



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS - CCHL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**



**KAROLINE VELOSO RIBEIRO**

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
MULATO, ESTADO DO PIAUÍ**

**TERESINA - PI  
2019**

KAROLINE VELOSO RIBEIRO

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
MULATO, ESTADO DO PIAUÍ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da Universidade Federal do Piauí para obtenção do título de Mestra em Geografia.

Área de Concentração: Organização do Espaço e Educação Geográfica.

Linha de Pesquisa: Estudos Regionais e Geoambientais

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque

TERESINA/PI

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

R484a Ribeiro, Karoline Veloso.  
Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica  
do rio Mulato, estado do Piauí / Karoline Veloso Ribeiro.  
– 2019.  
97 f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade  
Federal do Piauí, Teresina, 2019.

“Orientador: Prof. Dr. Emanuel Lindemberg Silva  
Albuquerque”.

1. Bacia Hidrográfica. 2. Planejamento Ambiental.  
3. Geotecnologias. I. Título.

CDD 551.4

KAROLINE VELOSO RIBEIRO

**“ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO MULATO, ESTADO DO PIAUÍ”**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de mestre, pelo  
Programa de Pós-Graduação em Geografia da  
Universidade Federal do Piauí – UFPI.

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Lindemberg  
Silva Albuquerque.

Aprovado em 13 / 02 / 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque

[Orientador - Presidente]

EMANUEL LINDEMBERG SILVA ALBUQUERQUE

Prof. Dr. Raimundo Lenilde de Araújo

[Examinador Interno ao Programa – PPGGEO – UFPI]

RAIMUNDO LENILDE DE ARAÚJO

Prof. Dr. Jáder de Oliveira Santos

[Examinador Externo à Instituição – UFC]

JÁDER DE OLIVEIRA SANTOS

A minha família (Helena e Karen). Ao meu Pai, Alceu (*In Memoriam*) e aos amigos que se fizeram presentes nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Várias pessoas estiveram envolvidas nesse processo. E ao findar esta pesquisa, externo aqui a minha GRATIDÃO!

À Deus por me conceder saúde, por ter me sustentado e me capacitado.

À minha família, Karen Veloso e Helena Veloso, que são as pessoas a quem dedico tudo nessa vida. E ao meu pai, Alceu Ribeiro (*In Memoriam*), pela alegria como marca registrada da tua pessoa. Porque quando penso em desistir, é no seu amor que encontro força.

À Universidade Federal do Piauí, por meio do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO/UFPI), seu corpo docente, por contribuir tantos ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo, possibilitando à realização e conclusão desta pesquisa.

À família Santos, representada por Ana Paula Santos. Por serem sinônimo de humildade e simplicidade. Por serem pessoas que te convence que lá na frente tem uma porta destrancada só esperando você abri-la. Que torcem junto, choram junto. E por esses 25 anos ao nosso lado de maneira efetiva e assídua.

Aos meus amigos, Jéssica Silva, Paloma Rodrigues, Janderson Santos, Naat Mesquita, Erika Sousa. E aos companheiros de jornada acadêmica, Jonh Lennon e Hudson Rocha.

À minha família do Laboratório de Geografia Física e Estudos ambientais – GEOAMBIENTE, que fizeram parte desse processo. Obrigada pelo convívio e preocupação diária, por todos os momentos vividos e compartilhados. Por muitas vezes dividirem comigo angústias, e me acalentarem com gestos e palavras. Por tanto carinho que me foi dado. Por essa enorme parceria, cada troca, cada olhar, cada abraço. Nosso caminho não tem sido fácil, mas vocês fizeram o meu ser absolutamente mais feliz e humano. Obrigada por serem tão gigantes, e por juntos sermos mais fortes.

Ao meu orientador, professor Dr. Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque, que sempre esteve disposto a instruir-me, objetivando sempre repassar orientações primordiais para que eu tivesse um excelente desempenho acadêmico e profissional. Pelas exitosas contribuições, oportunidades oferecidas. Pelo estímulo sempre que o

momento oportuno exigia um pouco mais de mim, e por ser tão paciente nesse aspecto. Também não poderia deixar de agradecer pela confiança que, em mim, depositaste. Por acreditar no meu potencial e pela insistência em não me deixar desistir diante das adversidades.

À professora Dra. Cláudia Maria Sabóia de Aquino, por contribuir com tantos ensinamentos desde o primeiro período, ainda na graduação. Pelo exemplo de profissionalismo e por esse coração gigante. Por todo suporte que me foi dado durante a elaboração do projeto de pesquisa, etapa primordial à seleção do mestrado, pela preocupação e zelo. E por me apoiar em uma tomada de decisão difícil, ao ingressar no mestrado. Obrigada por esse gesto ímpar. A você, minha eterna gratidão!

Ao professor Dr. Jader de Oliveira Santos pelas valorosas contribuições que me foi posta na qualificação, e por aceitar o convite à compor a banca de defesa. Foi uma honra tê-lo presente.

Aos funcionários da graduação e do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela disponibilidade.

À todos que de maneira direta e/ou indireta se fizeram presente nessa caminhada acadêmica. Foi um prazer aprender com vocês que ainda reverberam por aqui.

Seja fascinado pelo realizar.

(Nizan Guanaes)



## RESUMO

O mapeamento da fragilidade ambiental tem sido indicado como instrumento para estudos de cunho socioambiental na ciência geográfica, permitindo, assim, identificar áreas de estabilidade e instabilidade no ambiente. Neste sentido, esta pesquisa objetivou analisar a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí, na perspectiva do planejamento ambiental. O estudo encontra-se fundamentado em conceitos que norteiam a ciência geográfica a partir do viés sistêmico, possibilitando o estudo ambiental integrado e a compreensão da relação existente entre natureza e sociedade. A metodologia da fragilidade ambiental proposta por Ross (1994), considerada nesta pesquisa, fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos. Este princípio baseia-se nos preceitos da Unidade Ecodinâmica, ao determinar as condições de estabilidade e instabilidade do ambiente, a partir do dinamismo configurado na paisagem. Diante dos diferentes estados de estabilidade/instabilidade, hierarquizou-se a fragilidade ambiental em: Muito Baixa (1), Baixa (2), Média (3), Alta (4) e Muito Alta (5), considerando a análise integrada dos seguintes elementos: geomorfologia, com base na declividade, tipo de solo, uso da terra e cobertura vegetal. As informações de geologia e clima também foram analisadas em conjunto com as demais variáveis, com a finalidade de dar maior precisão aos resultados. Os indicadores socioeconômicos relacionados à produção agrícola apontam um crescimento econômico, particularmente nos municípios que estão inseridos na área de estudo. Os resultados retratam que as classes de fragilidade potencial muito baixa e baixa representam 54,9% da área total da bacia, enquanto as classes alta e muito alta representam 26,35%. A classe média ocupa 18,75%. Para as classes de fragilidade emergente predominou a classe média, com 44,62% da área total da bacia, sendo que as classes baixa e muito baixa e as classes alta e muito alta, totalizaram respectivamente 36,71% e 18,67%. Atenta-se para o fato de que a declividade apresenta grande influência na determinação das áreas mais e/ou menos frágeis. No entanto, esta variável associada ao uso e cobertura da terra, explica a correlação entre as classes de menor e maior fragilidade ambiental, frente aos usos estabelecidos pela ação antrópica. A análise da fragilidade ambiental representa um importante instrumento de planejamento ambiental, pois identifica áreas prioritárias para o manejo conservacionista. Cabe salientar que esse trabalho pode servir de subsídio aos estudos futuros, visando elaborar diretrizes para o ordenamento territorial na área da bacia hidrográfica do Rio Mulato (PI).

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica. Planejamento Ambiental. Geotecnologias.

## ABSTRACT

The mapping of environmental fragility has been indicated as an instrument for socioenvironmental studies in geographic science, thus allowing the identification of areas of stability and instability in the environment. In this sense, this research aimed to analyze the environmental fragility in the Mulato River hydrographic basin, Piauí state, from the perspective of environmental planning. The study is based on concepts that guide geographic science from the systemic bias, enabling the integrated environmental study and the understanding of the relationship between nature and society. The methodology of the environmental fragility proposed by Ross (1994), considered in this research, is based on the principle that nature presents intrinsic functionality between its physicals and biotic component. This principle is based on the precepts of the Ecodynamic Unit, when determining the conditions of stability and instability of the environment, from the dynamism configured in the landscape. In view of the different states of stability / instability, the environmental fragility was ranked in Very Low (1), Low (2), Medium (3), High (4) and Very High (5), considering the integrated analysis of the following elements: geomorphology, based on slope, soil type, land use and vegetation cover. The geology and climate information were also analyzed together with the other variables, in order to give greater precision to the results. Socioeconomic indicators related to agricultural production point to economic growth, particularly in the municipalities that are included in the study area. The results show that the classes of very low and low potential fragility represent 54.9% of the total area of the basin, while the high and very high classes represent 26.35%. The middle class occupies 18.75%. For the emerging fragility classes, the middle class prevailed, with 44.62% of the total area of the basin, with the low and very low classes and the high and very high classes, totaling 36.71% and 18.67%, respectively. It is observed to the fact that the declivity has great influence in the determination of the more and / or less fragile areas. However, this variable associated to land use and land cover, explains the correlation between the classes of lower and greater environmental fragility, compared to the uses established by anthropic action. The analysis of the environmental fragility represents an important instrument of environmental planning, since it identifies priority areas for the conservationist management. It should be pointed out that this work can serve as a subsidy for future studies, aiming to elaborate guidelines for territorial planning in the area of the Mulato River hydrographic basin, Piauí state.

