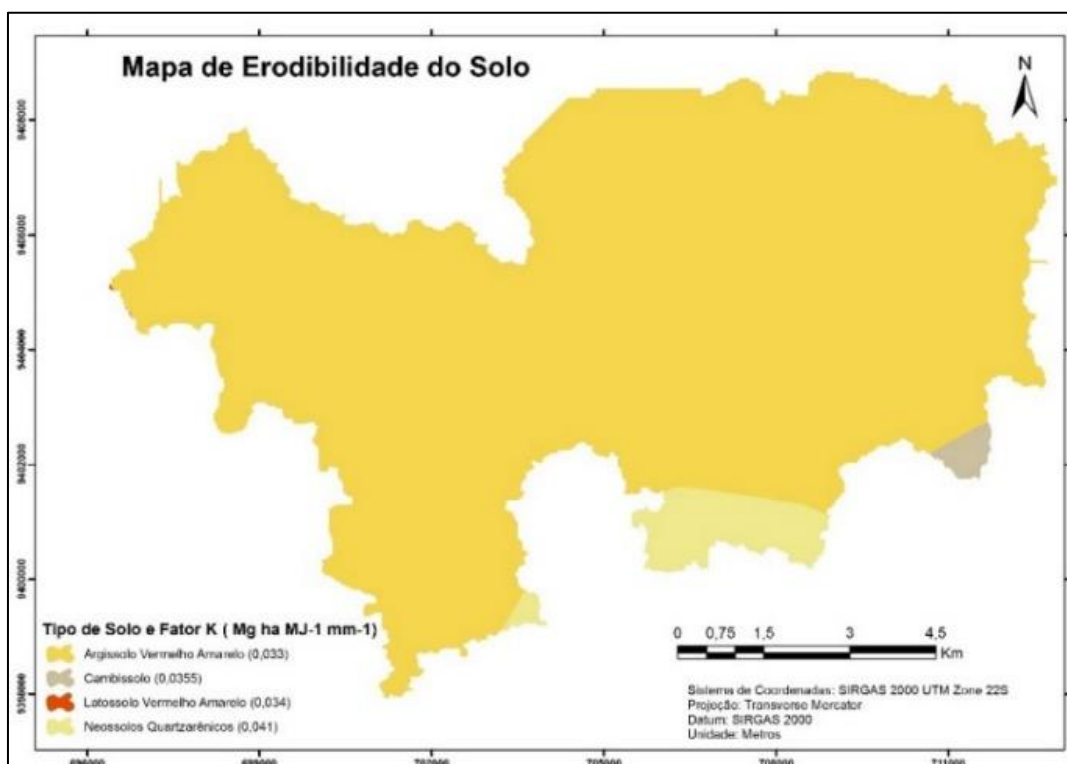


Figura 5. Tipos de solo e respectivos valores de erodibilidade, porção o baixo do rio Itacaiúnas, Marabá-PA.

De acordo com a figura 5, a área de estudo predomina o tipo de solo Argissolo Vermelho Amarelo com cerca de 9.231,66 HA. Conforme EMBRAPA (2018), são solos profundos ou muito profundos, bem estruturados e bem drenados, em situações normais de chuva, com boa sequência de horizontes, apresentando baixa fertilidade natural. Esse tipo de solo se caracteriza por ter um baixo potencial de dessecação do relevo, algo que pode influenciar diretamente de forma positiva na fragilidade ambiental potencial, apresentando também, grau médio de fragilidade ambiental.

É possível ser identificado também que na porção sul há a ocorrência do tipo de solo Neossolos Quartzarênico com uma abrangência de área de 357,88 HA, este tipo de solo apresenta um coeficiente de erodibilidade de 0,041 Mg há MJ-1 mm-1, no qual, tal tipo de solo é classificado com

alto grau de fragilidade merecendo assim tal região uma maior atenção.

Na região sueste e noroeste encontra-se uma pequena quantidade do tipo de solo Cambissolos, cerca de 59,23 HA com fator de erodibilidade de 0,0355 Mg há MJ-1 mm-1 e também Latossolo Vermelho Amarelo com um total de área de 0,41 HA e índice de erodibilidade de 0,034 Mg há MJ-1 mm-1 respectivamente.

Uso e Ocupação do solo

A categorização das classes de uso e ocupação do solo e posterior composição do mapa temático (Figura 6), foi realizado no software eCognition devolope 64 e ArcGIS 10.3 respectivamente, para tabulação dos dados na tabela 6.

