



VULNERABILIDADE DA PAISAGEM À PERDA DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DA AGROVILA, TEFÉ-AMAZONAS

Dágila Araújo Queiroz

Mestra em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Brasil.

dagilaqueiroz@gmail.com

João Cândido André da Silva Neto

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP - Presidente Prudente), Docente Adjunto do Departamento e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas, Lab. HIDROGEO/UFAM, Manaus, Brasil.

joacandido@ufam.edu.br

RESUMO – O presente trabalho teve como objetivo analisar a vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-Amazonas, procurando compreender como os processos de uso da terra influenciam nas transformações na paisagem e em seus graus de vulnerabilidade. Utilizou-se a metodologia proposta por Crepani et al. (2008), adaptada para o presente estudo, essa metodologia é baseada nos princípios da Ecodinâmica proposta por Tricart (1977), em que busca-se estabelecer por meio da inter-relação de variáveis as áreas com diferentes graus de vulnerabilidade. Para se alcançar a síntese das variáveis analisadas utilizou-se o método AHP (Analytic Hierarchy Process) para a hierarquização das variáveis, onde os pesos foram atribuídos a cada variável. Desta forma, foram analisadas as seguintes variáveis: Uso da Terra e Cobertura Vegetal, Declividade do terreno, Solo, Geologia e Erosividade das Chuvas, e realizada a identificação com base no grau de vulnerabilidade de cada variável classificadas como Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta. Os resultados demonstraram que a Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM apresenta 56,09%, correspondendo ao grau de vulnerabilidade baixa e 42,04% para o grau de vulnerabilidade moderada. Conclui-se que seguindo esse modelo, facilita a localização e diagnóstico de áreas que se encontram vulneráveis à desencadear possíveis impactos negativos na Bacia Hidrográfica.

Palavras-chave: Vulnerabilidade, Paisagem, Médio Solimões.

VULNERABILITY OF LANDSCAPE TO LOSS OF SOILS OF THE WATERSHED IN AGROVILA RIVER, TEFÉ-AMAZONAS

ABSTRACT – The aim of this study was to analyze the environmental vulnerability of the Agrovila River watershed in Tefé -Amazonas, seeking to understand how land use processes influence transformations in the landscape and its degrees of environmental vulnerability. The methodology proposed was used by Crepani et al. (2008), adapted for the present study, this methodology is based on the principles of Ecodynamics proposed by Tricart (1977), which seeks to establish, through the interrelationship of variables, areas with different degrees of vulnerability. To achieve a synthesis of the analyzed variables, the AHP (Analytic Hierarchy Process) method was used to hierarchize the variables, where weights were assigned to each variable. In this way, the following variables were analyzed: Land Use and Vegetation Cover, Land Slope, Soil, Geology and Rain Erosivity, and identification was carried out based on the degree of vulnerability of each variable classified as Very Low, Low, Moderate, High and Very High. The results demonstrated that the Igarapé River Basin of Agrovila Tefé-AM presents

EDIÇÃO ESPECIAL:

Dossiê Amazônia, mudanças e realidades contemporâneas



PÁGINA 48

56.09%, corresponding to the low degree of vulnerability and 42.04% to the moderate degree of vulnerability. It is concluded that following this model facilitates the location and diagnosis of areas that are vulnerable to triggering possible negative impacts in the hydrographic basins.

Keywords: Vulnerability, Landscape, Médio Solimões.

INTRODUÇÃO

Os impactos das atividades antrópicas aceleraram ao longo do tempo, contribuindo para a degradação da natureza, tendo em vista, que várias áreas da região amazônica, vem sendo transformadas em espaços de agricultura e pecuária e dentre outras atividades que afetam a floresta de forma significativa (ANDRADE, 1998).

Nesse sentido, às mudanças no uso e ocupação do solo, são resultados da forma como o homem utiliza esses recursos naturais, seja com sua cobertura vegetal original remanescente ou natural, seja para produção econômica comercial ou de subsistência e até mesmo os usos urbanos, tendo em vista, que possuem especificidades diferentes do uso do solo rural (OLIVEIRA, 2004, p. 49).

Considerando que, as mudanças ambientais são referentes ao crescimento das indústrias, crescimento populacional e ao desmatamento das florestas, para fins de uso e exploração do solo, contribuindo para os primeiros indícios de impactos ambientais, afetando na diminuição da produtividade devido ao manejo incorreto do solo (CAMPOS *et al.*, 2018).

Nesta análise, a degradação da paisagem está relacionada aos fenômenos naturais e as interferências antropogênicas, que trazem problemas ao meio físico natural devido ao uso inadequado do solo e ocupações inadequadas; tendo em vista que as transformações ocorridas nas últimas décadas desencadearam diversos problemas ambientais e um deles é a degradação dos solos, causados pelo fenômeno da erosão, que afetam de forma nociva às populações das zonas rurais e urbanas (NASCIMENTO, 1998 *apud* REBELLO, 2010, p.41).

Para Silva Neto e Aleixo (2016), as modificações na natureza, podem acarretar a vulnerabilidade do ambiente, ou seja, isso significa que o meio físico se encontra vulnerável às pressões humanas, contribuindo para a perda da biodiversidade.

Nesse sentido, a vulnerabilidade ambiental está vinculada ao risco ao qual o ambiente encontra-se exposto, sendo definida pelo meio físico está vulnerável às ações naturais ou antropogênicas, visto que essa consequência é vinculada às mudanças ambientais advindas da relação homem-natureza (AQUINO *et al.*, 2017).

Para Tagliani (2003), a vulnerabilidade ambiental corresponde a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a sofrer um determinado impacto potencial; nesse processo o autor salienta que são decorrentes das atuações antrópicas em determinadas paisagens, tendo em vista que, essas ações são avaliadas conforme vários critérios de análise.

Desta forma, a pesquisa analisa a vulnerabilidade da paisagem da bacia hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM (BHIA), situada no Município de Tefé, na região do Médio Solimões, no Estado do Amazonas. Diante disso, a pesquisa utiliza a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2008), adaptada para o presente estudo da vulnerabilidade das paisagens, realizando a análise das seguintes variáveis: uso da terra e cobertura vegetal, declividade do terreno, solo, geologia e erosividade das chuvas, apresentando o grau de vulnerabilidade de cada variável.