**Keywords:** Hydrographic basin. Environmental planning. Geotechnology.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Procedimentos básicos do mapeamento geomorfológico.....	40
Figura 02 - Taxonomia do mapeamento geomorfológico de acordo com Ross (1992).....	40
Figura 03 - Matriz de confusão gerada e organizada no Excel.....	44
Figura 04 - Esquema metodológico para a geração do mapa de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	47
Figura 05 - Localização da área de estudo da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	49
Figura 06 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	51
Figura 07 - Características litoestratigráficas da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	53
Figura 08 - Mapa clinográfico da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí....	54
Figura 09 - Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	56
Figura 10 - Espacialização dos postos pluviométricos para análise pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí.....	59
Figura 11 - Médias pluviométricas mensais da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	59
Figura 12 - Médias pluviométricas anuais da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	60
Figura 13 - Precipitação pluvial da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	61
Figura 14 - Rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	62
Figura 15 - Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	63
Figura 16 - Mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	64

Figura 17 - Ravinamentos em função da desagregação mecânica das partículas de Latossolo, no município de Jardim do Mulato (PI).....	65
Figura 18 - Estratificação da vegetação na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	66
Figura 19 - Canais fluviais distintos com a denominação Mulato na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	67
Figura 20 - Mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	69
Figura 21 - Centro histórico de Amarante, Piauí.....	70
Figura 22 - Fábrica da Cachaça Lira no município de Amarante, Piauí.....	70
Figura 23 - Área antrópica agrícola na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	71
Figura 24 - Área de vegetação natural na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	71
Figura 25 - Corpos D' água da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	72
Figura 26 - Extração vegetal da lenha de eucalipto, no município de Regeneração, Piauí.....	75
Figura 27 - Mapa de fragilidade potencial da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	78
Figura 28 - Vertente exposta com pouca presença de vegetação arbórea e ausência da mata ciliar no entorno da Lagoa do Mulato, no município de Jardim do Mulato, Piauí.....	80
Figura 29 - Mapa de fragilidade emergente da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	81
Figura 30 - Sedimentos em suspensão no baixo curso do Rio Mulato, em Amarante, Piauí.....	83

#### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 01 - Classes de declividade.....	41
Quadro 02 - Classes de fragilidade das características pluviométricas.....	42
Quadro 03 - Tipos de solos e suas respectivas classes de fragilidade.....	43
Quadro 04 - Qualificação do Índice Kappa.....	45

Quadro 05 -	Classes de fragilidade para o uso e cobertura da terra.....	45
Quadro 06 -	Proposição de Ross (1994) para as classes de fragilidade....	47
Quadro 07 -	Correlação entre solos e vegetação encontrada na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	65
Quadro 08 -	Qualificação do Índice Kappa e de Acurácia Global.....	72

### LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Quantitativo das Formações Geológicas na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	50
Tabela 02 -	Classes de declividade na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	54
Tabela 03 -	Dados populacionais da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	68
Tabela 04 -	Quantitativo por classes de uso e cobertura, na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	73
Tabela 05 -	Produtos agrícolas e quantidade produzida (Cereais, Leguminosas e Oleaginosas/2007) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	73
Tabela 06 -	Produtos agrícolas e quantidade produzida (Lavoura Permanente/2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	73
Tabela 07 -	Produtos agrícolas e quantidade produzida (Lavoura Temporária/2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	74
Tabela 08 -	Efetivos do rebanho e quantidade produzida (2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	74
Tabela 09 -	Aquicultura e quantidade produzida (2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	74
Tabela 10 -	Extração vegetal e quantidade produzida (2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	75
Tabela 11 -	Fragilidade potencial da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	78

Tabela 12 -	Fragilidade emergente da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.....	82
-------------	--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>BHRM</b>	Bacia Hidrográfica do Rio Mulato
<b>CPRM</b>	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
<b>Dd</b>	Densidade de Drenagem
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamento Global
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IDW</b>	Inverso da Distância Ponderada
<b>INDE</b>	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
<b>MDE</b>	Modelo Digital de Elevação
<b>NE</b>	Nordeste
<b>NO</b>	Noroeste
<b>OLI</b>	Operational Land Imager
<b>SIG</b>	Sistema de Informação Geográfica
<b>SIRGAS</b>	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
<b>SE</b>	Sudeste
<b>SO</b>	Sudoeste
<b>SRTM</b>	Missão Topográfica Radar Shuttle
<b>USGS</b>	Serviço Geológico dos Estados Unidos
<b>UTM</b>	Universal Transversa de Mercator
<b>ZCIT</b>	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>1</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
1.1	ANÁLISE INTEGRADA NA GEOGRAFIA.....	20
1.2	A GEOMORFOLOGIA COMO INSTRUMENTO DE SÍNTESE E SUAS BASES FUNDAMENTAIS DE ANÁLISE.....	23
1.3	BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE E DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL.....	27
1.4	FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	30
1.5	GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	34
<b>2</b>	<b>MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MULATO, PIAUÍ.....</b>	<b>49</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	49
3.2	ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICOS.....	49
3.3	ASPECTOS HIDROCLIMÁTICOS.....	57
3.4	ASSOCIAÇÃO DE SOLOS E COBERTURA VEGETAL.....	64
<b>4</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA, SOCIOECONÔMICA E DE USO DA TERRA.....</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MULATO, ESTADO DO PIAUÍ.....</b>	<b>77</b>
5.1	FRAGILIDADE POTENCIAL.....	77



5.2	FRAGILIDADE EMERGENTE.....	80
5.3	CENÁRIO ATUAL: FRAGILIDADE AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL.....	84
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>87</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>90</b>

## INTRODUÇÃO

A humanidade, ao longo de seu processo histórico, encontrou na natureza as condições necessárias para o seu desenvolvimento. Assim, elaborou técnicas capazes de transformar os espaços naturais e extrair os recursos necessários para satisfazer suas necessidades (SANTOS, 2011).

Ao se apropriar do território e dos recursos naturais, a ação humana transforma rapidamente a paisagem natural, com muito mais intensidade que a ação da natureza, provocando alterações nos fluxos energéticos e gerando impactos no ambiente. Esses impactos podem atingir diferentes magnitudes de acordo com as características das áreas onde se processam as modificações e, assim, apresentar classes maiores de fragilidade em algumas porções do estrato geográfico (TROMBETA et al, 2014).

Nesse viés, é de fundamental importância que haja uma preocupação por parte dos planejadores, devendo-se atentar não apenas para as potencialidades dos recursos, mas também às fragilidades dos ambientes naturais face as diferentes inserções do homem na natureza (ROSS, 1994).

É necessário, ainda, que se faça um estudo integrado do ambiente, objetivando definir as áreas que requerem maior proteção ou que apresentem maiores restrições, quanto ao uso e ocupação, além daquelas que necessitam de ações diferenciadas para a gestão por parte dos órgãos públicos.

Nesta acepção, a pesquisa objetivou analisar a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí, na perspectiva do planejamento ambiental, onde puderam ser delineadas, de forma integrada, a fragilidade dos ambientais naturais e antropizados.

Cabe destacar que o conceito de fragilidade ambiental levou em consideração as intervenções que transformam os ambientes naturais. Contudo, este conceito é uma medida da sensibilidade intrínseca dos ecossistemas às pressões ambientais, associadas, ainda, a quaisquer ameaças que sejam capazes de perturbar o equilíbrio de um sistema (RATCLIFFE, 1971).

Diante do exposto, o estudo foi desenvolvido em torno dos seguintes questionamentos: I) Quais classes de fragilidade ambiental podem ser encontradas na bacia hidrográfica do Rio Mulato, quando associadas aos diversos tipos de usos e ocupação da terra? II) Existe correlação entre a classe de menor ou maior fragilidade frente aos usos estabelecidos pela ação antrópica?

A partir destes questionamentos, a pesquisa avaliou a seguinte hipótese: Ao

analisar de modo integrado a fragilidade potencial com as diferentes formas de uso da terra, haverá um aumento das classes de fragilidade ambiental na área em epígrafe.

Para alcançar o objetivo geral dessa pesquisa, delineou-se quatro objetivos específicos: I) Tecer uma caracterização ambiental a partir de suas variáveis físicas, possibilitando, assim, uma análise integrada do ambiente; II) Realizar o mapeamento do uso e cobertura das terras, mediante a utilização de imagens orbitais; III) Avaliar os indicadores socioeconômicos da bacia hidrográfica do Rio Mulato dando ênfase a produção agrícola, que interfere diretamente no uso da terra; V) Discutir a fragilidade ambiental da BHRM.

A concepção que norteia essa pesquisa se fundamenta na proposta metodológica operacionalizada por Ross (1994), em que a fragilidade ambiental é obtida pela integração de variáveis, no intuito de expressar elementos naturais da paisagem e de uso e cobertura da terra, associado às intervenções antrópicas.

A escolha da bacia hidrográfica do Rio Mulato, como recorte espacial e unidade de análise, parte da ideia de contribuir com os estudos integrados relativos à fragilidade do ambiente, no estado do Piauí, uma vez que sua identificação e compreensão proporcionam uma melhor definição das diretrizes a serem implantadas em um espaço físico-territorial.

Dessa forma, a pesquisa é motivada pela importância que o tema apresenta no sentido de fornecer informações objetivas e precisas enquanto instrumento que tende a delinear um quadro sinóptico das diferentes classes de fragilidade ambiental da área, tendo em vista as limitações impostas pelo quadro natural. Além disso, a carência de estudos no Estado que se reportem às sub-bacias do Rio Parnaíba, eixo principal da drenagem piauiense, também justifica essa pesquisa.

Ao partir da interpretação do ponto de vista da relação sociedade-natureza, suscita profundas preocupações no seio da sociedade e no campo científico, ao pensar uma organização que contribui significativamente não apenas com o equilíbrio, mas também com a estabilidade desse espaço natural. Daí a necessidade de analisar os aspectos socioambientais de maneira integrada, fornecendo uma percepção mais ampla do meio natural e de seus condicionantes, sobretudo através de suas conexões.

Como resultado, os estudos analíticos relativos à fragilidade do ambiente na

bacia hidrográfica do Rio Mulato (PI), foram expressos e espacializados através de mapas, de forma a sintetizar as informações geradas, tendo em vista as diferentes classes de fragilidade ambiental encontradas na área.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 ANÁLISE INTEGRADA NA GEOGRAFIA

A história da humanidade é marcada pela relação que a sociedade mantém com a natureza. Assim sendo, a necessidade de maior compreensão acerca das diversas formas de interação entre os componentes da natureza levou as ciências a importantes desenvolvimentos conceituais, teóricos e metodológicos, no intuito de melhor descrever o universo físico e ambiental, a fim de oferecer parâmetros científicos para a utilização adequada dos recursos naturais.

Foi nesse contexto que a Geografia passou por um processo de reestruturação teórico-metodológica e emergiu como um importante campo do conhecimento científico, cuja missão seria a de fornecer as bases para a compreensão integrada da dinâmica ambiental, considerando as interações socioeconômicas, e tendo por fundamento a abordagem sistêmica (MENDONÇA, 1989).

Do ponto de vista teórico-metodológico, a aplicação dos pressupostos da Teoria Geral dos Sistemas, aos estudos geográficos, serviu para melhor focalizar as pesquisas e para delinear com mais clareza o campo de ação desta ciência, além de revigorar muitos dos seus conceitos tradicionais (CHRISTOFOLETTI, 1990).

De posse desse instrumental teórico-metodológico, a geografia assume um papel preponderante frente a esta temática, ao caracterizar-se como uma ciência de integração, pois precisa incluir a ação e o papel das sociedades na análise dos aspectos físicos da natureza. Nesse momento, a ideia de paisagem integrada emerge como conceito-chave, em face do inter-relacionamento dos diversos componentes que a constituem (MARQUES NETO, 2008).

Christofoletti (1979) assinala que em meados do século XX, já eram notórios os estudos que se utilizavam de ideias e concepções pautadas numa abordagem sistêmica. Contudo, o autor destaca ter sido a partir da década de 60, do mencionado século, que o enfoque sistêmico foi amplamente difundido e utilizado.

A abordagem sistêmica oferece um conjunto sistemático de informações em perspectiva integrada, que norteia o desenvolvimento das investigações sobre a questão ambiental, cabendo à Geografia apontar as potencialidades e fragilidades do meio físico, cujas análises devem ser suficientemente abrangentes e capazes de avaliar as condições dos recursos naturais, sempre acentuando a importância de se considerar os aspectos socioeconômicos e de uso da terra.

É importante ressaltar a preocupação de Bertalanffy (1968) com a aplicação da

Teoria Geral do Sistema nas ciências humanas, examinando a aplicação da concepção sistêmica às perspectivas mais amplas, isto é, a própria humanidade em sua totalidade, pois, segundo ele, o problema da história humana avulta com a mais ampla aplicação possível da ideia de sistema.