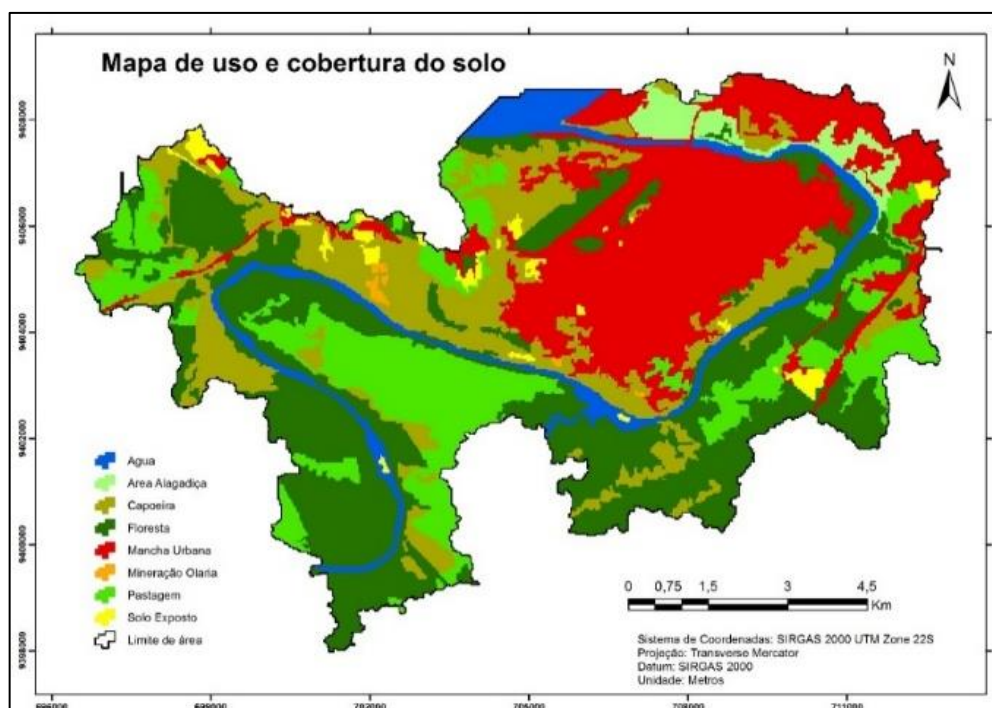


Figura 6. Mapa de Uso e ocupação do solo, porção o baixo do rio Itacaiúnas, Marabá-PA.

Tabela 6. Total de área por faixa de declividade e seu percentual em área.

Classe	Total de Área (HA)	Porcentagem (%)
Floresta	3006,163	31,16
Mancha urbana	2374,968	24,62
Capoeira	1734,029	17,97
Pastagem	1568,751	16,26
Massa de água	553,132	5,73
Área alagadiça	228,059	2,36
Solo exposto	162,912	1,69
Mineração olaria	20,25	0,21

Conforme a análise da tabela 6, foi possível identificar que existe uma predominância de áreas recobertas por floresta nativa, cerca de 31,16%, seguido pela classe de mancha urbana 24,62% e de capoeira de 17,97 %.

A capacidade de proteção do solo pode ser variada de acordo com sua ocupação. Considerando a vegetação nativa na área, é possível identificar que as áreas que apresentam como tal classificação se alternam entre margem esquerda e direita do leito fluvial, a concentração dos fragmentos florestais, variam de menor a maior concentração no que se refere a proximidade com a mancha urbana, ou seja, quanto mais próximo da mancha urbana menor a quantidade de fragmentos florestais.

A mancha urbana se concentra mais na porção norte e ao centro da área de estudo próximo ao leito fluvial, área essa que compreende a foz do rio Itacaiúnas, tal classificação é caracterizado segundo Ross (1994) como fragilidade ambiental de baixa intensidade, ou seja, não apresentam grandes possibilidade de dissecação do relevo.

A classificação utilizada para capoeira foi identifica principalmente no lado direito do rio Itacaiúnas, em relação a foz do rio, no qual pode ser verificada que são áreas que já sofreram algum tipo de uso, porém no momento estão em processo de recuperação.

Fragilidade Ambiental Potencial

Para avaliação dos indicativos de fragilidade ambiental potencial deve ser

considerado as características do meio natural como, topográficas (declividade do terreno), pedologia (organização e classificação dos tipos de solo) e fatores climáticos (pluviometria com o seu

potencial grau de dissecação do relevo). Esses elementos nos permitem verificar os níveis de instabilidade e estabilidade de qualquer geossistema (Figura 7).

