

VULNERABILIDADE AMBIENTAL NA AMAZÔNIA MARANHENSE: UMA ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ZUTIUA, MARANHÃO

Thayrlan Silva Souza ¹
Giselle Chrystina do Vale Martins ²
Deuzanir da Conceição Amorim Lima ³
Luiz Carlos Araujo dos Santos ⁴

RESUMO

A vulnerabilidade ambiental compreende a não capacidade de determinado meio de resistir e/ou reverter a situação de exposição na qual o mesmo foi submetido. O objetivo do presente trabalho visou analisar a vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Zutiua, de modo a considerar sua geologia, solos, declividade e uso e cobertura da terra. Com o auxílio de técnicas geoprocessamento, e seguindo o caminho metodológico de Crepani *et. al.* (2001), foram avaliados os diferentes graus de vulnerabilidade predominantes na área de estudos, a partir de três tipos de meios tidos como unidades ambientais, sendo eles: meios estáveis, nos quais prevalece a pedogênese; meios intergrades, nos quais há equilíbrio entre pedogênese e morfogênese; e os meios fortemente instáveis, nos quais predomina a morfogênese. Identificou-se que a parte norte da bacia concentrou os maiores níveis de vulnerabilidade, enquanto na região sul, observaram-se os maiores teores de estabilidade.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental; Bacia hidrográfica; Rio Zutiua.

RESUMEN

La vulnerabilidad ambiental comprende la incapacidad de un determinado medio para resistir y/o revertir la situación de exposición a la que fue sometido. El objetivo de este trabajo fue analizar la vulnerabilidad ambiental de la cuenca del río Zutiua, con el fin de considerar su geología, suelos, pendiente y uso y cobertura del suelo. Con la ayuda de técnicas de geoprociamiento, y siguiendo el camino metodológico de Crepani *et. al.* (2001), se evaluaron los diferentes grados de vulnerabilidad prevalentes en el área de estudio, a partir de tres tipos de ambientes considerados como unidades ambientales, a saber: ambientes estables, en los que prevalece la pedogénesis; ambientes intergradados, en los que existe un equilibrio entre pedogénesis y morfogénesis; y ambientes altamente inestables, en los que predomina la morfogénesis. Se identificó que la parte norte de la cuenca concentraba los mayores niveles de vulnerabilidad, mientras que en la región sur se observaron los mayores niveles de estabilidad.

Palabras clave: Vulnerabilidad ambiental; Cuenca hidrográfica; Río Zutiua.

INTRODUÇÃO

Etimologicamente, o conceito de vulnerabilidade corresponde a qualidade ou estado de algo ou alguém que se encontra vulnerável, tendo este a definição relacionada a condição de

¹ Mestrando em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, thayrlansouza98@outlook.com;

² Graduada em de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, gisellemartins.geo@gmail.com;

³ Mestra em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, deuzaniroceano@gmail.com;

⁴ Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - UNESP, luizcarloscecenuema@gmail.com;

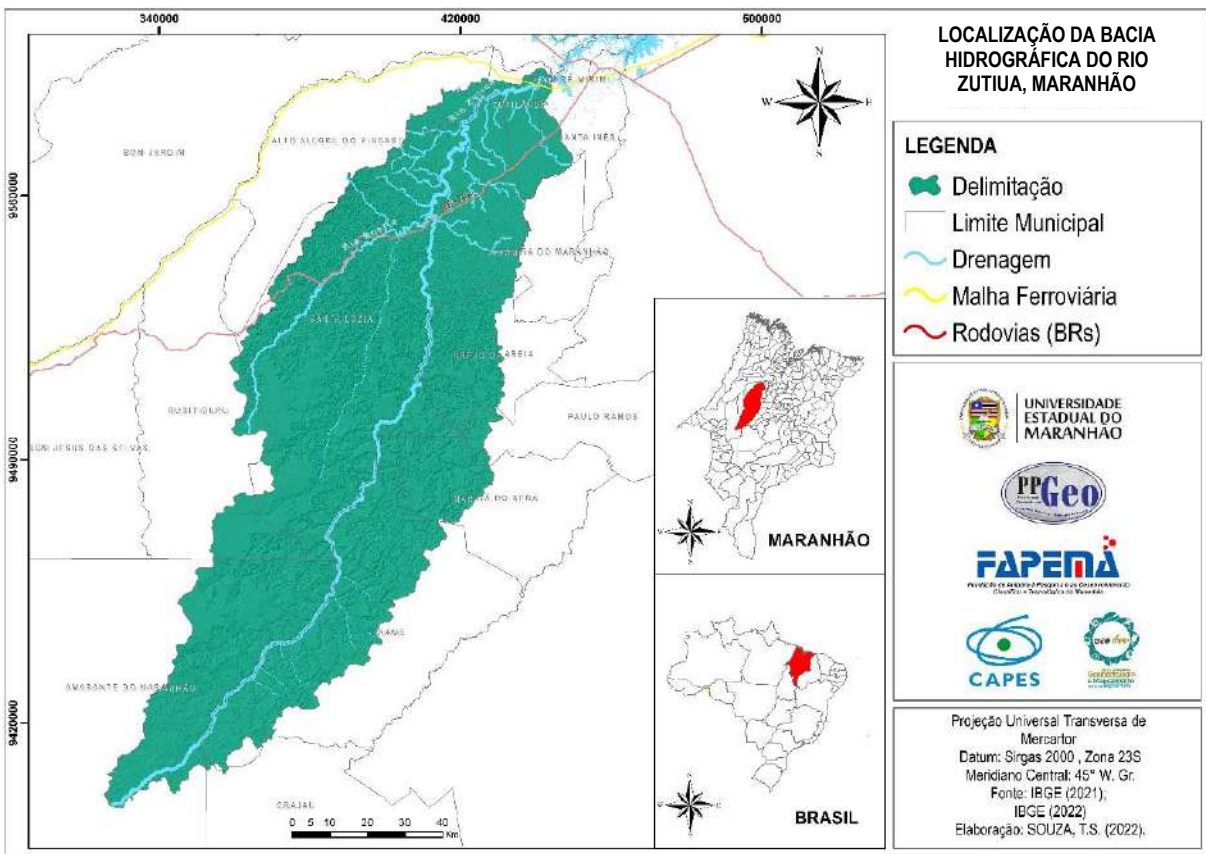


ferimento, frágil, ou sujeito a ser degradado. Nesse contexto, a vulnerabilidade possui características que, em um olhar voltado ao entendimento do senso comum, pode ser confundido e/ou mesclado a outros conceitos similares.

Segundo Santos e Soares (2020), no processo de construção teórico-conceitual da vulnerabilidade, diversas dimensões e termos foram empregados para defini-la, sendo eles: fragilidade, risco, susceptibilidade, perigo, exposição, sensibilidade, e capacidade adaptativa ou de resposta. Conforme os mesmos autores supracitados, além da inserção destas terminologias, “há uma diversidade de enfoques de estudo, dentre os quais: vulnerabilidade ambiental, natural, social e socioambiental, assim como métodos e índices para mesurar e representar cartograficamente o grau de vulnerabilidade” (Santos; Soares, 2020, p. 86).