A vulnerabilidade paisagem é uma variável importante e significativa nos processos de tomada de decisão, permitindo o entendimento dos ambientes que se encontram em estado de estabilidade e instabilidade, possibilitando o conhecimento das áreas que são apropriadas ou não para serem desenvolvidas a pecuária, agricultura, construções civis e outros tipos de uso da terra (COSTA *et al.*, 2006).



Nesse sentido, a vulnerabilidade da paisagem à perda de solo está associada a diversos fatores, como as formas inadequadas de uso e ocupação da terra, a falta de planejamento ambiental, a crescente exploração dos recursos naturais que ocorrem de forma predatória, à vista disso, todos esses fatores corroboram com o aumento dos impactos socioambientais em determinadas áreas.

Desse modo, enfatiza-se que vulnerabilidade da paisagem à perda de solo vem se tornando apoio para as políticas relacionadas ao controle de risco, e no momento atual, mediante a estimativa da capacidade de suporte da paisagem, é de grande relevância para se evitar o uso excessivo dos recursos naturais e a intensificação do processo de morfogênese (ALMEIDA, 2020).

Nessa concepção, o estudo justifica-se para a compreensão através da análise dos componentes da paisagem, realizando a análise e diagnósticos de áreas que se encontram vulneráveis. Por esta razão, a vulnerabilidade da paisagem está associada à suscetibilidade do ambiente, considerando as suas condições físicas e como se encontram suscetíveis ou não a determinados impactos negativos, em outros termos, é quando o meio físico se encontra vulnerável às pressões humanas (REIS *et al.*, 2020).

Vale salientar que, o estudo de vulnerabilidade da paisagem à perda de solo tem importância fundamental na identificação de áreas suscetíveis aos impactos ambientais advindos da apropriação da natureza pela sociedade, em que sua intensidade e probabilidade estão condicionadas às alterações da natureza.

Desse modo, a pesquisa tem por objetivo analisar a vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM, procurando compreender os processos de uso da terra e transformações na paisagem, através da análise dos elementos físico-naturais, diagnosticando os diferentes graus de vulnerabilidade a partir das inter-relações das variáveis.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, a Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila, Tefé-AM, localiza-se no Estado do Amazonas na Região do Médio Solimões, tem sua localização compreendida nas coordenadas 3°40'0" e 3°26'0" Sul e 64°33'30" e 64°51'0" Oeste, conforme a Figura 1. Está localizada na parte rural do município de Tefé e abrange uma área com aproximadamente 314.8372km², e o seu rio principal é o Rio Tefé.

O clima desta região é classificado como equatorial e durante o ano todo apresenta temperaturas elevadas e altos índices pluviométricos. Na Amazônia brasileira, parte da sua extensa área territorial é pertencente ao tipo climático equatorial (elevadas temperaturas e umidade) e o conhecimento da dinâmica climática perpassa por saberes vernaculares, que possuem relação estreita com as condições do tempo e sazonalidade (GUERRA e OLIVEIRA, 2014).

Nesse sentido, a região norte possui uma precipitação atmosférica média anual superior a 2.800 mm, podendo ultrapassar em algumas localidades dessa região (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Para Aleixo e Silva Neto (2019):

A precipitação na região Amazônica é elevada com totais pluviométricos superiores a 3500 mm anuais em algumas localidades e apresenta pouca amplitude térmica. Por localizar-se próxima à faixa equatorial, recebe durante todo ano elevada insolação, que se reflete em temperaturas elevadas independentemente das estações do ano, com exceção dos dias com a presença de friagens (ALEIXO e SILVA NETO, 2019, p. 03).

A partir dessa análise, ocorrem nesta região o período das cheias (período chuvoso), onde a pluviosidade fica em alta e o período da seca (período com diminuição dos totais de chuva),

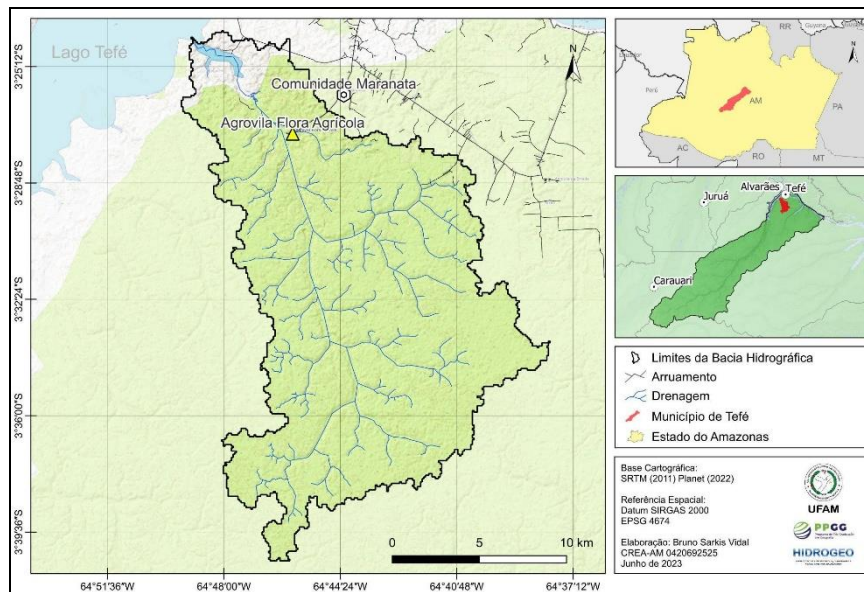


entende-se que essa sazonalidade ocorre em todo território amazonense, considerado na região da Amazônia o período da seca e cheia (ALEIXO e SILVA NETO, 2015, 2019, 2020).

Desta forma, como o clima equatorial desta região é caracterizado por apresentar altas temperaturas e precipitação pluvial abundante e bem distribuída durante todo o ano, a sua temperatura média anual pode ultrapassar de 26°- 28 °C (MARENGO; NOBRE, 2009).

De acordo com Aleixo e Silva Neto (2019), na cidade de Tefé-AM as normais climatológicas provisórias do período de 1981 a 2010, apresentaram uma temperatura máxima anual de 32,4°C a média anual de 26,8°C e a mínima de 22,5°C, com baixa amplitude térmica sazonal, sua precipitação média anual desse período foi de 2445,7 mm.

Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila, Tefé-AM.



Org. Autores (2024)

METODOLOGIA

Para aquisição dos dados elaborou-se um estudo de cada elemento da paisagem, conforme a proposta de Crepani *et al.* (2008), com o objetivo de analisar os elementos físico-naturais e suas inter-relações com as variáveis. Desta forma, para elaboração da vulnerabilidade da paisagem à perda de solos da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila, Tefé - AM, foram definidas cinco variáveis importantes para a construção desse estudo, sendo o Uso da Terra e Cobertura Vegetal, Declividade, Solo, Geologia e Erosividade.