Um sistema pode ser definido como o conjunto dos elementos e das relações entre eles e entre os seus atributos (CHRISTOFOLETTI, 1979). Segundo este autor, os sistemas funcionam executando processos, visando obter determinadas respostas. Dessa forma, dentro desse conceito, o sistema é um operador que, em um determinado lapso de tempo, se caracteriza pelos intensos fluxos de matéria e energia (ROSS, 2006), apresentando entrada (*input*) e saída (*output*), respectivamente.

A entrada é composta por aquilo que o sistema recebe, é o alimento do sistema. Por exemplo, um rio que recebe água da precipitação e sedimentos fornecidos pelas vertentes; a terra que recebe energia solar; um animal que recebe alimentação. Ou seja, cada sistema é alimentado por determinados tipos de entradas. Essas entradas que o sistema recebe, sofrem transformações em seu interior e, posteriormente, são enviadas para fora (VALE, 2012).

Nesta acepção, o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico que se tem para analisar os problemas ambientais, pois permite a adoção de uma atitude integrada entre a necessidade da análise, que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação, e a necessidade de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente (SOARES; AQUINO, 2012).

Assim sendo, a ciência geográfica tem um papel de destaque, uma vez que estuda o ambiente numa perspectiva de totalidade, ou seja, sistêmica, ao envolver as condições bióticas, abióticas e as transformações ensejadas pelas sociedades humanas (GUERASIMOV, 1980).

Nessa conjuntura, a Teoria Geral do Sistema, ou o próprio pensamento sistêmico, elaborado por cientistas ao longo do tempo, abriu caminho não apenas para mais uma teoria, mas para uma nova visão de mundo, cujos princípios são os da totalidade, da abrangência das partes, de uma visão holística. Uma visão que concebe a natureza de forma integrada, onde nada pode ser entendido separadamente, onde vários campos de estudos podem ser não unificados, mas complementados (VALE, 2012).

Foi a partir do emprego do modelo sistêmico que surgiu o método geossistêmico, metodologia científica específica para os trabalhos de geografia física,

ao se mostrar apta a oferecer subsídios valiosos ao planejamento dos sistemas ambientais, respondendo à necessidade de estudos que possam apontar diretrizes para o planejamento e ordenamento sustentável do espaço físico-territorial (CHRISTOFOLETTI, 1990).

Nesse viés, Sotchava (1977) propôs uma classificação baseada nos estudos sistêmicos, em que propõe a noção e o conceito de geossistema, baseado não apenas nos estudos dos componentes da natureza, mas também nas relações entre eles, utilizando os princípios da Teoria Geral dos Sistemas e a noção de paisagem integrada (MENDONÇA, 1989).

Sotchava (1977) definiu o geossistema como a expressão dos fenômenos naturais, cujos componentes socioeconômicos e culturais afetariam a sua estrutura e, portanto, são fatores que devem estar incluídos nas pesquisas dos geossistemas, tendo em vista que a natureza é um todo integrado.

Dessa forma, é imprescindível a análise das relações estabelecidas entre os processos geocológicos e sociais, na medida em que os efeitos desencadeados nos sistemas naturais, ensejados pelas intervenções das atividades socioeconômicas, afetam, sobremaneira, a estrutura e a dinâmica dos sistemas ambientais (SANTOS, 2011).

Souza (2000) assinala que o geossistema não apresenta necessariamente uma homogeneidade fisionômica, mas se caracteriza por possuir morfologia, funcionamento e comportamento específicos. Ross (1990) alerta para o fato de que essa 'homogeneidade' fisionômica, presente nos geossistemas, é expressa, principalmente, pelos elementos que se revelam concretamente às vistas humanas, ou seja, pelo intermédio do relevo, da vegetação e das diferentes formas de usos da terra que são praticadas no ambiente.

Entretanto, o fato do referido enfoque metodológico não preconiza a negação da importância dos estudos setorializados, mas enfatiza-se que é somente mediante análises setoriais que se pode chegar à síntese de organização dos componentes ambientais (SOUZA, et al., 2009).

Desse modo, fica evidente que existe uma relação funcional, portanto, sistêmica entre natureza e sociedade, pois, embora as relações sejam dialéticas (nas relações sociais) ela é parte de um conjunto maior (sistema), portanto, funcional (ROSS, 2009).

Tricart (1977), é outro importante nome nessa fase de renovação conceitual e

metodológica da Geografia, por meio da aplicação de uma metodologia de base sistêmica denominada Ecodinâmica. Pinheiro (2017, p. 83) destaca que “as unidades ecodinâmicas avaliam as condições de estabilidade/instabilidade dos geossistemas, ao focar as relações mútuas entre os diversos componentes ambientais, socioeconômicos, culturais” e, ainda, a dinâmica e os fluxos de energia e matéria que permeiam o ambiente.

Ao seguir os preceitos das Unidades Ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977), Ross (1994) propôs um método de análise empírica na determinação da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Este, sintetiza diferentes padrões de fragilidade em Unidades Ecodinâmicas Estáveis (Instabilidade Potencial) e Unidades Ecodinâmicas Instáveis (Instabilidade Emergente).

A primeira, são as que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se, portanto, em seu estado natural. A segunda foi definida como sendo aquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente o ambiente natural, através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas (ROSS, 1994).

Com base nesse princípio, os processos naturais e os processos socioeconômicos atuantes na bacia hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí, foram compreendidos na perspectiva sistêmica, para que fosse analisada a fragilidade ambiental da área, no intuito de compreender o funcionamento e a dinâmica da paisagem, como forma de construir cenários de utilização mais adequados, e que visem à sustentabilidade do desenvolvimento, conforme as clássicas orientações de Sotchava (1977), Tricart (1977), Souza (2000), entre outros.

## 1.2 A GEOMORFOLOGIA COMO INSTRUMENTO DE SÍNTESE E SUAS BASES FUNDAMENTAIS DE ANÁLISE

O estudo geomorfológico reveste-se de grande importância nas análises ambientais, pois procura mostrar a distribuição espacial dos conjuntos de forma que compõem cada compartimento estrutural-topográfico, suas origens e características evolutivas (LIMA, 1987).

Nesse sentido, o relevo é o grande palco de atuação das sociedades humanas. É nele onde se estabelece as bases físicas para o desenvolvimento das atividades produtivas e manifestações culturais (SANTOS, 2011). Embora numa rápida observação pareça ser um componente estático do meio, ele está em constante



processo de evolução, com velocidades variadas, interagindo a todo instante com os demais componentes da paisagem (TRENTIN et al., 2012).

As formas de relevo não são componentes independentes na paisagem e, conseqüentemente, a sua evolução também não é. Dessa forma, quando se pretende entender a evolução da forma de relevo de uma determinada área, sua compreensão passa, necessariamente, pelo entendimento de inter-relação com os demais componentes da paisagem (ROSS, 1992).

Assim, torna-se necessário considerar as características geológicas, climáticas, hidrológicas, pedológicas e biológicas, bem como a atuação antrópica, pois o homem também é um componente do meio e um agente modificador de extrema atuação (TRENTIN et al., 2012).

Contudo, os estudos não devem ser pautados numa perspectiva estática, muito menos na análise do relevo por si, mas deve considerar todos os elementos dos sistemas físicos ambientais (SOUZA, 2000), suas relações de dependência e suas funcionalidades, além de incluir as influências que as atividades humanas ocasionam nesse processo (SANTOS, 2011).

A análise geomorfológica consiste na identificação das formas de relevo por meio do estudo de sua origem, estrutura, natureza das rochas, clima e dos fatores endógenos e exógenos responsáveis pelo modelado ou pela formação de determinados elementos da superfície terrestre (PENTEADO-ORELHANA, 1985). A esse respeito, Ross (1995, p. 68) explica que “a Geomorfologia pelo seu papel integrador nas ciências da terra, é uma disciplina que muito atende aos interesses da Geografia e do planejamento territorial/ambiental”.

Nesse viés, a gênese, a dinâmica e o modelado das diferentes formas sobre a superfície terrestre ainda são alvos de grandes debates e teorias. Entender a evolução das paisagens e, conseqüentemente, as diferentes fragilidades ambientais, requer discutir e compreender um pouco mais sobre a história da Geomorfologia, como um objeto próprio de observação e estudo (PEREIRA NETO, 2013).

A avaliação global do desenvolvimento desta ciência, efetuada por Abreu (1982), consistiu em uma análise comparativa, ressaltando que a teoria geomorfológica parte de duas fontes principais, cada uma com seus seguidores, onde se percebem interferências de uma sobre a outra, e que evoluem paralelamente, convergindo na segunda metade do século XX, em busca de conceitos mais abrangentes. Esse quadro manifesta a intensão e a busca de uma linha evolutiva

epistemológica mais global, procurando entender o pensamento geomorfológico das duas correntes epistemológicas: uma de raízes norte-americanas, e a outra de raízes germânicas (IBGE, 2009).

A teoria, segundo Pereira Neto (2013), pode ser aqui entendida como o conjunto de conceitos e regras que condicionam todo o trabalho científico. Na ciência geomorfológica, entre as diferentes linhas teórico-metodológicas, ao longo de sua história, destacam-se: a Teoria do Ciclo Geográfico de Willian Morris Davis (1899); a Teoria da Pediplanação de Penck (1923) e Lester King (1953); a Teoria do Equilíbrio Dinâmico de J. Hack (1960) e Howard (1988); a Teoria de Bio-resistasia de Erhart (1956).

Cabe destacar que os trabalhos clássicos de Davis (1899) e Penck (1923), representam os dois pilares da Geomorfologia: o conceitual e o metodológico. Conforme a obra de Davis (1899), o relevo é decorrente da estrutura geológica, dos processos operantes e do tempo. Tal postura valoriza muito o aspecto histórico. A obra penckiana preocupava-se, essencialmente, com três elementos: os processos endogenéticos e exogenéticos, e os processos resultante de ambos, que correspondem às formações superficiais e às feições geomorfológicas (IBGE, 2009).

A proposta de Penck foi seguida por pesquisadores, como Mescerjakov (1968) e Guerassimov e Mescherikov (1968), que a utilizaram como base conceitual para análise de classificação do relevo, sugerindo os conceitos de morfotectura, morfoestrutura e morfoescultura (IBGE, 2009), fundamentados no resultado da interação das forças endógenas e exógenas, como um novo instrumento de análise geomorfológica.

Baseado nestes princípios, Mescerjakov (1968) conceitua a morfotectura como elemento de ordem superior mais importante do relevo, condicionado por forças tectônicas, segundo as interações com outros fatores de formação do relevo. As morfoestruturas correspondem aos elementos do relevo de ordem mediana, de aspecto complexo, sobre a superfície das morfotecturas e, as morfoesculturas, de ordem inferior, resultando das ações dos fatores exógenos. Posteriormente, acrescenta que a evolução das formas de relevo particularmente grandes, resulta da interação contraditória dos fatores endógenos e exógenos, e que os integrantes ativos dos fatores endógenos, são predominantes.