A bacia hidrográfica do rio Zutiua é uma das afluentes da bacia hidrográfica do rio Pindaré, localizada na porção oeste do estado do Maranhão (Figura 1). Corresponde a aproximadamente 9962, 343 km², abrangendo 13 municípios, sendo os principais: Santa Luzia, Amarante do Maranhão e Arame.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Zutiua – MA.



Fonte: Autores (2022).

Assim, o presente trabalho aspira analisar a vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Zutiua segundo Crepani *et. al.* (2001), considerando uma correlação dos elementos geoambientais (Geologia, Solos e Declividade), com o uso e cobertura da terra na referida área de estudos.

METODOLOGIA

Almejando operacionalizar a análise da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Zutiua, procedeu-se a realização da delimitação da área e sua respectiva drenagem. Nesse processo, recorreu-se ao *shapefile* das bacias hidrográficas otocodificadas (níveis otto 1-7) na base de dados vetoriais da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA.

Para os procedimentos cartográficos, foram utilizados os *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG), ArcGIS 10[®] (Licença EFL999703439) e o QGis, com escala de 1:250.000. É importante frisar que em alguns dos procedimentos para elaboração dos mapas temáticos foram realizadas adaptações no que diz respeito a paleta de cores das respectivas classes de solos e geologia, buscando uma melhor visualização das mesmas e obedecendo aos órgãos oficiais, como a Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Em relação ao mapa de unidades geológicas, recorreu-se a utilização de dados vetoriais disponíveis na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM); já o de solos, utilizou-se o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal. Após a importação dos dados nos referidos sites, estando os mesmos projetados no código *European Petroleum Survey Group* (EPSG) 4674 e 4326, WGS 84, realizou-se o procedimento de reprojeção para o sistema geodésico SIRGAS 2000 zona 23S, projeção *Universal Transversa de Mercator* e recorte dos planos de informação para o limite da bacia. Posteriormente seguiu-se com a classificação das unidades litoestratigráficas e de solos, sendo as referidas temáticas alinhadas a um *layout* predefinido, contendo a drenagem, relevo sombreado (adquiridos a partir dos mosaicos de folhas do TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), e vetores de convenções cartográficas (Rodovias, Ferrovias, etc.).

No mapa de declividade, utilizou-se da ferramenta “declividade...” na aba análise do componente raster, onde se realizou a inserção do mosaico do Modelo Digital de Elevação (MDE) na camada de entrada, e a marcação do indicador de declividade expressa em porcentagem. Posteriormente, realizou-se a reclassificação, onde se teve como orientação a



classificação proposta pelo *Manual Técnico de Geomorfologia* proporcionado pelo IBGE (2009), onde a declividade é dividida em cinco classes com intervalos distintos.

Quanto ao mapeamento do uso e cobertura da terra, optou-se pela utilização do Projeto MapBiomas, da coleção 7, que consiste em uma coleção dos múltiplos tipos de uso e cobertura no território brasileiro, contendo dados de 1985 até o ano de 2021.

Para a bacia do rio Zutiua, utilizou-se o caminho metodológico proposto por Borges e Oliveira (2021), onde na plataforma MapBiomas se realizou o *script* do *Google Earth Engine* selecionando o período (ano de 2021) e a área (estado do Maranhão). Após isso, exportou-se o arquivo para o *Google Drive* adicionando-o posteriormente no *software* de SIG (QGIS) e realizando a reprojeção. Conseqüente, realizou-se o recorte do arquivo para a área de delimitação da bacia, realizando-se assim a classificação da simbologia do *raster*, utilizando o código de legenda para os valores de píxel na Coleção 7 do MapBiomas, onde por fim, procedeu-se a união da planilha com o *shapefile* e posteriormente a junção ao *layout* universal.

Para o mapeamento da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Zutiua, recorreu à metodologia proposta por Crepani *et. al.* (2001), que fora desenvolvida a partir dos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977), onde se tem três meios determinantes tidos como unidades ambientais: meios estáveis, na qual irá prevalecer o processo de pedogênese; meios intergrades, onde se terá um equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese; e os meios fortemente instáveis, onde prevalece a morfogênese.

No processo de análise morfodinâmica, serão concedidos valores que variam de 1,0 a 3,0, na qual possuem intervalos de 21 valores de vulnerabilidade diferentes nos quais as áreas podem ser enquadradas (Figura 2). Nesse sentido, nos casos onde há o predomínio dos processos de pedogênese, são atribuídos valores próximos de 1,0; nos casos intermediários, são atribuídos valores em torno de 2,0; e em casos de predomínio dos processos de morfogênese, são atribuídos valores próximos de 3,0.



Figura 2 – Metodologias e critérios para as distinções dos pesos.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA	GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
			VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	[Red]
U2	2,9		255	51	0	
U3	2,8		255	102	0	
U4	2,7		255	153	0	
U5	2,6	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	[Yellow]
U6	2,5		255	255	0	
U7	2,4		204	255	0	
U8	2,3	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	153	255	0	[Light Green]
U9	2,2		102	255	0	
U10	2,1		51	255	0	
U11	2,0		0	255	0	
U12	1,9	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	51	[Green]
U13	1,8		0	255	102	
U14	1,7		0	255	153	
U15	1,6	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	204	[Cyan]
U16	1,5		0	255	255	
U17	1,4		0	204	255	
U18	1,3	ESTÁVEL	0	153	255	[Blue]
U19	1,2		0	102	255	
U20	1,1		0	51	255	
U21	1,0		0	0	255	

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Seguindo a proposta de Crepani *et al.* (2001), realizando adaptações, teve-se a substituição do fator geomorfologia pela declividade; a exclusão do fator clima (por conta da pouca variação); e a substituição do fator vegetação pelo uso e cobertura da terra, onde o mesmo além de abranger padrões de vegetação, também corresponde as diversas classes de uso antrópico. Para a bacia do rio Zutiua, visando atribuir valor de vulnerabilidade a cada unidade de paisagem, foi utilizada a seguinte equação (1):

$$V = (G+S+D+Uct) / 4$$

Em que:

V: vulnerabilidade;

G: vulnerabilidade para o tema geologia;

S: vulnerabilidade para o tema solos;

D: vulnerabilidade para o tema declividade;

Uct: vulnerabilidade para o tema uso e cobertura da terra.

É importante frisar que para o desenvolvimento da temática vulnerabilidade ambiental, juntamente com os parâmetros geoambientais, se fez necessária uma análise detalhada dos mesmos, buscando utilizá-los como planos de informação.

Na obtenção das vulnerabilidades da bacia, iniciou-se a definição dos critérios (pesos) de estabilidade, equilíbrio ou vulnerabilidade. Para isso, recorreu-se novamente a Crepani *et. al.* (2001), onde o mesmo autor atribui pesos a cada plano de informação conforme a vulnerabilidade de cada elemento a perda do solo ou atuação antrópica (Tabela 1).

Buscando a operacionalização do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da bacia do rio Zutiua, foi realizada a conversão de todos os dados vetoriais (*shapefiles*) para imagem (*raster*) no ArcGIS 10[®], por meio do módulo *Conversion Tools > Polygon to raster*. Em seguida, realizou-se a reclassificação dos valores/informações para a inserção das notas, por meio do módulo *Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify* no ArcGIS 10[®].