Para a caracterização dos elementos físico-naturais na área de estudo, foram utilizados o Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA/IBGE), além da base de dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) do Serviço Geológico do Brasil (SGB); e para análise do relevo foram coletados os dados do Projeto SRTM-TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), disponibilizados gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

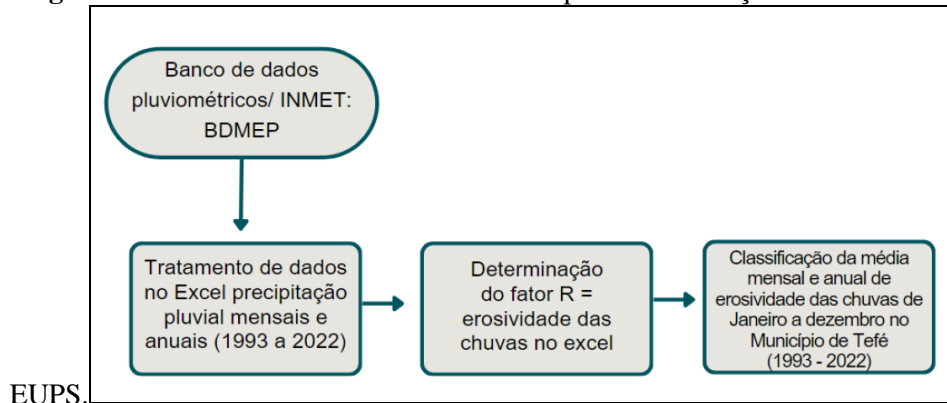


Para caracterização e classificação dos tipos de solos foram utilizados os dados obtidos do BDIA/IBGE, o manual técnico de pedologia do IBGE (2007) e a obra do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006 e 2018).

Desta forma, para elaboração do mapa temático do Uso da Terra e Cobertura Vegetal, foram utilizados os dados disponibilizados pelo MapBiomias, o qual é considerado um projeto de mapeamento anual do uso e cobertura da terra do Brasil.

Para a análise do clima foram coletados dados de precipitação pluvial mensal e anual do período de (1993 a 2022), do Banco de Dados Meteorológicos do Brasil (INMET/BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); esses dados foram organizados em planilhas utilizando o software da Microsoft Excel versão (2016), em que foram produzidos gráficos e tabelas dos dados, posteriormente analisados por intermédio de técnicas estatísticas, verificando os valores mínimos, máximos e a média da precipitação pluvial. Portanto, em relação à análise da variável da erosividade das chuvas, os procedimentos técnicos e metodológicos, podem ser observados no Figura 2 e Equações 1 e 2.

Figura 2. Procedimentos técnicos elaborados para determinação do Fator R da



Org. Autores (2024)

$$\text{Equação 1: } EI = 67,355 * \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,85}$$

Em que:

EI= média mensal do índice de erosividade, em MJ/ha.mm;

r = média mensal de precipitação, em mm;

P = média anual de precipitação, em mm

Em seguida para a determinação de erosividade anual (fator R) realizou-se as somas dos valores mensais do índice de erosividade, referente aos anos selecionados (2).

$$\text{Equação 2: } R = \sum EI$$

Em que:

R = erosividade da chuva (MJ/ha.mm/ano)

EI = média mensal do índice de erosividade



A metodologia do Zoneamento Ecológico-Econômico proposta por Crepani *et al.* (2008), considera a vulnerabilidade das unidades de paisagem, a qual será utilizada no presente trabalho, estabelecida por meio de uma escala de valores relativos e empíricos de acordo com a relação morfogênese/pedogênese, analisando individualmente cada elemento da paisagem: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso da terra e clima (CREPANI *et al.*, 2001). Considerando que, a escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas é baseada na caracterização morfodinâmica, sendo atribuída com base nos critérios desenvolvidos, a partir dos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977).

A partir disso, os critérios desenvolvidos por Crepani *et al.* (2001), busca analisar o estágio de evolução morfodinâmica da unidade da paisagem, que se denomina Unidade Territorial Básica (UTB), sendo estabelecidos valores de estabilidade atribuindo valor de 1,0 (Estável), 2,0 (Intermediária) e 3,0 (Instável) conforme se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1. Avaliação da Estabilidade das Categorias Morfodinâmicas.

Categoria morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: CREPANI *et al.* (2001, p. 21)

A Figura 3 apresenta a escala de vulnerabilidade para as Unidades Territoriais Básicas (UTB), de acordo com a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001), o autor estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solos, sendo distribuídas entre as situações, em que há o predomínio dos processos de pedogênese, que são identificados os valores com maior estabilidade atribuindo as classes de 1,0 a 2,0 considerada estável e medianamente estável/vulnerável, por outro lado, as classes de 2,0 a 3,0 são consideradas com maior grau de vulnerabilidade.

Figura 3. Escala de Vulnerabilidade à Perda de Solo das Unidades Territoriais Básicas (UTB).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA	GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO			
			VERMELHO	VERDE	AZUL	CORES
U1	3	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	2,9		255	51	0	
U3	2,8		255	102	0	
U4	2,7	MODERADAMENTE VULNERÁVEL	255	153	0	
U5	2,6		255	204	0	
U6	2,5		255	255	0	
U7	2,4	MEDIANAMENTE ESTÁVEL VULNERÁVEL	204	255	0	
U8	2,3		153	255	0	
U9	2,2		102	255	0	
U10	2,1	MODERADAMENTE ESTÁVEL	51	255	0	
U11	2		0	255	0	
U12	1,9		0	255	51	
U13	1,8	MODERADAMENTE ESTÁVEL	0	255	102	
U14	1,7		0	255	153	
U15	1,6		0	255	204	
U16	1,5	ESTÁVEL	0	255	255	
U17	1,4		0	204	255	
U18	1,3		0	153	255	
U19	1,2	ESTÁVEL	0	102	255	
U20	1,1		0	51	255	
U21	1		0	0	255	

Org. Crepani *et al.* (2001)



A partir disso, o modelo segue a média aritmética, entre os valores individuais dos temas a cada uma das unidades, permitindo representar na escala de estabilidade/vulnerabilidade à erosão às 21 classes; esse método relaciona-se com cada unidade da paisagem, e a interação dos dados disponíveis, seguindo um modelo que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à erosão, aplicados em cada unidade individualmente, conforme cada elemento da paisagem natural desses temas (BERNARDES, 2004, p. 134).