Nesse viés, dois grandes geomorfólogos foram precursores deste pensamento: Jean Tricart e Lester King. A produção científica de Tricart mostra com bastante

clareza as interações proporcionadas pelas forças internas e externas (IBGE, 2009).

Nos estudos de Geomorfologia Aplicada, Ross (2003) ressalta que essas investigações devem estabelecer a análise dos aspectos relacionados à compartimentação topográfica, caracterização dos padrões de formas e das vertentes e suas relações com o solo, o clima, as rochas e a vegetação; classificação das formas de relevo quanto à sua gênese, tamanho (morfometria) e dinâmica atual, além da classificação das formas de relevo, quanto a sua fragilidade potencial e emergente.

Desenvolve-se, então, uma nova abordagem e compreensão a respeito da relação homem-natureza, ressaltando o progresso socioeconômico e a interferência do homem sobre o ambiente natural, remetendo a uma concepção de tempo das análises e interfaces da Geomorfologia (IBGE, 2009).

Com essa orientação, o Projeto RADAMBRASIL, criado em 1971, elaborou os fundamentos para uma cartografia geomorfológica de caráter sistemático. Esta, ao dar suporte às análises geomorfológicas, constitui um dos mais importantes veículos de comunicação e análise dos resultados, obtidos nos estudos das formas e da compartimentação do relevo (CUNHA, MENDES; SANCHEZ, 2003).

Ao tratar da aplicabilidade do conhecimento geomorfológico para os estudos ambientais, Ross (2003) destaca que a cartografia geomorfológica deve mapear concretamente o que se vê, ou seja, deve mapear, em primeiro plano, as formas de diferentes tamanhos e, em segundo plano, a representação da morfometria, morfogênese e morfocronologia, que apresenta vínculo direto com a tipologia das formas.

Foi com base nessas premissas que Ross elaborou, em 1992, a proposta de classificação taxonômica do relevo, partindo, essencialmente, do aspecto fisionômico. Entretanto, deve-se frisar que este é reflexo de determinada influência de ordem genética e, ao mesmo tempo, indicador de uma determinada idade. Assim, é uma proposta que tem por base a gênese e a idade.

Cabe destacar que essa proposta é ancorada nos princípios definidos por Penck (1953) relativos aos processos endógenos e exógenos, nos conceitos de Guerasimov (1980) e Mescerjakov (1968) sobre morfoestrutura e morfoescultura e na experiência do projeto RADAMBRASIL (SANTOS, 2011).

Assim, Ross (1992) classifica o relevo em seis unidades taxonômicas, a saber:

→ Primeiro táxon (Unidades Morfoestruturais): ocorrem em escala regional e organizam os fatos geomorfológicos segundo o arcabouço geológico

marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas.

- Segundo táxon (Unidades Morfoesculturais): Correspondem ao modelado gerado através da ação dos fatores climáticos pretéritos e atuais (fatores exógenos), conferindo-lhes características genéticas comuns.
- Terceiro táxon (Unidades Morfológicas): corresponde aos padrões de tipos de relevo;
- Quarto táxon (Formas individualizadas): representa as formas de relevo individualizadas dentro de cada padrão de forma semelhante ou tipos de relevos.
- Quinto táxon (Tipos de vertentes): corresponde aos setores das vertentes inseridas no âmbito de cada uma das formas de relevo.
- Sexto táxon (Formas lineares ou areolares recentes): corresponde às formas menores produzidas pelos processos atuais, ou produzidos pelas atividades humanas.

Desse modo, fica evidente que o estudo das formas de relevo fornecem importantes subsídios à avaliação das potencialidades e fragilidades dos ambientes naturais, face às diferentes tipologias de usos, como se propõe no estudo em pauta.

### 1.3 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ANÁLISE E DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL

A bacia hidrográfica representa uma unidade de análise fundamental na Geografia, por se configurar um sistema. Sua utilização como recorte espacial básico para os estudos ambientais tem sido proposta de muitos autores, tendo em vista que as alterações decorrentes das interferências humanas sobre o ambiente refletem-se na bacia hidrográfica como um todo (IBGE, 2009).

Nesse viés, dentro da dinâmica dos sistemas naturais, a bacia hidrográfica revela-se como uma excelente área para os estudos voltados ao planejamento territorial/ambiental (GUERRA; CUNHA, 2006), pois demonstra o seu potencial enquanto unidade de análise e entidade territorial integrada, a qual a torna um objeto de estudo de suma importância na aplicabilidade da ciência geográfica, sobretudo no contexto atual (LEITE; ROSA, 2009).

Dessa forma, o estudo da bacia hidrográfica visa sistematizar os conhecimentos sobre a natureza e sua estrutura, os elementos que a compõe, a maneira pela qual uns influenciam os demais, o papel de cada um deles na dinâmica

geral da unidade ambiental e como o homem os modifica, criando novas estruturas morfo-ambientais na organização espacial do território (SOUZA, 2013).

A bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é definida como a área drenada por um rio e seu sistema fluvial, classificada, segundo o critério funcional, como um sistema não isolado, aberto, de estrutura morfológica, bem definida e passível de medições das variáveis que a compõe, onde é possível verificar a entrada (*input*) e saída (*output*) de energia que a mobiliza, através de seus elementos e relações, revelando, assim, o seu caráter integrador (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Logo, ela é um meio capaz de reunir um grande e variado conjunto ambiental, que interage de maneira intensa e imediata em toda a sua extensão, provocando transformações nas estruturas morfológicas, climáticas, biogeográficas, pedológicas e geológicas circunscritas em seu interior (SOUZA, 2013).

Do ponto de vista natural, a análise das bacias hidrográficas deve ter início com a escolha de parâmetros capazes de compor um quadro significativo do comportamento físico deste sistema, pois possibilitam gerar informações passíveis de utilização, como é o caso das análises morfométricas. Destacam-se aqueles voltados às análises hidrológicas e geomorfológicas, cuja apreciação permite o reconhecimento da espacialidade do sistema quanto às características da área e da rede de drenagem (IBGE, 2009).

Nesta acepção, atenta-se ligeiramente para a incorporação dos principais parâmetros morfométricos aplicados à BHRM, segundo as proposições de Villela e Matos (1975) e Christofolletti (1969; 1980), os quais podem servir como importantes subsídios ao entendimento da dinâmica natural desse sistema. Entre estes, destacam-se: tipos de canais fluviais, sendo a sinuosidade o principal parâmetro; padrões de drenagem; hierarquia fluvial e; densidade de drenagem.

Ressalta-se que a análise da drenagem direcionada ao mapeamento geomorfológico é orientada, sobretudo, pelas propriedades relacionadas às características físicas da área, uma vez que os conjuntos das formas de relevo fisionomicamente semelhantes (3º táxon) são organizados e conectados a partir da rede de drenagem (IBGE, 2009).

Neste sentido, as avaliações acerca do quadro físico da bacia hidrográfica realçam as relações das complexas interações e interdependência entre os componentes que a compõem, contribuindo, assim, para o entendimento dinâmico e integrado da bacia hidrográfica enquanto sistema aberto (MAMEDE, 2000).

A partir desses conhecimentos preliminares é que podem ser realizadas as análises geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climatológicas e as referentes à vegetação e ao uso da terra, no intuito de conhecer o comportamento e as relações de interdependência do meio natural, no âmbito dessa unidade ambiental.

A abordagem integrada em bacias hidrográficas, portanto, não deve se restringir somente aos aspectos físicos relativo à dinâmica natural, mas considerar, além destes, o econômico e o social (IBGE, 2009), uma vez que o homem tem uma grande influência na determinação da dinâmica física dos meios naturais em que estão inseridos e que é necessário, por parte dos pesquisadores, somar este aspecto à compreensão dos mecanismos regentes da natureza.

Assim, a presente pesquisa considera, também, a importância ecológica, as fragilidades e as limitações no tocante ao uso da terra e a compatibilidade das atividades com as características geoecológicas da área estudada. Nesta perspectiva, há um direcionamento de esforços no sentido de compatibilizar a utilização dos recursos naturais às necessidades humanas.

Por conseguinte, o planejamento ambiental aparece de forma a estabelecer a organização funcional e espacial dos sistemas naturais, em dependência de suas características, devendo, este conceito, estar associado aos estudos integrados, sistêmicos e holísticos.

Assim sendo, o estudo da bacia hidrográfica como unidade geoambiental integrada e como unidade básica de planejamento territorial e ambiental, se mostra como variável-chave no contexto do quadro natural, cuja análise deve levar à compreensão de seus componentes, sob um ponto de vista integrativo, ao considerar uma infinidade de elementos que, em conjunto, podem explicar sua dinamicidade e como a mesma reflete, inclusive, no uso ao qual está submetida.

Nesse viés, ao tomar a bacia hidrográfica como modelo ou ponto de partida, considerada de extrema importância ao planejamento ambiental, ressalta-se a importância de compreendê-la face à sua dinamicidade, no intuito de proporcionar uma melhor definição das diretrizes a serem implantadas nesse espaço físico-territorial.

Com o objetivo de corroborar a importância de se utilizar a bacia hidrográfica como modelo de estudo para o planejamento ambiental, a partir de uma perspectiva sistêmica, traz-se um levantamento referencial preliminar de estudos realizados no Brasil acerca das análises integradas em bacias hidrográficas.

Carmo e Silva (2010) realizaram uma discussão conceitual quanto à importância da bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão ambiental, trabalhando na perspectiva da integração das variáveis físico-naturais e socioeconômicas.

Leite (2011) propôs um Zoneamento Ambiental Integrado de bacia hidrográfica, sob a ótica da paisagem, adotando como área de estudo a bacia hidrográfica do Rio Formiga no estado do Tocantins, onde abrange áreas de cerca de quatro municípios. Traz ainda para o debate uma possibilidade metodológica da aplicação das atuais geotecnologias e a adoção da bacia hidrográfica como célula de análise.

Souza (2013), partindo da compartimentação geomorfológica e pautado no método geossistêmico, identificou os geossistemas e os geofáceis na bacia hidrográfica do Rio São Miguel, localizada no estado de Alagoas, tendo como objetivo a aplicação dessa metodologia integrada ao planejamento ambiental e no reconhecimento das transformações ambientais dessa bacia, lançando mão, ainda, da cartografia do relevo, a partir do uso dos Sistemas de Informação Geográfica.

Carvalho (2014), como estudo de caso, buscou verificar se as bacias hidrográficas brasileiras vêm adotando um modelo de planejamento integrado, pautada em suas relações sistêmicas, ao adotar dois instrumentos (Plano de Recursos Hídricos e o Zoneamento Ecológico-Econômico) que visam o ordenamento territorial, sendo estes empregados no planejamento de bacias hidrográficas.

Romano (2016), pelo viés sistêmico, realizou um levantamento geoambiental na bacia do Riacho Jucurutu/Raposa em São João do Tigre (PB), na perspectiva de analisar a fragilidade ambiental no referido setor espacial em análise, utilizando o método de Ross (1994), a fim de subsidiar ações que envolvam plano de manejo e gestão do território.