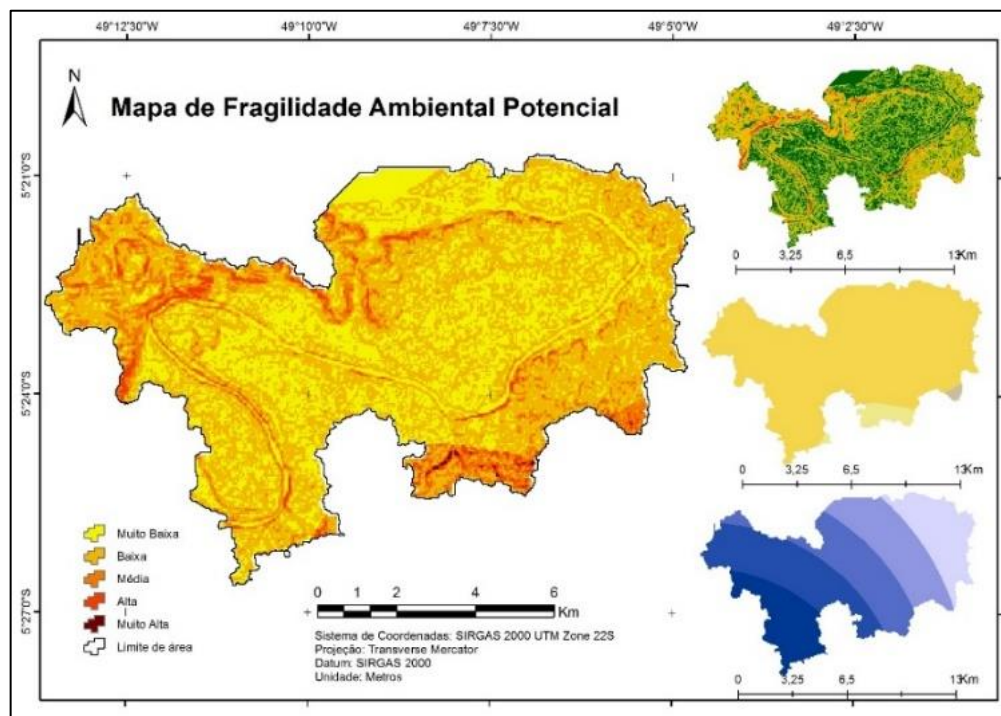


Figura 7. Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial, porção o baixo do rio Itacaiúnas, Marabá-PA.

De acordo com a tabela 8, os graus de fragilidade ambiental potencial que mais se destacaram nessa análise foram, as de intensidade,

Muito baixa e baixa, correspondendo assim a 34,04% e 52,77% respectivamente.

Tabela 08. Total de área por grau de fragilidade e seu percentual em área.

Fragilidade Potencial	Área em HA	Porcentagem (%)
Muito Baixa	73,52	34,04
Baixa	113,97	52,77
Média	22,37	10,35
Alta	5,8	2,68
Muito Alta	0,28	0,12

Foi possível verificar que, as classes de fragilidade potencial de baixa e muito baixa intensidade, são fortemente influenciadas pela declividade do terreno e pelo tipo de solo, ou seja, em áreas de declives inferiores a 6% existe a presença de Argissolo Vermelho Amarelo, sendo comum esta característica em quase toda a área de estudo.

Desta forma, a fragilidade ambiental potencial faz um exame de um sistema natural de uma forma geossistêmica compreendendo assim múltiplas variáveis em um ambiente natural, sendo

importante ressaltar as áreas que estão ao sul e a noroeste que devem receber maior atenção, pois ao sul além de sofrerem forte influência pelo tipo de solo, apresentam também as maiores declividades da área de estudo, além da grande quantidade de precipitação que a região registra. Já a noroeste é possível identificar que há um cinturão de áreas de altas declividades, que começam no centro-Norte e ficam assim mais frequentes até chegar a porção noroeste das sub-bacias. Vale citar que a porção noroeste é a direção que se apresenta como um dos vetores de crescimento urbano deste núcleo da

cidade, com a crescente abertura de condomínios e loteamentos (Figura 8).

Fragilidade Ambiental Emergente

Foi possível verificar que, os graus de fragilidade emergente que mais se destacaram são os de baixa e média intensidade, com 32,35% e 35,38% respectivamente (tabela 09) (Figura 8).