Enfatiza-se que no presente trabalho adaptou-se a escala de vulnerabilidade de Crepani et al. 2008, para uma escala normalizada com valores entre 0,0 e 1,0, por uma opção metodológica dos autores.

Assim, cada unidade territorial básica receberá um valor final, resultado da média aritmética dos valores individuais de cada tema, conforme uma equação empírica (Equação 3), buscando apresentar a posição de cada unidade dentro da escala de vulnerabilidade e estabilidade.

$$\text{Vulnerabilidade} = (G + R + S + Vg + C) / 5 \text{ (Equação 3)}$$

Sendo:

- G = vulnerabilidade para o tema de Geologia
- R = vulnerabilidade para o tema de Geomorfologia
- S = vulnerabilidade para o tema de Solos
- Vg = vulnerabilidade para o tema de Vegetação
- C = vulnerabilidade para o tema de Clima

Deste modo, para elaboração do mapa de vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM, foram definidas as seguintes variáveis: Uso da Terra e Cobertura Vegetal, Declividade, Solo, Geologia e Erosividade das Chuvas, essas variáveis foram utilizadas para a confecção da matriz de vulnerabilidade da paisagem à perda de solo, no Quadro 1 podemos observar as características analisadas das cinco variáveis estabelecidas.

Quadro 1. Características analisadas para avaliar a Vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM.

Variáveis	Características
Uso da Terra e Cobertura Vegetal	Tipo de uso/Densidade da cobertura vegetal
Declividade do Terreno	Inclinação do relevo em relação ao horizonte
Solo	Características do solo/Maturidade do solo
Geologia	Características Geológicas / Grau de coesão da rocha
Erosividade das Chuvas	Perda de solo por erosão hídrica (Índice de erosividade anual e mensal)

Org. Autores (2024). Adaptado de Crepani et al. (2001, 2008).

Neste sentido, fizemos uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para a caracterização da vulnerabilidade na área da bacia, assim com a catalogação, organização dos dados e posterior interpretação e discussão. A partir disso, as técnicas e ferramentas que o SIG possibilita, são

EDIÇÃO ESPECIAL:

Dossiê Amazônia, mudanças e realidades contemporâneas



PÁGINA 54

essenciais para compreensão das relações dos meios físicos de solo, declividade, clima e geologia, fatores esses que influenciam na elaboração da carta de vulnerabilidade à perda de solos, contribuindo para uma melhor compreensão e gestão do território (NICOLAU, 2018).

Para a análise da Vulnerabilidade da paisagem à perda de solo, utilizou-se o método AHP, com intuito de determinar a importância de cada variável nos processos de vulnerabilidade. É um procedimento que visa à solução de problemas de escolha, esse método é aplicado em variadas situações onde apresentam sistemas complexos (PIMENTA et al., 2019).

Dessa maneira, foram realizadas as ponderações e análise do grau de vulnerabilidade de cada variável; deste modo, observou-se que quanto maior for o valor do peso equivalente a 1.00 maior será o grau de vulnerabilidade dessa variável, correspondendo a Muito Alta, visto que, são consideradas áreas instáveis prevalecendo a morfogênese. Conforme apresentado no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2. Ponderação para as Variáveis.

Uso da Terra	Ponderação
Formação Florestal	0,2
Campo alagado e Área Pantanosa	0,2
Formação Campestre	0,4
Pastagem	0,8
Água	0,0
Declividade	
0 – 3%	0,1
3 – 8 %	0,2
8 – 20%	0,6
20 – 45%	0,8
45 – 53%	1,0
Pedologia	
Argissolo Vermelho-Amarelo	0,67
Gleissolo Háptico	1,0
Plintossolo Argilúvico	1,0
Geologia	
Depósitos Aluvionares	1
Formação Içá	0,6
Erosividade	
9800,64 MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	0,8

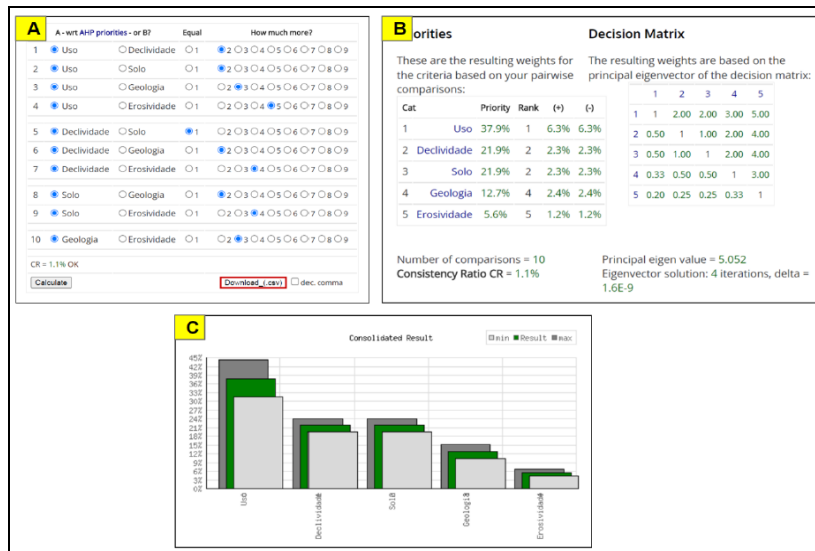
Org. Autores (2024). Adaptado de Crepani et al. (2001)

A partir disso se fez o uso do método AHP para a hierarquização das variáveis, observa-se que para análise espacial, esse método apresentou eficácia nas tomadas de decisões. Com base nesta discussão, o método AHP é uma técnica de análise utilizada para ponderar a importância de cada componente da paisagem (RIBEIRO et al., 2016).

Desse modo, foram atribuídos pesos para cada variável utilizando a calculadora de prioridade AHP e no teste final o índice de Razão de consistência (RC) apresentou a porcentagem de 1.1% a partir disso, foram gerados os pesos para as variáveis com base nas comparações pareadas; deste modo, os critérios de prioridade receberam as seguintes porcentagens Uso 37.9%, Declividade 21.9%, Solo 21.9%, Geologia 12.7% e Erosividade 5.6%. (Figura 4).



Figura 4. Teste na Calculadora de Prioridade AHP.