Realizado tal procedimento, geraram-se os mapas de vulnerabilidade de cada critério (geologia, solos, declividade e uso e cobertura), onde se optou pelo tratamento dos fatores (PIs) com igual importância. Gerados os mapas, seguiu-se para a correlação de ambos a partir da operação de álgebra de mapas, utilizando-se a calculadora *raster* do Qgis para inserção da equação (1). Esta etapa realiza a interação entre os mapas de vulnerabilidade, interpretando a maior ou menor suscetibilidade de cada tema a perda do solo, ou seja, a vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Zutiua.

Para a definição dos intervalos na legenda do mapa síntese de vulnerabilidade, utilizou-se a mesma nomenclatura dos graus de vulnerabilidade proposta por Crepani *et. al.* (2001), (Figura 2): Muito Baixa (1,0 – 1,4); Baixa (1,4 – 1,8); Média (1,8 – 2,2); Alta (2,2 – 2,6); e Muito Alta (2,6 – 3,0).

Tabela 1 – Pesos de vulnerabilidade para as informações dos temas de geologia, solos (sintetizados), declividade e uso e cobertura da terra.

Geologia	Vuln.	Solos	Vuln.	Decliv.	Vuln.	Uso/cob.	Vuln.
C. Lateríticas Maturas	1,0	Argissolos	2,0	0-3%	1,0	Formação Florestal	1,4
Depósitos Aluvinares	3,0	Gleissolos	3,0	3-8%	1,5	Formação Savânica	2,0
Formação Ipixuna	2,6	Latossolos	1,0	8-20%	2,0	Silvicultura	3,0
Formação Itapecuru	2,6	Luvissolos	2,0	20-45%	2,5	C. Alag/ A. Pant.	2,0

-	-	Neossolos	3,0	45>%	3,0	Formação Campestre	2,0
-	-	Plintossolos	3,0			Pastagem	3,0
-	-	-	-	-	-	M. Usos	3,0
-	-	-	-	-	-	Á. Urbana	2,5
-	-	-	-	-	-	Áreas não vegetadas	3,0
-	-	-	-	-	-	C. Água	1,0
-	-	-	-	-	-	Soja	2,9
-	-	-	-	-	-	Outras lav.	3,0

Fonte: Autores (2022), adaptado de Crepani *et al.* (2001).

REFERÊNCIAL TEÓRICO

A análise de bacias hidrográficas, considerando a vulnerabilidade em seu viés, abrange múltiplas caracterizações, indo desde o diagnóstico dos processos de erosividade, até a determinação do uso e cobertura da terra. Tal entendimento parte do pressuposto que a vulnerabilidade corresponde a não capacidade de determinado componente geoambiental reagir e converter um dano causado pelo meio, seja ele antrópico ou não. Assim, tanto a erosividade quanto o uso e cobertura da terra, serão indicadores se determinado ambiente apresentará ou não altos graus de vulnerabilidade.

Segundo Fushimi (2016), o meio antrópico e os elementos naturais se inter-relacionam, onde tal correlação influencia diretamente na dinâmica das paisagens urbanas e rurais. Assim, nas mudanças expressivas no uso e cobertura da terra, observa-se o processo de degradação pela erosão, revisitando a importância do planejamento ambiental, no qual a vulnerabilidade a processos erosivos é um fator relevante a ser considerado nas análises.

Nesse contexto, a caracterização de componentes geoambientais e sua correlação com parâmetros antrópicos demonstram a importância e influência de ambos em um diagnóstico de vulnerabilidade. Crepani *et al.* (2001) expõe os principais componentes que podem contribuir para a análise morfodinâmica das unidades de paisagem natural.

Segundo Crepani *et al.* (2001, p. 13) “a contribuição da Geologia [...] compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra, e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem”.

O mesmo autor, a respeito da geomorfologia, coloca que: “a Geomorfologia oferece, para a caracterização da estabilidade das unidades de paisagem natural, as informações relativas à Morfometria, que influenciam de maneira marcante os processos ecodinâmicos”, estando a declividade inserida neste papel (Crepani *et al.*, 2001, p. 14).

Já a pedologia, a mesma “participa da caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural fornecendo o indicador básico da posição ocupada pela unidade na escala gradativa da Ecodinâmica: a maturidade dos solos” (Crepani *et al.*, 2001, p.14).

A cobertura vegetal é inserida nesse meio com o papel de retardar o ingresso das águas de precipitações pluviais. Assim, “A participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem natural está, portanto, diretamente ligada à sua capacidade de proteção” (Crepani *et al.*, 2001, p.15).

Nesse contexto, a vulnerabilidade ambiental partirá de uma interação entre processos bióticos e abióticos, onde um influenciará no parâmetro comportamental do outro. Tagliani (2003) expõe seu entendimento acerca da vulnerabilidade ambiental como maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer, de modo que o autor considera em sua análise tanto as variáveis ambientais, como a ação antrópica.

Essas ações antrópicas, integralmente relacionadas à vulnerabilidade ambiental, sintetizam uma correlação subsequente às questões de uso e cobertura da terra, na qual o processo de urbanização, avanços do agronegócio, queimadas, o campesinato, entre outros fatores, constituirá uma interseção entre ambos. Assim, segundo Delamare e Sato (2015, p. 6520), “diante das problemáticas ambientais causadas pelos processos de ocupação indevidos, torna-se importante levantar questionamentos referentes aos processos de uso e ocupação da terra”.

Os mesmos autores colocam que o processo de modificação da paisagem é resultante dos diferentes tipos de uso e cobertura (Delamare; Sato, 2015). Assim, com a análise dos processos evolutivos de uso da terra, pode-se entender os fatores que determinaram as alterações ocorridas na paisagem, além de compreender os processos socioeconômicos que ocorrem em tal seguimento de pesquisa (Delamare; Sato, 2015, p).

Segundo Medeiros (2016, p.54), “os diversos usos, ocupações e manejos da terra influenciam diretamente na dinâmica de uma bacia hidrográfica, apresentando variáveis que alteram os demais elementos presentes neste sistema, sobretudo nas águas superficiais”. Assim, uma unidade de análise como a bacia hidrográfica do rio Zutiua, ou seja, de grande extensão,



tende a apresentar múltiplas modificações resultantes do uso, cobertura e manejo da terra, sejam esses impactantes ou não.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da Área de Estudo

A área em questão possui o clima equatorial úmido, apresentando duas estações distintas: a chuvosa, que ocorre no primeiro semestre do ano; e a seca, que ocorre no segundo semestre do ano. Tendo como base os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na estação convencional de Zé Doca (82376) coletados em 2021, a temperatura ambiente da área de estudo apresenta uma média máxima anual de 32,79 °C e temperatura mínima média anual de 23 °C. Apesar de Zé Doca não estar no limite da bacia, a mesma faz parte da região do Pindaré, trazendo relevância para os dados.

A bacia hidrográfica do rio Zutiua se caracteriza como uma área de intensa geodiversidade, e, ao mesmo tempo, vem sofrendo nos últimos anos um intenso processo de mudança em sua vegetação e processos erosivos, conforme Figura 3.