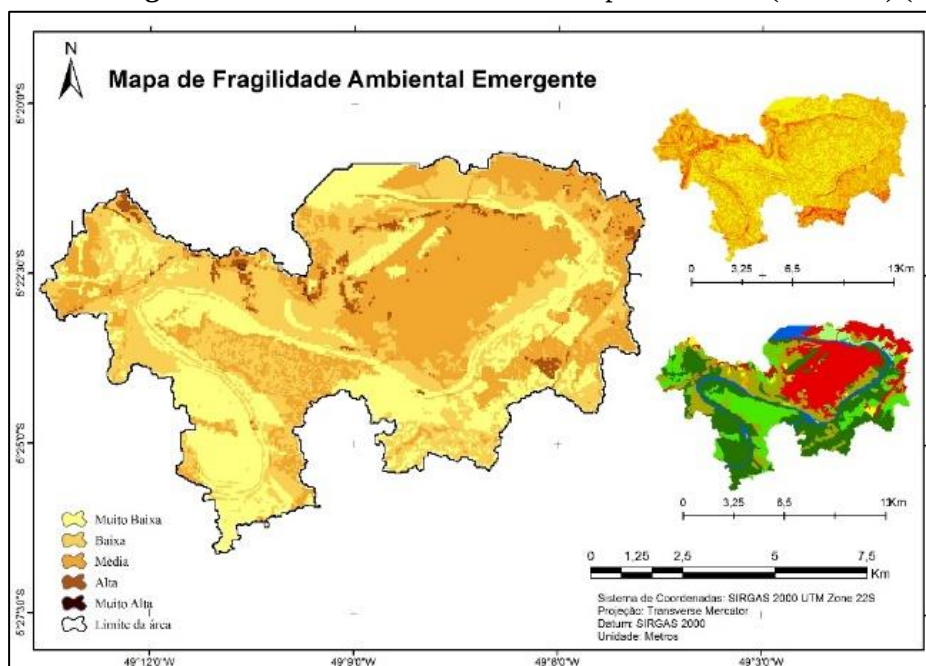


Figura 8. Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente, porção o baixo do rio Itacaiúnas, Marabá-PA.

Tabela 9. Total de área por grau de fragilidade e seu percentual em área.

Fragilidade Emergente	Área em HA	Porcentagem (%)
Muito Baixa	64,02	29,64
Baixa	69,87	32,35
Média	76,41	35,38
Alta	5,51	2,5
Muito Alta	0,11	0,05

É possível verificar uma elevada concentração de áreas com baixa e média fragilidade, isso pode ser explicado devido os componentes de fragilidade potencial (Declividade do terreno, Erosividade das chuvas e erodibilidade do terreno) que resultaram em um grau de muito baixa e baixa, vulnerabilidade do meio natural em sofrer modificação significativas, outro fator que foi preponderante para o resultado encontrado são

os tipos de uso e cobertura do solo, que são em sua maioria floresta nativa (31,16%), macha urbana (24,62%) e pastagem (17,97%), demonstrando uma preservação das áreas naturais, porém com uma forte pressão antrópica a partir dos crescimentos de pastos e áreas urbanas (Figura 9).



Figura 9. (a) Área de floresta nativa; (b) Aproximação da mancha urbana em relação ao rio Itacaiúnas; (c) Área de pastagem, porção o baixo do rio Itacaiúnas, Marabá-PA.

A porção da área da margem esquerda com relação a foz rio Itacaiúnas, apresentam áreas de média e baixa fragilidade, apesar da mancha urbana se situar nesta localidade. Um dos fatores que justificam estas fragilidades são as ocorrências ainda em maior quantidade de florestas nativas e secundárias, capoeiras altas (resultado da regeneração da vegetação) e áreas alagadiças.

Vale também acentuar, que a noroeste foram as áreas mais críticas encontradas nas bacias, isto porque se localizam as maiores declividades, aliadas a execução de atividades que contribuem para um alto grau de fragilidade, como atividades minerárias (inclusive na calha do rio e algumas de maneira irregular), crescimento de uma área urbana irregular uni e multifamiliar somadas a níveis de pluviometria médias.

Conclusões

Sob uma perspectiva geossistêmica de análise da área das sub-bacias do Rio Itacaiúnas, foi possível mensurar os níveis de fragilidade ambiental que estas áreas apresentam, sendo elas potencial e emergente, sendo possível entender a dinâmica do meio ambiente para que se possa atuar de maneira mais precisa e sustentável, tanto em relação a seu uso, quanto aos problemas encontrados.

No que se refere a fragilidade ambiental potencial, foi constatado, níveis de fragilidades muito baixo e baixo, ou seja, a vulnerabilidade do ambiente natural desta zona tem baixa probabilidade de sofrer modificações relevante no relevo, e por consequência, a uma diminuição na expectativa de aparecimento de áreas de movimentação do solo, diminuindo também a chance do assoreamento do leito da fluvial e posterior diminuição do volume da água.