Org. Elaborado pelos autores (2024)

Deste modo, após o teste de consistência do grau de importância das variáveis na calculadora AHP, foram definidos os valores aproximados, que foram aplicados nas respectivas variáveis do Quadro 3.

Quadro 3. Valor das variáveis da vulnerabilidade da paisagem à perda de solo na bacia hidrográfica do Igarapé da Agrovila, Tefé-AM.

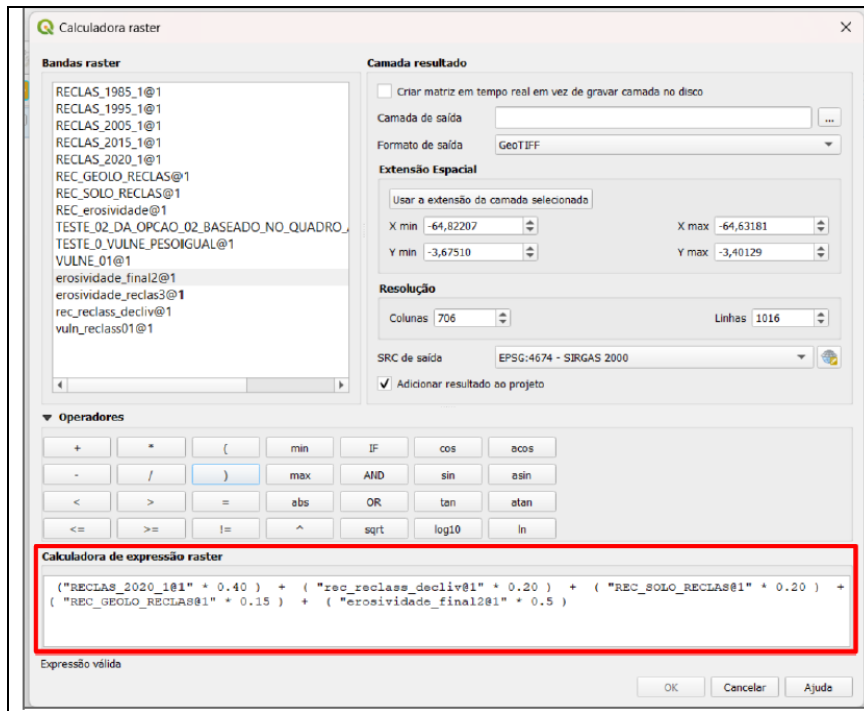
Variáveis	Valor em (%)
Uso da Terra 2020	40%
Declividade do Terreno	20%
Solo	20%
Geologia	15%
Erosividade das Chuvas	5%

Org. Elaborado pelos autores (2024)

E com as cenas das variáveis ponderadas, elas foram unidas na Calculadora Raster (Figura 5), com a expressão matemática (média ponderada), assim as particularidades dos dados rasters tornaram-se um só, gerando a cena da vulnerabilidade à perda de solos, cena esta que foi ponderada na Reclassificação por tabela, utilizando a ponderação em relação aos graus de vulnerabilidades de 0 a 1 (do menor a mais vulnerável), agrupados assim os pixels da cena da vulnerabilidade à perda de solos.

Figura 5. Teste na Calculadora de Prioridade AHP.





Org. Elaborado pelos autores (2024)

Após a ponderação da cena da vulnerabilidade à perda de solos, a mesma foi aplicada e observada, utilizando a Figura 6, que apresenta a média atribuída e identificação com base no grau de vulnerabilidade. A partir disso, os valores são apresentados de 0.00 a 1.00 verifica-se que os valores que correspondem maiores estabilidades são de 0.0 a 0.20 classificados como muito baixa e 0.21 a 0.40 como baixa, e as classes intermediárias segue os valores de 0.41 a 0.60 classificadas como moderada, as classes que apresentam maiores instabilidades na paisagem, receberam os valores de 0.61 a 0.80 como alta e 0.81 a 1.00 como muito alta, considerando que esses valores apresentam maior grau de vulnerabilidade.

Figura 6. Média atribuída e identificação com base no grau de vulnerabilidade.

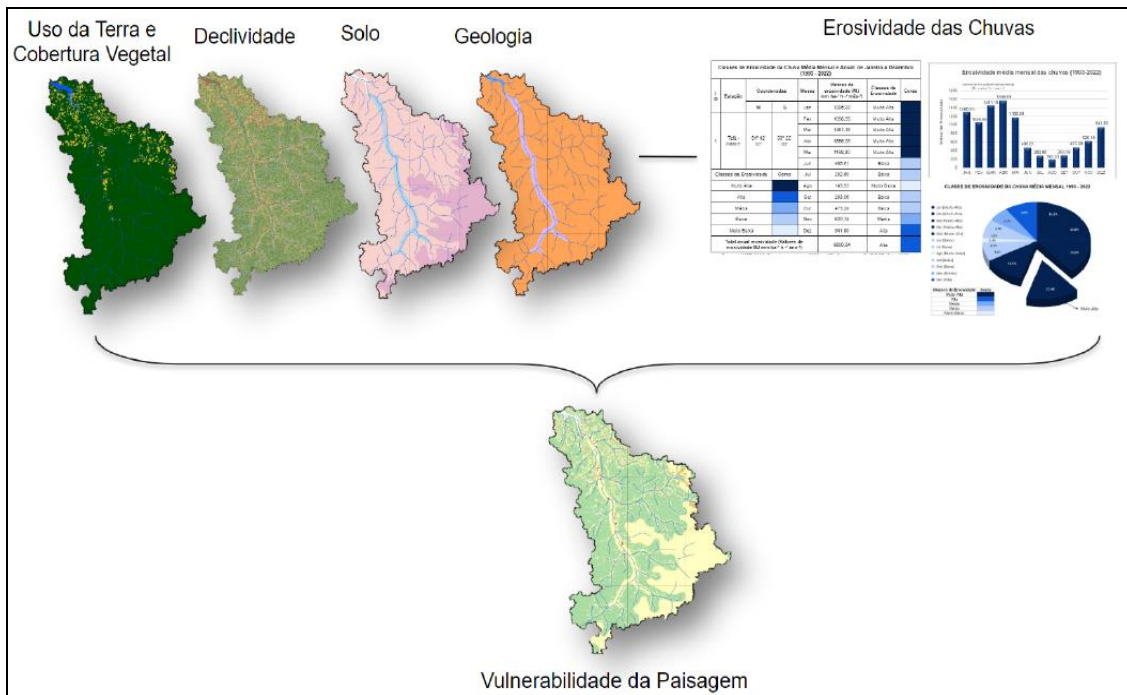
Valores de vulnerabilidade		Grau de vulnerabilidade	
VULNERABILIDADE	0.0 – 0.20	ESTABILIDADE	Muito Baixa
	0.21 – 0.40		Baixa
	0.41 – 0.60		Moderada
	0.61 – 0.80		Alta
	0.81 – 1.00		Muito Alta

Org. Autores (2024). Adaptado de Crepani et al. (2008).