Figura 3 - Processo de ocupação começa a se mostrar impactante na área, sobretudo pelo avanço das pastagens.



Fonte: Autores (2022).

Com relação à geologia, a mesma apresenta as seguintes unidades litoestratigráficas: Depósitos Aluvionares, Formação Ipixuna, Coberturas Lateríticas Maturas e Formação Itapecuru, sendo as duas últimas as de maiores proporções (Figura 4).

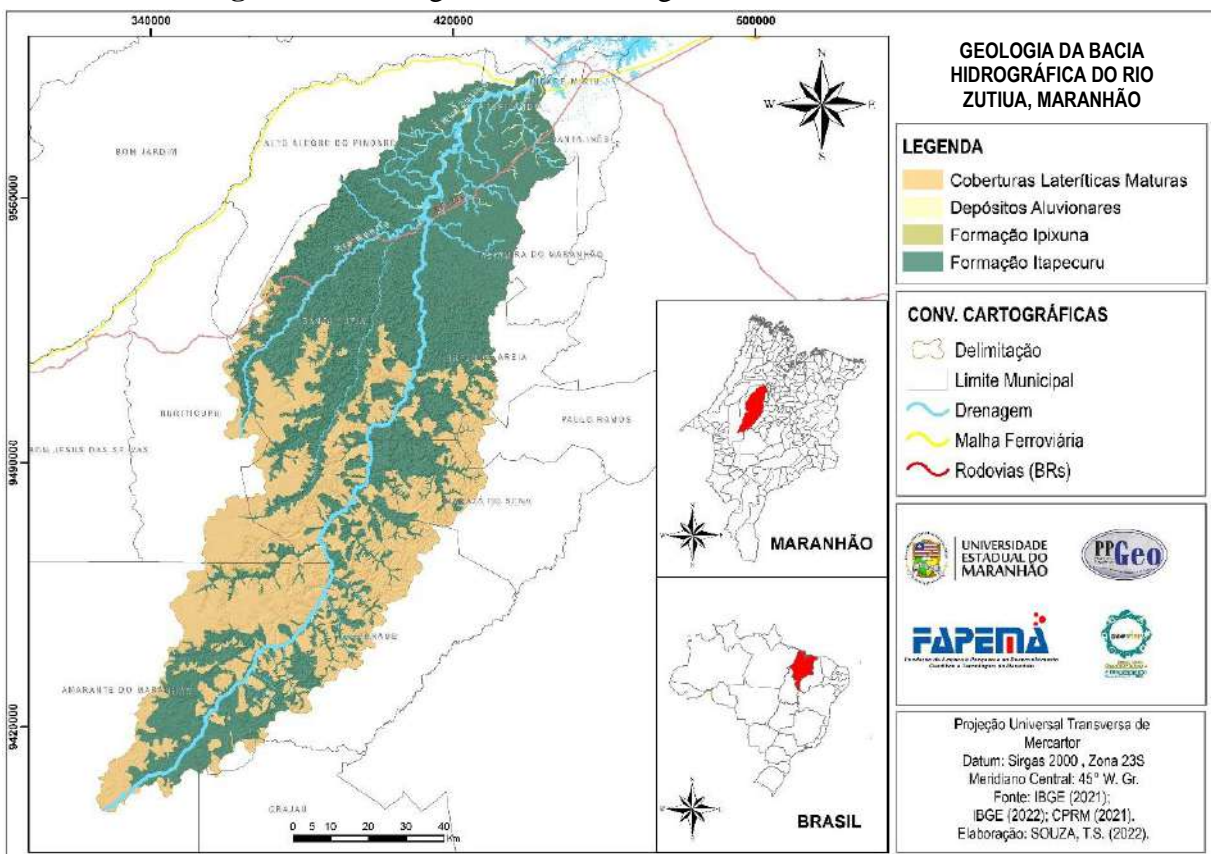
Segundo Costa *et al.* (2005 *apud* Lopes; Teixeira, 2013 p. 26) a Cobertura Laterítica Matura, foi formada por volta de 26-24 Ma, pela alteração química de rochas preexistentes. “Nela se acumularam depósitos de alumínio, fosfato, caulim etc” (Lopes; Teixeira, 2013 p. 26). Na área da bacia, a mesma se encontra presente em larga escala nos municípios de Amarante



do Maranhão e Arame, estando também presente em Buriticupu e Santa Luzia, abrangendo um total de 3.612,373 km².

Já o Grupo Itapecuru, também tendo a nomenclatura de “Formação”, é caracterizado como um conjunto de formações composto por diversos tipos de rochas, entre elas: arenitos, argilitos, siltitos, folhelhos intercalados com arenitos depositados em vários ambientes (fluvial, deltaico e lagunar) (Anaisse Júnior, 1999; Gonçalves; Carvalho, 1996; Lima; Leite, 1978 *apud* Lopes; Teixeira, 2013). Tem idade que varia de 90 a 93 Ma (Cretáceo Superior) (Rossetti *et. al.*, 2001 *apud* Lopes; Teixeira, 2013). O mesmo corresponde a maior unidade litoestratigráfica da bacia, abrangendo 6.123,349 km², principalmente nos municípios que vão do centro a foz, ou seja, Santa Luzia, Altamira do Maranhão, Brejo de Areia, Alto Alegre do Pindaré, Tufilândia, Santa Inês e Pindaré Mirim.

Figura 4 – Geologia da bacia hidrográfica do rio Zutiua – MA.



Fonte: Autores (2022).

Quanto aos solos da bacia hidrográfica do rio Zutiua, tem-se a predominância de Argissolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos e Plintossolos (Figura 5).

Os Argissolos se manifestam na área da bacia com os Argissolos Amarelos Distrófico, nos municípios de Arame e Brejo de Areia; e com os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, nos municípios de Arame, Brejo de Areia, Alto Alegre do Pindaré, e Santa Luzia, sendo o último o que corresponde a maior proporção na área da bacia, com 4.544,036 km².

Os Gleissolos se apresentam com o Gleissolo Háptico Ta Eutrófico, caracterizado como “solo com argila de atividade alta e saturação por bases $\geq 50\%$, ambas na maior parte dos horizontes B e/ou C (inclusive BA ou CA) dentro de 100 cm a partir da superfície do solo” (EMBRAPA, 2018 p. 178). O mesmo encontra-se presente em pequena proporção no município de Alto Alegre do Pindaré.

Os Latossolos, na bacia do rio Zutiua, se apresentam a partir dos Latossolos Amarelos Distrocosos, nos municípios de Amarante do Maranhão, Buriticupu e Santa Luzia; Latossolos Amarelos Distróficos, com grande predominância no município de Santa Luzia; e o Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, com média extensão ao sul da bacia, no município de Amarante do Maranhão.

Latossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm a partir da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura (EMBRAPA, 2018 p. 195).