Pinheiro (2017) ao tomar como base o modelo de fragilidade de Ross (1994;2009), Spörl e Ross (2004) e nas adaptações de Spörl (2007), definiu a fragilidade ambiental no município de Aracoiaba, localizado no estado do Ceará, ao fazer uso de integração de variáveis, utilizando a abordagem da lógica *Fuzzy* e o método *Analyt Hierarchy Process* (AHP), subsidiando futuro planejamento territorial com enfoque ambiental.

#### 1.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL

A análise da fragilidade do ambiente é uma proposta de classificação voltada

ao planejamento ambiental, cujo princípio básico é definir os diferentes níveis de fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, em função do desenvolvimento das atividades humanas, já que estes são maiores ou menores face às suas características genéticas (ROSS, 1994).

Para fins de entendimento, muitas vezes, os termos vulnerabilidade, fragilidade e suscetibilidade são trabalhados como sinônimos. Dessa maneira, é de fundamental importância conceituar cada tema de forma individualizada frente às diversas abordagens.

Para Costa et al. (2006), a vulnerabilidade ambiental está associada ao conjunto integrado de fatores ambientais que diante de atividades humanas, ocorrentes ou que venham a se manifestar, poderá sofrer alterações, afetando, total ou parcialmente, a estabilidade ecológica de um local.

Na acepção de Santos e Vitte (1998), o termo fragilidade ambiental está ligado às causas dos desequilíbrios ambientais, que podem ter origens diversas, mas que frequentemente relacionam-se com ações de interação entre os fatores bióticos e abióticos.

Pereira e Silva (2005) mencionam que a suscetibilidade expressa à fragilidade de uma região aos processos morfodinâmicos, enquanto a vulnerabilidade exprime o grau de risco dos sistemas ambientais às atividades antrópicas.

No entanto, para atingir os fins propostos, a presente pesquisa encontra-se respaldada no conceito de fragilidade ambiental, levando em consideração as intervenções antrópicas que transformam o ambiente, dada a importância da caracterização do ponto de vista da fragilidade ambiental ao apresentar algumas possibilidades de utilização sustentável da mesma.

Assim sendo, a fragilidade ambiental consiste no maior ou menor estágio de estabilidade e instabilidade dos elementos físicos e biológicos, frente ao processo de uso e ocupação do espaço geográfico.

Sabe-se que as intervenções humanas afetam sobremaneira a estabilidade do ambiente e, a depender da forma de como esse ambiente será utilizado, a capacidade de suporte da área passa a sofrer danos irreversíveis (CRISPIM, 2011). Com isso, surge para a ciência o desafio da prevenção e mitigação (CHRISTOFOLETTI, 2001), ao acentuar que cada sistema apresenta características dinâmicas próprias (FIERZ, 2008).

No entanto, para atingir esses objetivos, pesquisadores de diversas partes do



mundo desenvolveram metodologias com o intuito de avaliar a fragilidade dos ambientes frente a diversos fatores (KAWAKUBO et al, 2005). Destarte, a ecodinâmica das paisagens é uma abordagem metodológica cujo intuito primordial é fazer uma Geografia Física cooperada com a Ecologia, e que desta aproximação, é possível estabelecer os diferentes níveis de estabilidade do ambiente (TRICART, 1977), considerando a integração das variáveis.

Para Santos (2011), as investigações que se utilizam de uma abordagem ancorada na ecodinâmica, devem ter como objetivo precípua a hierarquização dos ambientes, considerando sua dinâmica, para que as intervenções da sociedade sejam bem realizadas, de forma a perceber as potencialidades e as limitações dos recursos ambientais, em razão dos riscos possíveis e da degradação ambiental.

Logo, o mapa de fragilidade ambiental constitui uma das ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento ambiental, subsidiando ações de ordenamento do território, e indicando as áreas mais favoráveis e menos favoráveis a sua ocupação (KAWAKUBO et al., 2005), já que as classes de fragilidade levam em consideração a exploração dos recursos naturais e as diferentes formas de uso da terra, compartilhando dos conceitos e princípios da ecodinâmica (ROSS, 1994).

Sobre a concepção de unidades ecodinâmicas, Ross (1994, p. 65) enfatiza que:

Dentro desta concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da teoria dos Sistemas que parte do pressuposto de que na natureza as trocas de matéria e energia se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Este equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estágios de desequilíbrios temporários ou até permanentes.

A esse respeito, Ross (1994) ampliou o uso desse conceito, estabelecendo as Unidades Ecodinâmicas Instáveis (Instabilidade Emergente) e Unidades Ecodinâmicas Estáveis (Instabilidade Potencial). Essa redefinição é fruto do atendimento às necessidades decorrentes dos projetos de planejamento, que envolvem, também, as bacias hidrográficas enquanto instrumento de análise e de gestão, sobretudo, em função do seu caráter integrador (ROSS et al., 2008).

Devido ao aprimoramento conceitual com relação às definições das Unidades Ecodinâmicas, muitos trabalhos realizados no Brasil trazem análises acerca da fragilidade ambiental, tendo como recorte espacial, as bacias hidrográficas. Nessa perspectiva, são sumariados abaixo trabalhos que se utilizam dessa abordagem

metodológica:

Spörl e Ross (2004) apresentaram uma comparação de três modelos metodológicos aplicados aos estudos da fragilidade ambiental na divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, abrangendo terras dos municípios de São João da Boa Vista (SP), Águas da Prata (SP) e Poços de Caldas (MG). Dos três modelos metodológicos aplicados, dois foram propostos por Ross (1994), um com apoio nos Índices de Dissecação do Relevo, e o outro nas Classes de Declividade, sendo que o terceiro modelo foi proposto por Crepani et al. (1996), baseado nas Unidades Territoriais Básicas - UTB. A aplicação destes modelos resultou na confecção de três mapeamentos diferenciados de fragilidade, os quais foram analisados e comparados entre si, servindo como subsídio ao planejamento estratégico ambiental.

Silveira e Oka-Fiori (2007), mesclando o método das unidades ecodinâmicas de Tricart (1977) e a análise empírica da fragilidade ambiental apresentado por Ross (1994), estudaram as classes de fragilidade potencial e emergente na bacia hidrográfica do Rio Cubatãozinho (PR), a partir dos dados referentes ao uso da terra, mediante o mapeamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica.

Tamanini (2008), pautada na metodologia de Ross (1994) empreendeu um diagnóstico físico-ambiental no baixo curso da bacia do Rio Passaúna (PR), relacionando as diferentes formas de ocupação e as consequências para o meio ambiente, determinando, assim, a fragilidade potencial e emergente do respectivo rio através do uso de geotecnologias.

Gonçalves et al. (2009) buscaram a caracterização empírica da fragilidade ambiental na bacia do Rio Dourados (MG), apresentado por Ross (1994), fornecendo subsídios que norteiam as possibilidades de uso da terra, através da identificação de áreas com acentuados níveis de fragilidade, propiciando ações que visem o uso racional dessas áreas.

Santos et al. (2010) visando mostrar, em termos de intensidade e de distribuição espacial, a susceptibilidade do meio físico, considerando-se os fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos, e as suas respostas às pressões antrópicas, determinaram e mapearam a fragilidade ambiental na área do município de Tamboara (PR), com a aplicação de duas metodologias propostas por Ross (1994). Uma das metodologias resulta na fragilidade ambiental por meio da dissecação do relevo, e a outra na fragilidade ambiental com base nas classes de declividades.

Cabral et al. (2011) caracterizaram e avaliaram a fragilidade ambiental da área

da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), inserida na Região Centro-Oeste do Brasil, utilizando-se o método proposto por Ross (1994).

Franco, Hernandez e Lima (2013) realizaram o mapeamento da fragilidade ambiental do fluxo na bacia hidrográfica do Coqueiro (SP), utilizando o método proposto por Ross (1994), sobre a análise empírica da fragilidade de ambientes naturais e antropizados, como suporte a tomada de decisão.

Trombeta et al. (2014) elaboraram o mapeamento da Fragilidade Potencial e Emergente do relevo de acordo com a proposta metodológica de Ross (1990; 1994) a fim de identificar áreas que, em função de seus atributos naturais, apresentam maior ou menor fragilidade face às pressões antrópicas exercidas pelos diferentes usos e ocupações das terras.

Pires et al. (2015) avaliaram os diferentes graus de fragilidade ambiental do município de Aquidauana (MS), com o uso das geotecnologias, seguindo duas propostas: a Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais elaborada por Ross (1994) e a metodologia proposta por Crepani et al. (2001).

## 1.5 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL

A incorporação do Processamento Digital de Imagens na análise ambiental é uma clara tendência nas geociências e representa a maneira mais eficiente e completa de executar pesquisas e levantamentos temáticos (IBGE, 2009). Além da significativa contribuição às atividades ligadas à área de mapeamento, as geotecnologias também oferecem inúmeras vantagens aos estudos que exigem uma maior interpretação e representação dos fenômenos que atingem o espaço geográfico (ROSA, 2005).

Nesse viés, os Sistemas de Informações Geográficas são instrumentos técnicos utilizados pela Geografia que permitem mapear o espaço geográfico e de como este é construído, organizado e estruturado, traduzindo na preocupação do profissional da Geografia, enquanto pesquisador, a inesgotável busca do conhecimento pelo estudo da realidade verificada (FITZ, 2008).

Nessa perspectiva, Albuquerque (2012, p. 34) afirma que:

As geotecnologias apresentam-se como uma ferramenta que se mostra exitosa no desenvolvimento de ações que visam melhorar e adequar a gestão das análises sociais e ambientais, como também no desenvolvimento científico para o conhecimento da realidade, mesmo

diante das mais diversas complexidades.

Desta maneira, pode-se inferir que as técnicas de análise espacial, introduzidas com o surgimento do geoprocessamento, foram desenvolvidas no sentido de facilitar a tarefa de integração e espacialização dos dados, especialmente, quando eles têm diferentes origens, tipos e formatos.

Além de reduzir a subjetividade nos procedimentos de análise e aperfeiçoar a integração das informações do meio natural, possibilitam a realização de uma análise qualitativa e quantitativa da paisagem (AQUINO; VALLADARES, 2013), oferecendo parâmetros tão mais precisos na construção dos modelos, que hoje são imprescindíveis no controle e na prevenção dos desastres naturais e nas análises ambientais (IBGE, 2009).

Com base nesses pressupostos, Pinheiro (2017) destaca que o geoprocessamento se mostra uma alternativa viável e confiável no tocante à automatização de procedimentos técnicos e operacionais, bem como de metodologias para aquisição e monitoramento ambiental, uma vez que, na natureza e na sociedade, nada se encontra dissociado, mas em dinâmica conjunta.

Nesse aspecto, os Sistemas de Informações Geográficas constituem-se em uma ferramenta primordial nesse processo, ao proporcionar a concatenação de vários planos de informação, como é o caso das análises que se configuram a fragilidade dos ambientes, uma vez que essas informações adquiridas por meio das geotecnologias são instrumentos de grande importância para um planejamento do uso racional dos recursos naturais.

É importante frisar que as geotecnologias, por meio das técnicas de geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, podem auxiliar no planejamento e no controle ambiental, onde decisões estratégicas exigem uma grande quantidade de informações que podem ser analisadas com o uso destas ferramentas (SOARES; MEDEIROS; ALBUQUERQUE, 2014).