Mediante o exposto, foi verificado por meio do procedimento R.Report do software QGIS 3.28 os dados em extensão txt, possibilitou a identificação e classificação do grau de vulnerabilidade, Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta das variáveis ponderadas. Visto que estes procedimentos metodológicos partiram de dados vetoriais convertidos para dados matriciais, trabalhados no Sistema de Informação Geográfica (SIG), com a aplicação da Calculadora AHP, para a classificação do grau de importância das variáveis, e depois a utilização da Calculadora Raster no software QGIS, unindo por meio da (média ponderada) as cenas, gerando a matriz final de Vulnerabilidade da paisagem à perda de solo (Figura 7).

Figura 7. Representação do processamento para a elaboração do mapa de vulnerabilidade da paisagem à perda de solos.



Org. Autores (2024)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A realização do mapeamento da vulnerabilidade das paisagens à perda de solos, permite fazer um diagnóstico de uma área, verificando se esse ambiente possui maior ou menor suscetibilidade aos eventos desse processo e possíveis ocorrências de problemas ambientais, essa análise possibilita a localização e diagnósticos de áreas vulneráveis (RODRIGUES, 2018, p. 69).

Nesse contexto, para a análise das seguintes variáveis da vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM, foram analisados os cinco graus de vulnerabilidade classificadas Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta, conforme são descritas nos tópicos a seguir.

Vulnerabilidade Muito Baixa

Na análise dessa classe, observou-se que na Vulnerabilidade Muito Baixa correspondeu a 0,07% da área total da BHIA, esta classe apresenta ambientes estáveis, prevalecendo a sua pedogênese. Além disso, essa classe é caracterizada por apresentar relevos Planos de 0 a 3% de declividade e



uma cobertura vegetal densa, verifica-se que na análise geral da vulnerabilidade o valor atribuído foi 0.41 sendo classificada no grau geral de vulnerabilidade muito baixa.

Vulnerabilidade Baixa

Esta classe é caracterizada por apresentar ambientes estáveis, observa-se também, assim como a vulnerabilidade Muito Baixa, a Vulnerabilidade Baixa corresponde a uma cobertura vegetal densa. Observa-se que área da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM, encontra-se de forma predominante a classe de vulnerabilidade Baixa, ocupando em área com percentual de 56,09% da área total da bacia; esta classe apresenta relevo Suave Ondulado de 3 a 8% e obteve o valor de 0.4 classificada no grau geral de vulnerabilidade baixa.

Vulnerabilidade Moderada

Esta classe é classificada como Intermediária e conforme Tricart (1977) é caracterizada pelo equilíbrio da pedogênese e morfogênese, atuando de maneira simultânea sobre um mesmo ambiente. Neste viés, observa-se que maior porção da área da bacia se encontra a classe de vulnerabilidade moderada com o percentual de 42,04% da área total da bacia.

Observa-se que esta classe se caracteriza por apresentar um relevo Ondulado de 8 a 20%, nesta classe, apresenta-se a formação campestre, onde corresponde com o total de 97,006 hectares, constituído à 0,30% na área da bacia, conforme apresentado na variável do uso da terra e cobertura vegetal 2020.

Nesse sentido, a formação campestre, é uma vegetação caracterizada como formação natural não florestal, apresentando uma cobertura natural composta maioritariamente por vegetação herbácea (gramíneas) com presença de elementos arbóreos e/ou arbustivos dispersos (MAPBIOMAS AMAZÔNIA, 2022, p. 02). Além disso, encontra-se predominante os solos argissolos vermelho-amarelo sendo relevos mais acidentados e dissecados possuindo susceptibilidade à erosão (SANTOS et al., EMBRAPA, 2018).

Nota-se que na área da bacia, a geologia foi classificada na vulnerabilidade com o valor 0.6 indicando grau de vulnerabilidade moderada; e com base nisso, encontra-se predominante a Formação Içá, de idade pleistocênica, que consiste de arenitos pouco consolidados a inconsolidados, de origem fluvial (DANTAS e MAIA, CPRM, 2010, p. 35). Portanto, na análise da vulnerabilidade geral da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM, obteve o valor de 0.6 classificada no grau geral de vulnerabilidade Moderada.

Vulnerabilidade Alta

Essa classe é considerada por apresentar ambientes instáveis onde prevalece a morfogênese, verificou-se que essa classe ocupa apenas 1,72% da área da bacia; na análise desta classe, a bacia apresenta relevo Forte Ondulado de 20 a 45%, áreas de pastagem e plintossolo argilúvico, observou-se ainda que no índice de erosividade apresentou 9800,64 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, sendo classificada no grau de vulnerabilidade Alta; desta forma, verificou-se que ambos esses fatores são classificados no grau de vulnerabilidade alta, segundo o estudo.