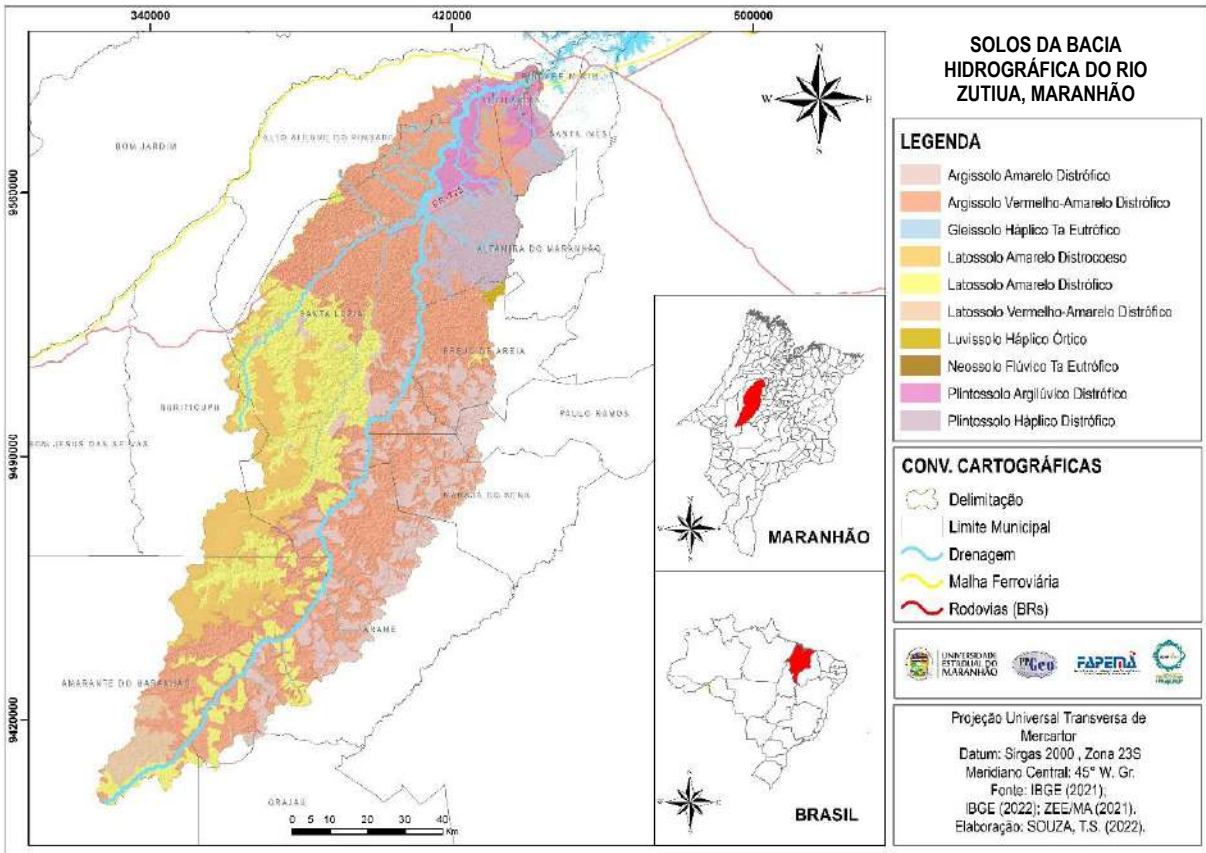
Os Luvisolos, solo esse constituído de materiais minerais e argilas, apresentado na bacia a partir do Luvisolo Háptico Órtico, predominantemente no município de Brejo de Areia.

Já os Neossolos, solos mais jovens, são identificados na foz da bacia, nas margens dos cursos de drenagem, identificou-se o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, abrangendo os municípios de Pindaré Mirim e Tufilândia. São “constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnóstico” (EMBRAPA, 2018 p. 219).

Quanto aos Plintossolos, “solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário” (EMBRAPA, 2018 p. 261), tem-se os Plintossolos Argilúvicos Distróficos, também com ocorrência ao norte da bacia, abrangendo grande parte de Altamira do Maranhão e Tufilândia; e os Plintossolos Hápticos Distróficos, sítidos nos mesmos municípios, com maior ocorrência em Altamira do Maranhão.



Figura 5 – Solos da bacia hidrográfica do rio Zutiua – MA.



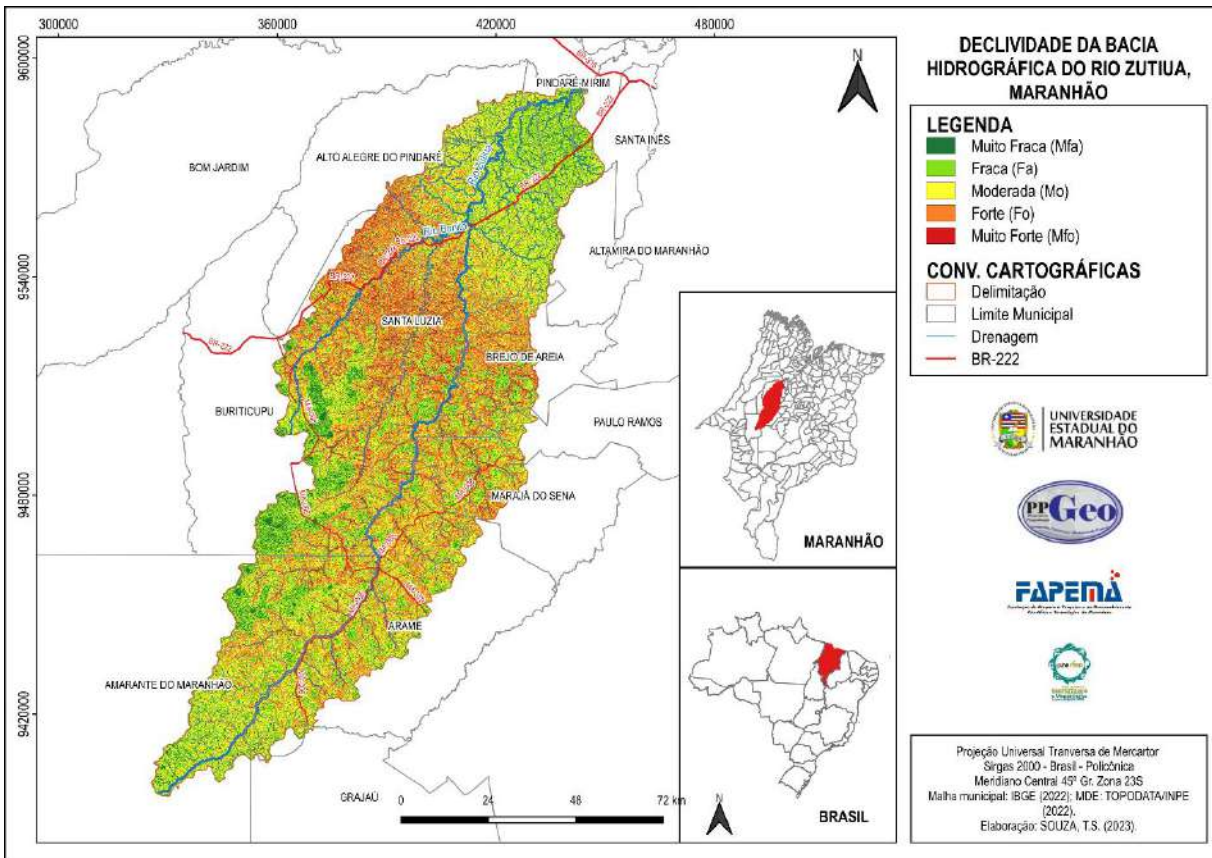
Fonte: Autores (2022).