Dentro desta perspectiva, destaca-se que os dados de Sensoriamento Remoto quando combinados com outras variáveis organizadas dentro de um Sistema de Informação Geográfica, tem o seu potencial de análise expandido, em consequência dessa integração (IBGE, 2009).

No cerne da ciência geográfica, com o emprego de geotecnologias (SIG e Sensoriamento Remoto), associado ao denso embasamento teórico, metodológico e

técnico, aliado a uma postura crítica diante da realidade, faz das geotecnologias instrumentos indispensáveis às atividades relacionadas ao planejamento, à gestão territorial, ao monitoramento e ao manejo ambiental (AQUINO; VALLADARES, 2013).

Assim sendo, o uso das geotecnologias tem contribuído de forma relevante na realização de trabalhos acadêmicos na contemporaneidade, tendo em vista o melhoramento das informações e atribuições que cada um destes recursos oferece, proporcionando, assim, uma análise ampla e concisa da área estudada.

Contudo, a título ilustrativo, são apontados alguns trabalhos realizados no campo da Geografia, que tratam do emprego das geotecnologias aplicadas às questões ambientais, tais como: Lima, Cestaro e Araújo (2010), Medeiros et al. (2012), Aquino e Valladares (2013), Medeiros e Souza (2015), Albuquerque (2015), Santos (2015), entre outros.

## 2 MATERIAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A escolha de uma metodologia além de constituir parte primordial para garantir confiabilidade numa pesquisa científica, deve atender aos seus objetivos propostos. Logo, esta pesquisa necessitou de uma abordagem que permitisse a integração dos componentes ambientais e sociais presentes na paisagem.

Dessa forma, a mesma encontra-se fundamentada em conceitos que norteiam a ciência geográfica pelo viés sistêmico, pautada em autores como Sotchava (1977), Tricart (1977), Ross (1994), Souza (2000), entre outros, possibilitando, assim, o estudo ambiental integrado e a compreensão da relação existente entre natureza e sociedade.

Esta abordagem, considerada instrumento de aplicabilidade da Teoria Geral dos Sistemas, preconizado por Tricart (1977) na Geografia, é outro viés abordado na pesquisa, ao determinar as condições de estabilidade e instabilidade do ambiente, a partir do dinamismo configurado na paisagem.

Para a criação da base de dados, primeiramente, realizou-se a delimitação da área da Bacia Hidrográfica do Rio Mulato, por meio de cotas altimétricas, utilizando como base as curvas de nível com equidistância de 30 metros, no sentido de vetorizar/digitalizar as principais informações da bacia hidrográfica e de seus limites topográficos. Os dados foram obtidos junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), a partir da aquisição das imagens MDE (Modelo Digital de Elevação), da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Em seguida, a pesquisa consistiu na aquisição de dados físico-ambientais para que fosse procedida à caracterização dos componentes ambientais (geologia, geomorfologia, recursos hídricos, solos, vegetação). Esta etapa, inicialmente, partiu de uma análise setorizada para, posteriormente, partir para uma visão integrada.

Destarte, o levantamento das informações referentes à caracterização dos componentes ambientais e socioeconômicos foram obtidos junto à órgãos renomados, sendo estes cruciais para a compreensão da realidade da bacia hidrográfica do Rio Mulato (PI).

Face a complexidade dos procedimentos relativos a cada etapa/produto, seguem abaixo a descrição mais detalhada dos dados geocartográficos utilizados nessa pesquisa:

- Delimitação da drenagem superficial: seguiu a modelagem hidrológica a partir do Modelo Digital de Elevação e da compilação de dados já existente

na área, além da interpretação visual de imagens de satélite, com auxílio de relevo sombreado. Na sequência, foi gerado um *raster* de direção de fluxo do escoamento hídrico, seguido pela vetorização da drenagem.

- Mapeamento geológico: dados obtidos junto à Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM, 2010);
- Mapeamento geomorfológico: Projeto RADAMBRASIL (INDE, 1973) – Folha SB-23 Teresina e Folha SB-24 Jaguaribe, e o uso de imagens de satélite do sensor *Operational Land Imager* – OLI do satélite *Landsat 8* e modelos digital de elevação.

Para atender a este objetivo, levou-se em conta uma variedade de técnicas que congregam as atividades de gabinete e de campo. Na etapa de estudo preliminar foram consultados e analisados todos os documentos técnicos disponíveis com condições de fornecer uma gama variada de informações que contribuíram para a melhor obtenção dos resultados. Esta fase compreendeu: levantamento da bibliografia geral e específica; seleção e consulta de mapas, quanto às características físico-naturais, para conhecimento geral da área; e preparação de imagens selecionadas através de técnica de processamento digital de imagens.

A interpretação temática compreendeu a análise da drenagem, para tornar a interpretação exequível com alto grau de confiabilidade. Desta forma, a interpretação geomorfológica teve como ponto de partida a análise das propriedades da drenagem, através dos seguintes parâmetros, a saber: I) Sinuosidade; II) Padrões de drenagem, para a identificação da textura; III) Hierarquia fluvial, baseada no método de ordenamento dos canais de Strahler (1952) e; IV) Densidade de drenagem.

Christofolletti (1980) cita que a hierarquia fluvial consiste no processo de classificação de curso d'água no conjunto total da bacia hidrográfica. Isso é realizado com a função de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) sobre as bacias hidrográficas. Quanto maior a participação percentual de canais de primeira ordem, maior é a fragilidade da paisagem, pois os mesmos indicam maior dissecação do relevo, que pode ser provocada por controle estrutural. A Densidade de Drenagem é um importante parâmetro na classificação do relevo por diferenciar os modelos em função do seu nível de dissecação. Este é representado pela relação entre o comprimento total dos canais fluviais e a área total da bacia, expressa pela equação:  $Dd = C/A$ .

Assim, a interpretação visual explorou, fundamentalmente, aspectos como os

padrões de drenagem e a textura da superfície para o reconhecimento do relevo, uma vez que o arranjo geométrico da drenagem e dos interflúvios dita o padrão predominante de um modelado que, por sua vez, exibe determinada textura na imagem. Uma vez detectadas as diferenças texturais, conjugadas ao arranjo geométrico da drenagem, é possível traçar polígonos, em função dos processos atuantes, com o objetivo de individualizá-los para a classificação dos modelados (IBGE, 2009). A partir desse conhecimento prévio, obtém-se uma primeira aproximação da compartimentação do relevo.

Quanto à classificação taxonômica do relevo, foi adotada a proposta metodológica de Ross (1992), por se apoiar na fisionomia das formas (aspecto fisionômico), que tem por base sua gênese e idade.

Para a individualização desse conjunto de feições, foram considerados fatores causais de natureza estrutural, litológica, pedológica, climática e morfodinâmica, sendo estes responsáveis pela evolução das formas e pela composição da paisagem no decorrer do tempo geológico.

Os trabalhos de campo também constituíram base primordial nesse processo, possibilitando, assim, o reconhecimento da realidade terrestre e a confirmação das informações geradas em gabinete. Tais procedimentos técnico-operacionais além de fornecer informações precisas para a análise, complementam as informações que foram obtidas em laboratório.

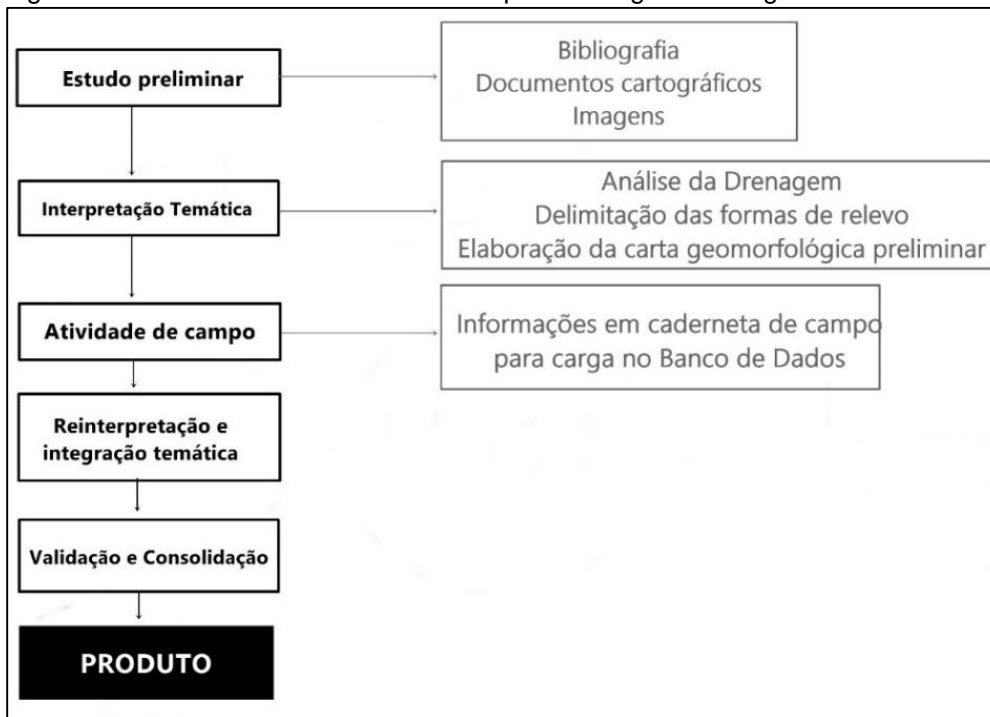
Na etapa seguinte ao trabalho de campo, os dados adquiridos com a utilização do GPS (Garmin 76CSx), bem como as fotografias, foram organizados e digitalizados para compor o armazenamento no banco de dados, pois estes constituíram importantes subsídios na elaboração da síntese temática da área em estudo.

Na sequência, a reinterpretação assume grande importância dentro dos procedimentos adotados, pois é a fase que se incorporam as alterações e atualizações de campo e se processa toda a revisão do mapeamento geomorfológico e da integração com as variáveis a ela contígua. A cartografia se deu com o uso de imagens de satélite, tendo sido executado na escala média de 1:100.000.

A etapa de validação e consolidação consiste na verificação da consistência dos dados, podendo ser gerado, assim, o mapa geomorfológico final. A figura 01 representa as principais atividades deste mapeamento. De acordo com o princípio básico de organização taxonômica de Ross (1992), este mapeamento alcançou a quarta ordem de grandeza, de acordo com a estrutura da figura 02.

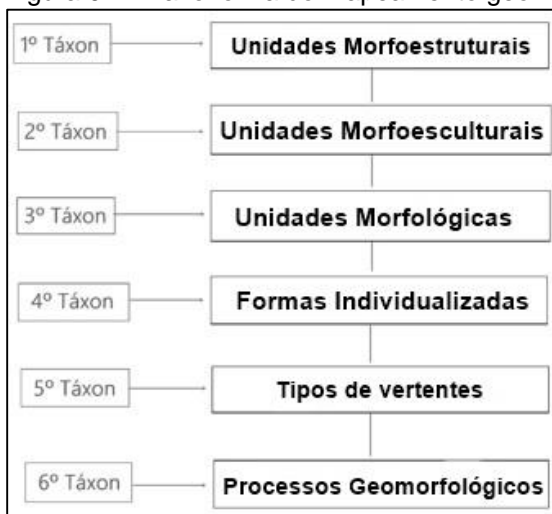


Figura 01 – Procedimentos básicos do mapeamento geomorfológico



Fonte: IBGE (2009). Adaptado por Ribeiro (2018).fv

Figura 02 – Taxonomia do mapeamento geomorfológico de acordo com Ross (1992)



Fonte: IBGE (2009). Adaptado por Ribeiro (2018).