Para fragilidade ambiental emergente os resultados apresentaram fragilidades baixa e média, permitindo considerar que existe um relativo e ainda incipiente desequilíbrio das relações naturais com as ações antrópicas. Vale ressaltar também, em estudo futuros a utilização de mais variáveis como por exemplo, o clima, insolação e o fator de forma da bacia, para que assim venha a abranger mais os elementos naturais e aumentar o entendimento da dinâmica das variáveis do meio natural com as relações antrópicas.

Contudo, as sub-bacias aqui estudadas apresentam ainda bons indicadores ambientais e de

fragilidade, porém é necessário, portanto, um maior controle quanto a gestão deste território para que não haja o colapso das variáveis e consequentemente danos ambientais e humanos.

Ou seja, apesar do estudo apresentar um indicador positivo no tocante a fragilidade ambiental, a região, tal como a Amazônia de maneira geral, passa nos últimos anos pela elevação dos números de desmatamento e incêndios criminosos, consequência de uma política de desmonte das instituições ambientais, principalmente em nível federal, o que pode em curto prazo acelerar e alterar estes indicadores pela instabilidade ambiental caso este novo cenário se consolide e resulte na ruptura do equilíbrio dinâmico natural.

Referências

- Araújo, A.N.; Prates, W.P. Modelagem Matemático-Espacial na Identificação de Fragilidades Ambientais da Microbacia do Rio Jarucu, Município De Brasil Novo –Pa. Inter Espaço. Grajaú/MA v. 4, n. 12p. 207-226. jan. 2018.
- Araújo, A. N.; Cruz, M. L. B.; Silva, C. N.; ROSSETE, A. N. Dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Araguari (Amapá, Amazônia, Brasil). InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade, v. 6, e202003, 2020. Disponível em: . Acesso em: 25 jan. 2020.
- Albuquerque, A.W., Filho, G.M., Santos, J.R., Costa, J.P.V., Souza, J.L., 2005. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [Online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000200001>. Acesso: 01 jun. 2020.
- Bernardi, H.V.F., Dzedzej, M., Carvalho, L.M.T., Acerbi Júnior, F.W., 2007. Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientada ao objeto em imagem QuickBird. In: ANAIS XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 13, 5595 - 5602.
- Bertoni, J.C., Lombardi Neto, F., 1999. Conservação do solo. 4 ed. Ícone, São Paulo.
- Bertoni, J.C., Tucci, C.E.M., 2000. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Editor): Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2 Ed. ABRH, Porto Alegre.

- Carvalho, N.O., 1994. Hidrossedimentologia prática. 1 ed. CPRM, Rio de Janeiro.
- Carvalho, N.O., 2008. Hidrossedimentologia prática. 2. ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro.
- Costa, E.S.; Leite, E.F. 2022. Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Nioaque-MS. GEOFRONTER, v. 8, p. p. 01-22.
- Crepani, E., Medeiros, J.S., Filho, P.H., Florenzano, T.G., Duarte, V., Barbosa, C.C.F., 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico – econômico e ao ordenamento territorial. INPE, São José dos Campos.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília. Rio de Janeiro.
- Farinasso, M., Carvalho Júnior, O.A., Guimarães, R.F., Gomes, R.A.T., Ramos, V.M., 2006. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do alto Parnaíba PI-MA. Revista Brasileira de Geomorfologia [Online] 2. Disponível: <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.80>. Acesso: 01 jun. 2020..
- Marques, J.J.G.S.M., Alvarenga, R.C., Curi, N., Santana, D.P., Silva, M.L.N., 1997. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação. R. Bras. Ci. Solo 21, 427-434.
- Ramalho Filho, A., Beek, K.J., 1995. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. EMBRAPA, CNPS. 57-58.
- Ross, J.L.S., 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropotizados. Revista do Departamento de Geografia 8, 63-74.
- Silva, A.M., 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. Catena 57, 251-259.
- Silva, A.M., Silva, M.L.N., Curi, N., Avanzi, J.C., Ferreira, M.M., 2009. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciencia do Solo 33. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600029>. Acesso: 22 jun. 2022.
- Silva, R.C.F., Pimentel, M.A.S., Araújo, A.N., 2022. Caracterização Morfométrica e Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI), Amazônica Oriental, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1556-1563>. Acesso: 16 out. 2022.
- Spörl, C., 2001. Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. Dissertação (Mestrado). São Paulo, USP. Disponível: 10.11606/D.8.2001.tde-18012002-225147. Acesso: 01 ago. 2022.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculturehandbook 537, Washington,