Com relação ao relevo, o Manual Técnico de Geomorfologia proporcionado pelo IBGE (2009) classifica a declividade em Muito Fraca (0-3%), Fraca (3-8%), Moderada (8-20%), Forte (20-45%) e Muito Forte (45%>) (Figura 6).

Na bacia do rio Zutiua tem-se o relevo 0-3% com ocorrência no sul do município de Buriticupu, e também na maioria dos municípios que se situam ao longo da foz; tal fase correspondendo a 12,30% do total da área da bacia. O relevo 3-8% se encontra “espalhado” na área de estudo, tendo uma maior predominância no município de Altamira do Maranhão e o sul de Buriticupu, abrangendo 22,98%, ou seja, mais de 2.289 km². Já a declividade correspondente a 8-20% possui maior ocorrência ao sul e centro-sul da bacia, abrangendo municípios como Arame e Amarante do Maranhão, tendo um total de 33,07% da área total. O relevo 20-45% predomina na parte central da bacia, com 25,94%, abrangendo os municípios de Santa Luzia e Brejo de Areia. O 45%> também predomina na parte central a área de estudo (com 5,71% da bacia), porém sua presença é bastante densa principalmente no município de Santa Luzia.



Figura 6 – Declividade da bacia hidrográfica do rio Zutiua – MA.



Fonte: Autores (2023).

Quanto ao uso e cobertura da terra, a bacia hidrográfica do rio Zutiua corresponde a uma extensa variação, principalmente relacionada as áreas com influência antrópica. As formações florestais (Figura 7), pastagens e as áreas de soja correspondem aos maiores percentuais de extensão da bacia. Segundo o IBGE (2013), a vegetação natural corresponde a um conjunto de estruturas florestais e campestres, abrangendo desde florestas e campo originais, ou seja, primários, até formações florestais secundárias, arbustivas, herbáceas e/ou gramíneo-lenhosas, em diversos estágios sucessionais de maturidade, distribuídos por diversos ambientes e situações geográficas. São consideradas florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 m, na qual entre essas estão as fisionomias da Floresta Densa, Floresta Aberta, Floresta Estacional, além da Floresta Ombrófila Mista, e das áreas de mangues (IBGE 2013).



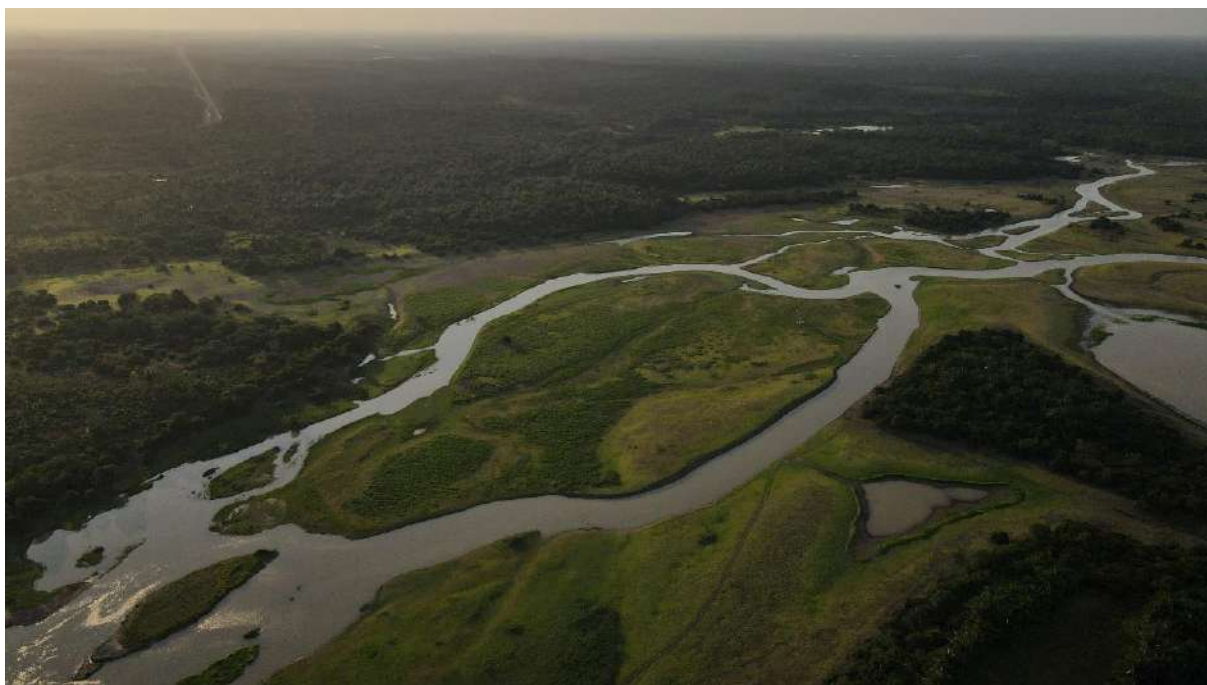
Figura 7 – Lago Zutiua, com o entorno de áreas preservadas, floresta amazônica, mata dos cocais. Já pertencente a baixada maranhense.



Fonte: Autores (2022).

As áreas de pastagem (Figura 8) encontram-se localizadas no centro norte da bacia, correspondendo uma grande parte de sua extensão, ou seja, 48,11%. Esse tipo de uso corresponde um certo teor de vulnerabilidade ao ambiente em que se encontra, em vista que são áreas geralmente utilizadas na pecuária bovina, havendo assim um alto nível de compactação do solo, além de sua exposição.

Figura 8 – Área da planície, campo alagado com vegetação de pastagem, baixo curso do Zutiua.



Fonte: Autores (2022).

O plantio de soja na região se concentra na parte oeste, abrangendo principalmente os municípios de Buriticupu e Santa Luzia. Esse tipo de monocultura se caracteriza como uma das principais atividades econômicas do leste maranhense, mas que no oeste ainda passa pelo



processo de adaptação. O desenvolvimento deste tipo de cultura no país sempre esteve associado aos avanços tecnológicos e a disponibilidade de tecnologias ao setor produtivo, sendo fatores essenciais para esse processo: a inserção da mecanização visando de maior produtividade adaptados às diversas regiões; o avanço tecnológico relacionado ao manejo do solo; o manejo de adubação, calagem, pragas e doenças; e a identificação de soluções para fatores causadores de perdas nas colheitas (Freitas, 2011).

As demais classes identificadas foram a Silvicultura, com um total de 0,01% do total da área da bacia; campos alagados e áreas pantanosas (Figura 9), correspondendo a 0,19%; formações campestres, com 0,02%; demais mosaicos de uso, com 0,30%; área urbanizada, com 0,07%; e outras áreas não vegetadas 0,13%.

Figura 9 – Campo alagado com a floresta de babaçu que ainda sobrevive à ação antrópica. (Baixo curso, nas margens do lago Zutiua).