→ Mapa Hipsométrico e clinográfico: dados obtidos junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2018), a partir da aquisição dos dados MDE (Modelo Digital de Elevação), da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), utilizando técnicas de geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

Destaca-se que a declividade representa a variação dos gradientes do terreno em intervalos previamente estabelecidos segundo sua finalidade, sendo útil na

caracterização e delimitação das unidades geomorfológicas, já o mapa hipsométrico importante para percepção e definição dos níveis altimétricos embutidos.

A declividade do terreno é expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa (TONELLO et al., 2006). Logo, a inclinação da feição superficial do terreno em relação ao plano horizontal, pode ser medida em graus (0 a 90°) ou em porcentagem, apresentando grande influência no favorecimento ou não da erosão de solos. Neste estudo, fez-se uso da medida em porcentagem.

Desta forma, as classes de declividade seguiu a proposta de Ross (1994), conforme apresentado no quadro 01.

Quadro 01 - Classes de declividade

Relevo	Classes (%)	Categorias hierárquicas	Classes de Fragilidade
Plano	0 - 6	Muita fraca	1
Suave Plano	6 - 12	Fraca	2
Suave Ondulado	12 - 20	Média	3
Ondulado	20 - 30	Forte	4
Forte Ondulado	> 30	Muito forte	5

Fonte: Ross (1994). Adaptado por Ribeiro (2018).

A melhor compreensão do algoritmo utilizado para extrair a declividade da imagem matricial, considera a triangulação composta pela altura, base e declividade, podendo ser expressos, em aplicação prática, pela seguinte equação:

$$D = \left(\frac{h}{b}\right) * 100 \quad (1)$$

Onde:

D: Declividade do terreno.

h: Altura entre dois pontos BC (equidistância vertical).

b: Distância horizontal entre dois pontos AC.

Atenta-se para o fato de que o cálculo da declividade em plataforma SIG é realizado com base nos valores altimétricos dos pixels adjacentes e segue o princípio da equação de declividade encontrada em Dunn e Hickey (1998). Após esta etapa, a informação de declividade foi reclassificada, o que permitiu delimitar os intervalos de classes de declividade, conforme a proposição de Ross (1994).

→ Dados pluviométricos: fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA, 1992); Com base na pluviometria média (mensal e anual) foi possível obter

dados pluviométricos a partir de cinco postos que se encontram no interior e nas proximidades da área da bacia, seguindo uma escala temporal de onze anos (1992 a 2002).

Para a espacialização dos dados climáticos, realizou-se a conversão das linhas de isoietas em pontos, por meio da ferramenta *Arctoolbox – Data Management Tools – Features – Features To Point*. Assim, por meio dos pontos de referência pluviométrica, foi possível realizar a espacialização através do método *Inverse Distance Weighted – IDW (Arctoolbox – spatial Analyst Tools – Interpolation – IDW)*.

A respeito dessa variável (regime pluviométrico), é importante mencionar que esta, mesmo não incluída na metodologia original aplicada por Ross (1994), foi incluída por Spörl (2007) e validada por Ross em estudos posteriores. Neste sentido, seguem as características pluviométricas para compreender as classes de fragilidade (quadro 02).

Quadro 02 - Classes de fragilidade das características pluviométricas

Classes de fragilidade		Pluviometria
Numérica	Qualitativa	
1	Muito baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes não muito superiores a 1000 mm/ano.
2	Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano.
3	Média	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses de inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.
4	Alta	Situação pluviométrica com 90% das chuvas durante o primeiro semestre do ano, nos meses de janeiro a abril, e irregularidade das precipitações, em decorrência da má distribuição das chuvas, nos meses que se seguem.
5	Muito Alta	Situação pluviométrica com distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semiárido).

Fonte: Leandro (2013); Spörl (2007).

→ Mapa de solos: dados obtidos junto à Infraestrutura de Dados Espaciais (INDE, 2014), seguindo as diretrizes propostas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013);

No intuito de estimar as classes de fragilidade dos mesmos, aplicou-se a

proposta metodológica de Ross (1994), conforme é retratado no quadro 03.

Quadro 03 - Tipos de Solos e suas respectivas classes de fragilidade

Classes de fragilidade		Tipos de Solos
Numérica	Qualitativa	
1	Muito baixa	Latossolo vermelho e Latossolo vermelho-amarelo de textura argilosa
2	Baixa	Latossolo amarelo e vermelho-amarelo de textura média/argilosa
3	Média	Chernossolos; Argissolo vermelho; Argissolo vermelho-amarelo de textura média/argilosa;
4	Alta	Argissolo vermelho-amarelo de textura média/arenosa
5	Muito Alta	Argissolo com cascalho; Neossolo Litólico

Fonte: Ross (1994). Adaptado por Ribeiro (2018).

- Mapa de uso e cobertura da terra: dados obtidos junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) a partir do uso de imagens do satélite *Landsat 8* do sensor *Operational Land Imager – OLI*, órbita 219/64, cenas 4, 5, 6 e 8 datadas de 28 de setembro de 2017.

O mapa de uso e cobertura da terra foi elaborado a partir da classificação das imagens do *Landsat 8*, sendo que este mapeamento foi realizado por quatro etapas principais, a saber: I) Pré-processamento; II) Realce; III) Classificação; e IV) Exatidão da classificação.

No processo de classificação, foi utilizada a Classificação Supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança (pixel a pixel). Nesta, primeiramente, há a criação das assinaturas de cada amostra, por meio da caixa de ferramentas *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Multivariate – Create Signatures*. Posteriormente, empregou-se o algoritmo de classificação denominado *Maximum Likelihood Classification*.

Após esta etapa, converteu-se a informação classificada para um formato vetorial, já que a informação original encontra-se em formato *raster*. Este processo se deu através da caixa de ferramentas *Arctoolbox – Conversion Tools – From raster – Raster to Polygon*. Na sequência, utilizou-se a caixa de ferramentas *Analyses Tools – Overlay – Intersect*. Com o uso desse algoritmo obteve-se a correlação das informações entre os pontos classificados (suas classes) com os pontos do espaço amostral (70 pontos). Ressalta-se que para cada classe de uso e cobertura da terra foram obtidas coordenadas georreferenciadas *in loco*, com o uso de um aparelho GPS, as quais foram superpostas ao mapeamento de uso e cobertura.

A seguir houve a geração da matriz de confusão (Figura 03) por meio da correlação existente entre as amostras e a imagem classificada, calculando, assim, a matriz de confusão, a fim de obter os resultados do Índice *kappa* (equação 2) e de acurácia global (equação 3).

Figura 03 – Matriz de confusão gerada e organizada no Excel.

Classes	A	B	C	D	E	F	G	TOTAL
A	7	0	1	1	0	0	0	9
B	0	10	0	0	0	0	0	10
C	2	0	8	0	0	0	1	11
D	0	0	0	9	0	0	2	11
E	0	0	1	0	10	1	0	12
F	0	0	0	0	0	9	0	9
G	1	0	0	0	0	0	7	8
Total	10	10	10	10	10	10	10	70

Organização: Ribeiro (2018).

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (2)$$

$$\text{Acurácia Global} = \left( \frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (3)$$

Onde:

$\hat{K}$ : valor estimado do índice *Kappa*;

$k$ : número de linhas da matriz de confusão;

$x_{ii}$ : número de observações na linha  $i$  e coluna  $i$ ;

$\sum_{i=1}^k x_{ii}$  : soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal;

$x_{i+}$ : soma total das observações para as linhas;

$x_{+i}$ : soma total das observações para as colunas;

$N$ : número de observações total.

Ressalta-se que os índices estatísticos de acurácia global e de *Kappa* são tradicionalmente usados na validação de mapeamentos temáticos. O Índice *Kappa*, que é obtido mediante a adoção de uma referência (matriz de confusão) para comparação dos mapeamentos produzidos, retrata o grau de concordância dos

dados, gerando, assim, um aspecto de confiabilidade e precisão dos dados classificados (PERROCA; GAIDZINSKI, 2003).

Recorreu-se, ainda, a classificação proposta por Landis & Koch (1977) (Quadro 04), que estabelece seis níveis de concordância para o Índice *Kappa*. Desse modo, os índices estatísticos utilizados possibilitaram validar o mapeamento do uso e cobertura da terra gerado, demonstrando o grau de concordância entre as classes mapeadas e a realidade observada em campo, via registro de coordenadas geográficas. O resultado obtido pelo coeficiente *Kappa*, varia no intervalo de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo a 1, melhor a qualidade dos dados classificados. De acordo com Guptill & Morrison (1995), o valor mínimo necessário para uma classificação ser aceitável é de 85%, em relação à exatidão global.

Quadro 04 – Qualificação do Índice Kappa

Índice Kappa	Qualidade
0.00	Péssima
0.01 a 0.20	Ruim
0.21 a 0.40	Razoável
0.41 a 0.60	Boa
0.61 a 0.80	Muito boa
0.81 a 1.00	Excelente

Fonte: Landis & Koch (1977). Organizado por Ribeiro (2018).

A escolha das classes de uso e cobertura da terra seguiram a proposta metodológica propugnada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a partir do Manual Técnico de Uso da Terra (BRASIL, 2013).

Posteriormente à identificação das classes de uso e cobertura da terra, a pesquisa seguiu os preceitos de Ross (1994), na perspectiva de estimar as classes de fragilidade para o uso da terra e cobertura vegetal (quadro 05).

Quadro 05 - Classes de fragilidade para o uso e cobertura da terra

Classes de fragilidade		Uso e cobertura da terra
Numérica	Qualitativa	
1	Muito baixa	Vegetação florestal/Matas naturais; Corpos d'água
2	Baixa	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso;
3	Média	Pastagem com baixo pisoteio; Silvicultura de eucalipto com sub-bosques de nativas; Culturas de ciclo longo e ciclo curto (Arroz, feijão, soja, milho, laranja);
4	Alta	Área urbana

5	Muito Alta	Áreas desmatadas e queimadas recente, Solo exposto por arado/degradação; solo exposto ao longo de caminhos e estradas; ausência de vegetação
---	------------	--

Fonte: Ross (1994). Adaptado por Ribeiro (2018).

→ Censo Demográfico e Agropecuário: obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Uma das análises que contribuem para o estudo da fragilidade ambiental e emergente é a análise de multicritério, pois permite a investigação combinada de variáveis para gerar um mapa síntese como produto final. O método de álgebra de mapas contribuiu para esse tipo de análise, uma vez que consiste na aplicação de operações aritméticas para associar várias camadas de modo a obter, como resultado, classificações que permitem análises diversas. A análise de multicritério com o método de álgebra de mapa permitiu agrupar e classificar áreas que apresentem características de fragilidade semelhantes e díspares.