Vulnerabilidade Muito Alta

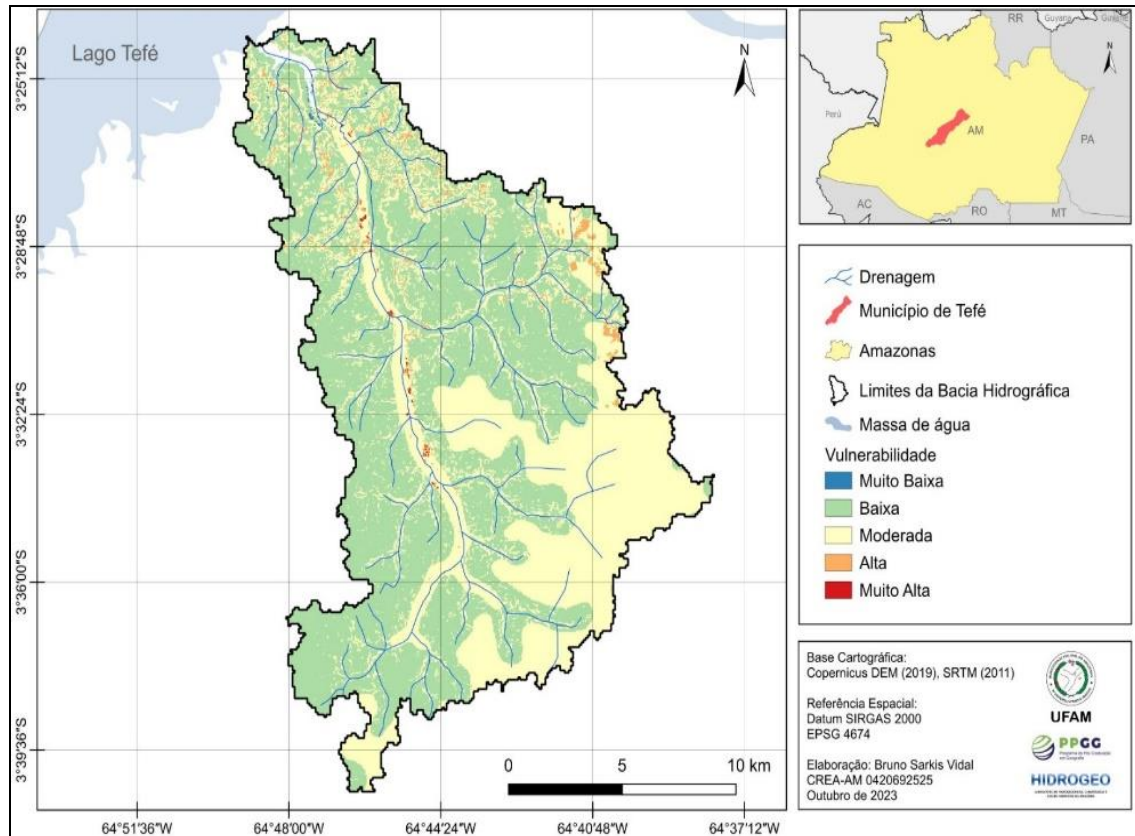
Esta classe pode ser definida como ambientes que se encontram com maior grau de vulnerabilidade; esta classe se assemelha a vulnerabilidade Alta onde os ambientes se apresentam intensamente instáveis. Nesta classe, observou-se que a vulnerabilidade Muito Alta correspondeu ao percentual de 0,08% da área total da bacia.

Nessa perspectiva, observou-se a presença de depósitos de sedimentos inconsolidados, de espessura variável, periodicamente inundáveis, essa unidade geológica corresponde aos depósitos aluvionares (MAIA et al., 2010, p. 166); essa classe se caracteriza ainda por



apresentar solos com argilas de baixa atividade e de baixa fertilidade como o gleissolos háplico (SANTOS et al., EMBRAPA, 2018); e na análise da vulnerabilidade geral da bacia, recebeu o valor de (1) classificada no grau geral de vulnerabilidade Muito Alta.

Figura 8. Vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM.



Org. Autores (2024)

Na Figura 8 observa-se a vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM, onde pode ser identificado o grau de vulnerabilidade de cada variável classificadas Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta, conforme discutidos nos tópicos acima.

Desta forma, a Figura 9 apresenta os valores da área da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM e a porcentagem das classes conforme o grau de vulnerabilidade; com base nessa relação observou se que o maior valor em porcentagem foi atribuído a classe baixa com percentual de 56,09%.



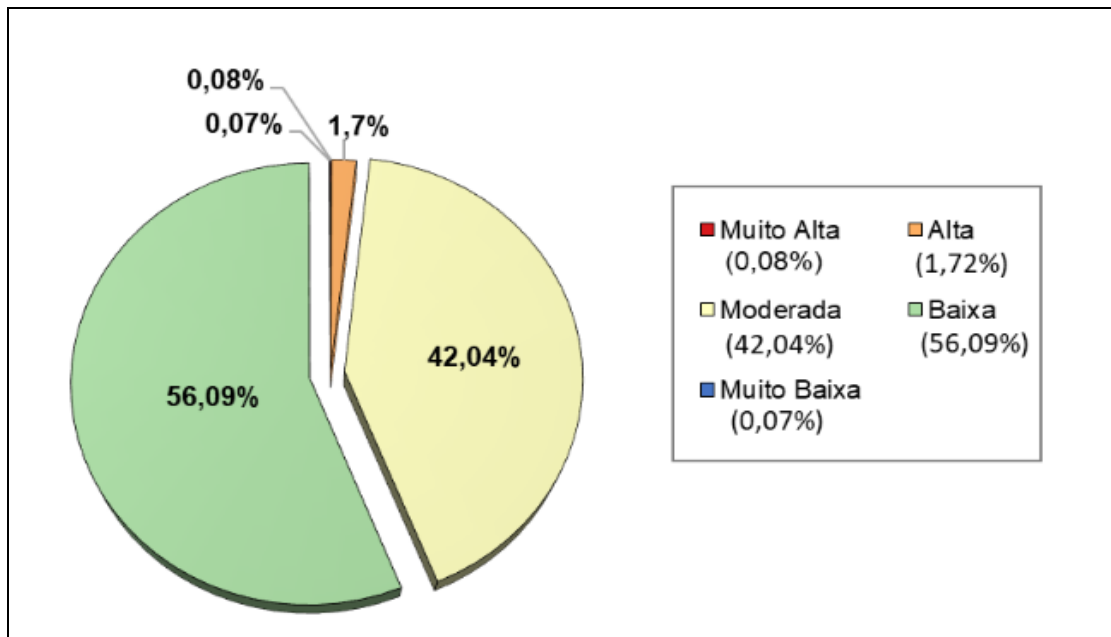
Figura 9. Área e Porcentagem do Grau de Vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM.

VULNERABILIDADE DA PAISAGEM À PERDA DE SOLOS		
Grau de Vulnerabilidade	Área em (ha)	Porcentagem (%)
Muito Baixa	23,024	0,07%
Baixa	17658,616	56,09%
Moderada	13235,241	42,04%
Alta	541,672	1,72%
Muito Alta	25,164	0,08%
Total	31483,717	100,00%

Org. Autores (2024)

Considerando-se a área da bacia, verificou-se que cerca de 56% do grau de vulnerabilidade pertencente à classe baixa e 42% para o grau de vulnerabilidade moderada.

Figura 10. Vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM.