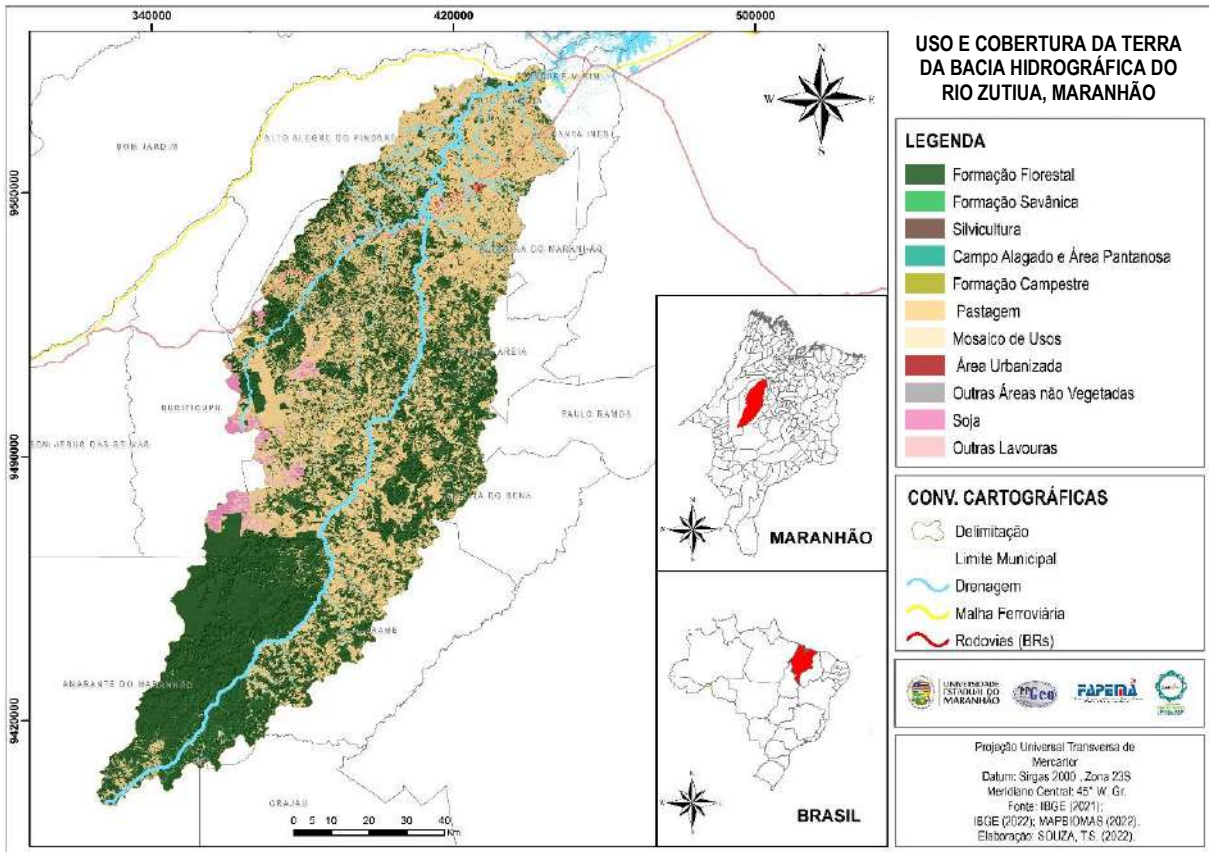


Fonte: Autores (2022).

Nesse contexto, o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Zutiua (Figura 10) caracteriza um intenso processo de deterioração da paisagem natural, apresentando assim um alto nível de supressão da vegetação nativa, ou seja, primária e secundária. Processos naturais com influência da ação antrópica se apresentam como principais causadores para tal estado de perda, estando entre eles: processos erosivos, associados a perda de material radicular e mata ciliar; queimadas referentes a métodos de limpeza da lavoura (roça no toco); redução da biodiversidade, com a retirada de espécies de plantas e animais para a inserção das

monoculturas (soja, eucalipto, entre outras); e principalmente a pecuária, com a presença de vastos campo de pastagem na região.

Figura 10 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Zutiua – MA.



Fonte: Autores (2022).

Conforme a metodologia proposta por Crepani, as rochas com maior teor de porosidade e mais fraturadas possuem alta capacidade de retenção de água, agindo como o principal agente modificador do relevo, sendo assim mais intemperizadas em vista que estarão por tempo em contato com a água, deixando assim os grãos que formam as rochas mais expostos (Medeiros; Pereira; Almeida, 2012).

Os Depósitos Aluvionares demonstraram um alto teor de vulnerabilidade, apresentando os litotipos: areia, argila, cascalho, areia arcoseana, conglomerado polimítico, silte; materiais esses com grande presença de espaços entre os grãos (poros), tendo os mesmos grandes potenciais de retenção de água. Tal unidade situa-se nas margens dos cursos de drenagem próximas à foz da bacia, abrangendo as áreas correspondentes aos Plintossolos Argilúvicos e um grande percentual de áreas de pastagem, contribuindo assim para um intenso processo modificador na bacia.

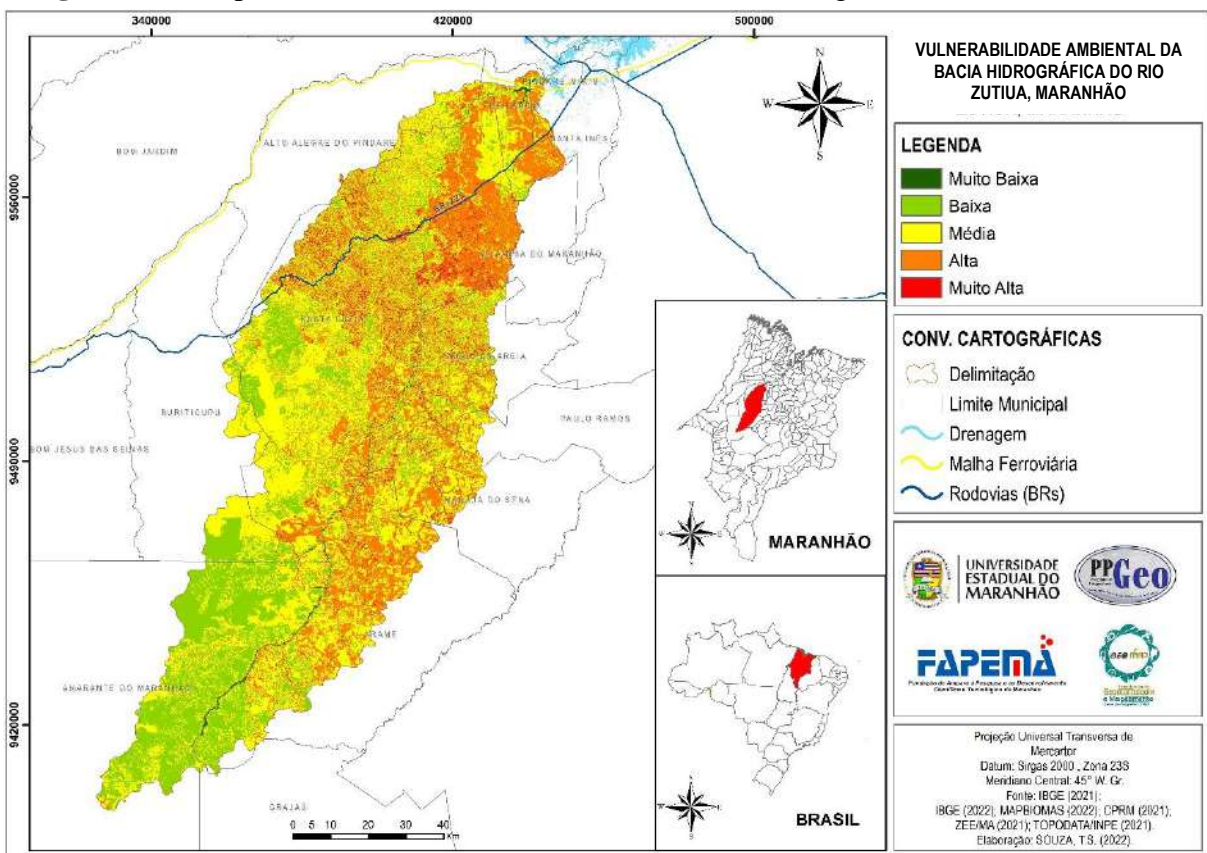


As unidades de paisagem natural consideradas vulneráveis ocorrem em solos jovens e pouco desenvolvidos, ou seja, o principal atributo é a pequena evolução dos perfis de solo (Crepani *et. al.* 2001). Na bacia do rio Zutiua esses solos são o Gleissolo Háplico Ta Eutrófico, Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, Plintossolo Argilúvico Distrófico, Plintossolo Háplico Distrófico. Ambos os solos têm presença na parte norte da bacia (foz), estando também todos associados a pastagem e pequenas porções de formações florestais resistentes.

As declividades de relevo $45\% >$ se caracteriza como vulnerável. Relevos com altos declives prevalecem processos erosivos propícios a morfogênese, estando na BHRZ associados também a zonas com presença do cultivo de soja, áreas de pastagem, e formações florestais.

Observaram-se assim as classificações Alta e Muito Alta nos municípios de Altamira do Maranhão, Santa Inês e Tufilândia, sitiados nas proximidades da foz da bacia (Figura 11). Municípios como Amarante do Maranhão e Buriticupu detiveram a classificação baixa, onde tal conclusão se dá principalmente devido à existência de terras indígenas na região.

Figura 11 – Mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Zutiua – MA.



Fonte: Autores (2022).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto aos parâmetros geoambientais, observou-se a intensa variabilidade abiótica, principalmente nos elementos de solos e geologia, caracterizando assim a necessidade de múltiplas análises individuais para tais especificações.

Quanto a vulnerabilidade, os planos de Informações analisados, concluiu-se que na geologia, os Depósitos Aluvionares apresentaram os maiores teores de vulnerabilidade, onde na área da bacia hidrográfica do rio Zutiua tal unidade litoestratigráfica corresponde principalmente as margens dos cursos de água, sendo a erosividade um cenário propício nesse viés.

Já em relação aos solos, observou-se que, apesar da presença do neossolos (solo classificado como vulnerável), o mesmo encontra-se em uma pequena porção próximo à foz da bacia, tendo, em contrapartida, os argissolos, a maior necessidade de atenção devido sua larga extensão na BHRZ, sendo o mesmo classificado como intermediário.

A declividade, assim como os demais planos de informação, apresenta-se vulnerável principalmente na parte central e próximo à foz da bacia. Tal fato pode ser correlacionado a análise do uso e cobertura da terra, onde classes como a pastagem vem tomando o lugar de áreas de vegetação natural, onde o uso de maquinário específico se faz cada vez mais necessário.

REFERÊNCIAS

ANAISSE JÚNIOR, J. **Fácies costeiras dos depósitos Itapecuru (Cretáceo), região de Açailândia, bacia do Grajaú.** 1999. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1999.; GONÇALVES, R.A.; CARVALHO, I.S. Contribuição ao estudo da sedimentação da formação Itapecuru, região de Itapecuru-Mirim, bacia do Parnaíba (Cretáceo inferior), Maranhão, Brasil. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 9, p. 75-81, 1996.; LIMA, E.A.M.; LEITE, J.F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba: integração geológico-metalogenética.** Relatório final, etapa III. Belém: DNPM/CPRM, 1978. 190 p. v. 1. *Apud*: LOPES, E. C. S; TEIXEIRA, S. G. **Contexto Geológico.** In: BANDEIRA, I. C. N. (Org.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão.** Teresina: CPRM, 2013.

BORGES, Vinícius Silva; OLIVEIRA, Wellington Nunes de. Análise multitemporal do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 17, n. 1, p. 79-93, 2021.

COSTA, Marcondes Lima da; FERNANDEZ, Oscar Jesus Choque; REQUELME, Marlis Elena Ramirez. O depósito de manganês do Azul, Carajás: estratigrafia, mineralogia, geoquímica e evolução geológica. In: MARINI, O.; QUEIROZ, E. T.; RAMOS, B. W. (Ed.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia.** Brasília:



DNPM-CT, MINERAL-ADIMB, 2005. p. 231-333. v. 1. *Apud*: LOPES, E. C. S.; TEIXEIRA, S. G. **Contexto Geológico**. In: BANDEIRA, I. C. N. (Org.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: SAE/INPE, 2001.

DELAMARE, T. O.; SATO, S. E. Mapeamento de cobertura e uso da terra: uma importante ferramenta na elaboração do Zoneamento Geoambiental. In: XI ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 2015, Presidente Prudente. **Anais** [...]. Presidente Prudente, v. 1. p. 6519-6528, 2015.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, 2018.

FREITAS, M.C.M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares de parte dos municípios de Marabá Paulista-SP e Presidente Epitácio-SP**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 170p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 7).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos. 2023. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#>. Acesso em: 04/06/2023.

LOPES, E. C. S.; TEIXEIRA, S. G. **Contexto Geológico**. In: BANDEIRA, I. C. N. (Org.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

MEDEIROS, M. D.; PEREIRA, V. H. C.; ALMEIDA, L. Q. Áreas de vulnerabilidade ambiental na zona Oeste de Natal/ RN/ Brasil. **Revista GEONORTE**, Manaus, v. 1, n. 4, p.474– 486, 2012.

MEDEIROS, R.B. **Procedimentos metodológicos para análise da vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas com um estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Córrego Moeda, Três Lagoas/MS em 2014**. 2016. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/CPTL, Três Lagoas, 2016.



ROSSETTI, D.F.; GOES, A.M.; SOUZA, L.S.B. Estratigrafia da sucessão sedimentar pós-Barreiras (zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. **Revista brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 113- 130, 2001. *Apud*: LOPES, E. C. S; TEIXEIRA, S. G. **Contexto Geológico**. In: BANDEIRA, I. C. N. (Org.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

SANTOS, Luiz Carlos Araujo dos; SOARES, Idevan Gusmão. Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Preto, Maranhão–Brasil. **Geografia**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 85-105, 2020.

TAGLIANI, Carlos Roney Armanini. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** BeloHorizonte: INPE, 2003. p. 1657-1664.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. 97 p.