Org. Autores (2024)



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise da Vulnerabilidade da paisagem à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Igarapé da Agrovila Tefé-AM, foram selecionados cinco variáveis fundamentais para o estudo das paisagens, o Uso da Terra, Declividade, Solo, Geologia e Erosividade, com base nisso, realizou-se a identificação do grau de vulnerabilidade de cada variável, e partir da análise e discussão dos dados da área abordada, obteve como resultado a definição de Vulnerabilidade Baixa para maior parte da área de estudo, cerca de 56,09% a bacia também apresentou a Vulnerabilidade Moderada com 42,04% e para as demais classes observou-se Vulnerabilidade Alta com 1,72% e Vulnerabilidade Muito Alta com 0,08%.

De acordo o estudo realizado por Silva Neto e Aleixo (2016, p. 268), as paisagens que apresentam Vulnerabilidade Forte ou Muito Forte estão condicionadas à intensificação no uso da terra, a partir disso, consideraram que as paisagens que sofrem interferências das ações humanas estão propícias ao aumento do grau da vulnerabilidade, esses eventos podem acarretar a danos irreversíveis na estrutura da paisagem levando a degradação desses ambientes.

De forma geral, as atividades antrópicas são causadoras de diversas modificações na paisagem, deste modo, requer controle e atenção em relação ao seu potencial de impacto, assim, para a redução dos impactos oriundos dessas ações negativas ao ambiente, principalmente em áreas com maior potencial de degradação dos solos, propõe-se as ações de avaliação e mitigação ambiental, tendo em vista que a degradação ambiental é uns dos grandes problemas ambientais que se enfrenta na atualidade, mediante as alterações inseridas no espaço físico-natural (GIRÃO; RABELO; ZANELLA, 2018, p. 71).

A partir disso, o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em conjunto com a metodologia utilizada, foi possível realizar a análise do grau de vulnerabilidade da paisagem à perda de solos na área da bacia, tendo em vista, que este estudo possibilitou o entendimento dos processos de uso da terra e transformações na paisagem, através da análise dos elementos físico-naturais, por meio dos diagnósticos e verificação dos diferentes graus de vulnerabilidade da paisagem à perda de solos a partir das inter-relações das variáveis.

Com base nesta discussão, nota-se que a bacia ainda se encontra com ambientes estáveis, todavia, conforme a análise realizada, constatou-se alterações significativas nas proximidades da foz da bacia, pois, encontra-se ambientes de usos da terra mais intensos, o que requer atenção para ordenamento desta área.

Sobre as técnicas e métodos voltados à análise ambiental, considerou-se que foram essenciais na identificação das paisagens que se encontram com alto grau de Vulnerabilidade da paisagem à perda de solo, ou seja, áreas que apresentam maior possibilidade de manifestarem diversos impactos ambientais. Assim é necessário a realização de planos e programas integrados para planejamento e gestão ambiental, com intuito de identificar e recuperar áreas degradadas, buscando mitigar os efeitos dos impactos gerados pelas atividades econômicas no processo de apropriação da natureza.

Portanto, considera-se essencial estabelecer um planejamento adequado para se repensar o uso da terra em áreas mais vulneráveis e refletir sobre a conservação dos recursos naturais como o solo, além do monitoramento dessas áreas com altos graus de Vulnerabilidade.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas-FAPEAM pela concessão da bolsa de mestrado para primeira autora..



REFERÊNCIAS

- ANDRADE, N. S. de O.; ARAUJO, L. S.; NUMATA, I.. Estudo da Dinâmica da Cobertura Vegetal e Uso da Terra na Região de Ji-Paraná/RO. Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998.
- AQUINO, A. R. de; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. de (Orgs). Vulnerabilidade Ambiental. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo: Blucher, 2017.
- ALMEIDA, P. F. Vulnerabilidade ambiental à erosão do município de Teixeira de Freitas - BA. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Sul da Bahia. Campus Sosígenes Costa. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais. Porto Seguro, 2020.
- CREPANI, E.; et al. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos, SP: INPE, jun. 2001.
- CREPANI, E; et al. Zoneamento Ecológico-econômico. In: FLORENZANO, T.G. (Orgs). Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais. São Paulo, Oficina de Textos, 2008. p. 285 – 318.
- CAMPOS, S.; CAMPOS, M.; SOUZA, T. L. de; LEME, M. de C.; CURY, L. D. FRAGILIDADE AMBIENTAL DE UMA BACIA VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. In: AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M. (orgs). Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações. 1 ed. – Tupã: ANAP, 2018.
- COSTA, F.H.S. et al. Determinação da vulnerabilidade ambiental na Bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas. Revista Brasileira de Cartografia Nº 58/02, Agosto, 2006.
- GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. (Org.). Degradação dos solos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. 320 p.
- GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. REGNE, Vol. 4, Nº Especial (2018).
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. Clima da região Amazônica. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- NICOLAU, R. de F. Vulnerabilidade da paisagem à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe - Goiás. Caminhos de Geografia Uberlândia - MG v. 19, n. 66 Junho/2018 p. 285–296.
- PIMENTA, L. B.; BELTRÃO, N. E. S.; GEMAQUE, A. M. da S.; TAVARES, P. A. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. INTERAÇÕES, Campo Grande, MS, v. 20, n. 2, p. 407-420, abr./jun. 2019.
- REBELLO, A. (org.). Contribuições teórico-metodológicas da Geografia Física. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2010.
- REIS, G. de A.; RIBEIRO, A. J. A.; SILVA, C. A. U. da. Diagnóstico de Vulnerabilidade Socioambiental em Áreas Urbanas Utilizando Inteligência Geográfica. Revista Brasileira de Geografia Física v.13, n.02 (2020) 767-781.
- RIBEIRO, A. S., MINCATO, R. L., CURI, N., KAWAKUBO, F. S. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. Revista Brasileira de Geografia Física V. 09 N. 01 (2016) 016-031.
- SILVA NETO, J. C.; ALEIXO, N. C. R. Análise temporal da incompatibilidade das Áreas de Preservação Permanentes fluviais e uso da terra na cidade Manaus- Amazonas- Brasil. GC Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. INSS 2318-84 v. 07, n. 45, 2019.
- SILVA NETO, J. C.; ALEIXO, N. C. R. Análise Temporal da Vulnerabilidade da Paisagem à Perda dos Solos na Bacia Hidrográfica do Rio Salobra - Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul. Revista Formação (Online) Vol. 2; n. 23, jul/2016. 252-270p.

EDIÇÃO ESPECIAL:

Dossiê Amazônia, mudanças e realidades contemporâneas

PÁGINA 63

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1657 - 1664.