Desta maneira, para a modelagem da fragilidade ambiental, em ambiente SIG, foi necessário um conjunto de ações para a manipulação dos dados. A combinação das variáveis se deu pela aplicação do método *booleano* de combinação de mapa, onde os planos de informação de formato vetorial foram convertidos para formato *raster* (matricial). Esse processo se deu através da caixa de ferramentas *Arctoolbox – Conversion Tools – To raster – Feature to raster*. Após converter todos os *Shapefiles* em arquivo *raster*, é necessário reclassificar os valores/informações da coluna da tabela de atributos selecionada (*Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Reclassify*).

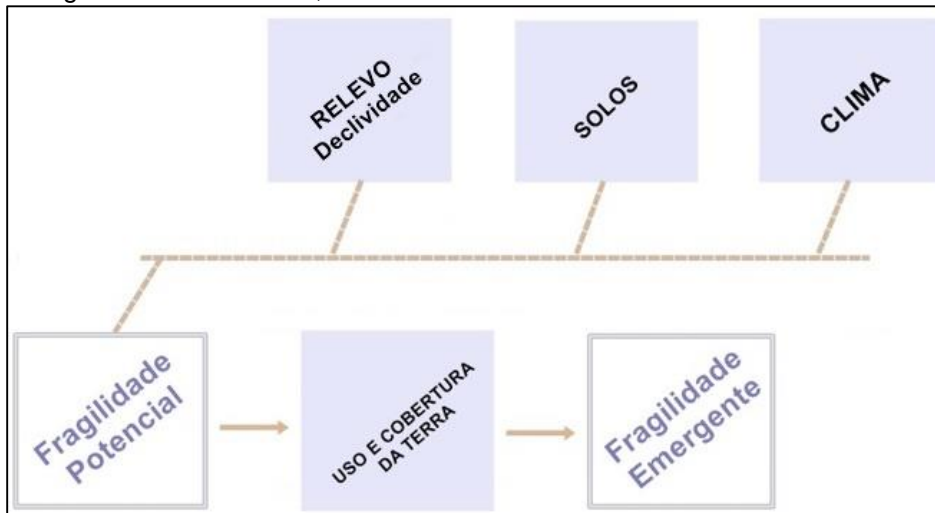
Para combinar as variáveis e criar o mapa de fragilidade ambiental através da caixa de ferramentas (*Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Raster Calculator*), na opção *Layers* aparecem todas as variáveis disponíveis. Em seguida, a equação deve ser inserida para que o mapa seja gerado.

Finalizada esta etapa, é preciso definir e renomear as classes, a partir das seguintes ações: I) Clicar com o direito no raster gerado; II) Aba *Symbology*; III) *Classified* e, na sequência, definir quantidade de classes, método de classificação e cores.

Na análise integrada, consideram-se os seguintes parâmetros por ordem de importância: Relevo/Solo/Usos e Cobertura da terra. Logo, a figura 04 apresenta os procedimentos operacionais para a geração do mapa de fragilidade ambiental da área estudada.

Destaca-se que a metodologia ainda sugere análises de informações sobre litologia e clima, sendo que estas são informações adicionais, utilizadas para a análise-síntese, com a finalidade de dar maior precisão aos resultados, uma vez que, analisadas em conjunto, são fatores decisivos no processo de intemperismo das rochas e na formação dos solos.

Figura 04 – Esquema metodológico para a geração do mapa de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Organização: Ribeiro (2018).

É importante destacar que a metodologia de Ross (1994) foi inserida nesta pesquisa de forma parcial, e o método atribuído possibilitou realizar uma análise do ambiente através de seus atributos, sendo esta expressa, hierarquicamente, em cinco classes de fragilidade ambiental. Estas classes foram definidas através do somatório dos valores de cada plano de informação, dentro de intervalos predefinidos, considerando as possíveis combinações entre as variáveis que classifica a fragilidade ambiental através da interligação dos elementos naturais com a intervenção da sociedade.

Na sua metodologia, Ross (1994) hierarquizou a fragilidade por códigos, conforme é retratado no quadro 06:

Quadro 06 - Proposição de Ross (1994) para as classes de fragilidade

FRAGILIDADE	QUALITATIVA	NUMÉRICA
Fragilidade Potencial e Emergente	Muito Baixa	1
	Baixa	2
	Média	3
	Alta	4
	Muito Alta	5

Fonte: Ross (1994). Adaptado por Ribeiro (2018).



Do ponto de vista operacional, as geotecnologias constituíram instrumento de extrema relevância nesta análise, possibilitando, assim, a compilação, manipulação, integração e geração dos dados coletados em gabinete, e em atividades de campo.

Por fim, a combinação dos dados e informações levantadas e produzidas, a partir da integração por meio da concepção sistêmica, constituem a parte desta pesquisa de maior relevância, uma vez que envolve e aproveita a visão de conjunto, oferecida pelas informações, para elaborar diagnósticos e proporcionar análises úteis com vistas à utilização, principalmente, pelo planejador. Dessa forma, da interação dos indicadores físicos e socioeconômicos enfocados, resultou numa análise ampla da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Mulato (PI).

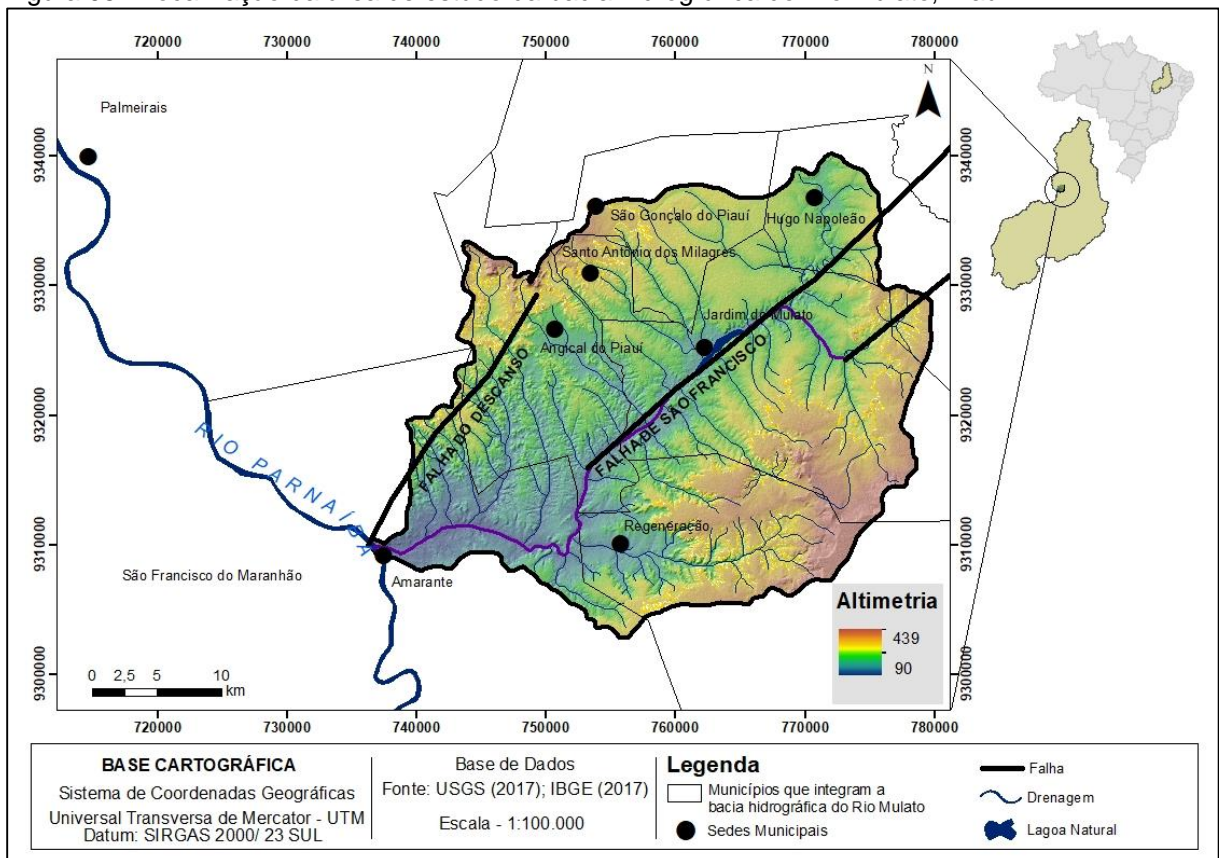
Nesta seção, cita-se que os produtos cartográficos foram gerados no programa ArcGis 10.5 (Licença estudantil). Destaca-se que o sistema de projeção adotado corresponde ao *Universal Transversa de Mercator* (UTM), tendo como referencial geodésico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), sendo este o Datum oficial adotado atualmente no Brasil.

### 3 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MULATO, PIAUÍ

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA EM ESTUDO

Do ponto de vista espacial, a bacia hidrográfica do Rio Mulato, engloba, no todo ou em parte, os municípios piauienses de: Amarante, Angical do Piauí, Hugo Napoleão, Jardim do Mulato, Palmeirais, Regeneração, Santo Antônio dos Milagres e São Gonçalo do Piauí, compreendendo uma área de 1.049,13 km<sup>2</sup> e um perímetro de 213,5 km (Figura 05). Está inserida na microrregião do Médio Parnaíba Piauiense (IBGE, 2017) e conta com uma população estimada em 70.001 habitantes (BRASIL, 2010).

Figura 05 - Localização da área de estudo da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Elaboração: Ribeiro (2018).

#### 3.2 ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICOS

Para compreender melhor os aspectos geológicos da bacia hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí, é importante relembrar um pouco da dinâmica que estruturou a base da configuração litoestrutural da bacia sedimentar do Parnaíba.

Nesta pesquisa foram evidenciadas, na área em estudo, as formações

geológicas que vão desde o carbonífero (360 milhões de anos atrás), ao início do cretáceo (aproximadamente 150 milhões de anos atrás), onde ocorreram os processos de reativação plataformar. O evento geotectônico que deu origem a parte sul do Oceano Atlântico provocou o retrabalhamento das rochas preexistentes e a formação de falhamentos nos terrenos da plataforma Sul-Americana e da bacia sedimentar do Parnaíba, sendo estes decorrentes do desenvolvimento da zona de falha do lineamento Transbrasiliano (SCHOBENHAUS; NEVES, 2003).

Nesse contexto, durante os períodos geológicos de formação e evolução desta unidade estrutural, a mesma foi atingida por movimentos tectônicos resultantes de forças internas do globo terrestre. No Piauí, os registros de alguns desses movimentos podem ser identificados na borda da bacia sedimentar (formando planaltos tipo cuestas) e nos dobramentos e falhamentos de pacotes de rochas em setores específicos. Algumas dessas falhas apresentam grande extensão, enquanto outras são de pequena expressão, formando fraturas localizadas (ARAÚJO et al., 2006).

Desta maneira, a área que a bacia hidrográfica do Rio Mulato ocupa tem sua gênese associada à dinâmica da litosfera, resultante do lineamento transbrasiliano, e encontra-se alicerçada sobre um ambiente de estrutura sedimentar, com predomínio de formações geológicas que datam do Paleomesozoico, tais como as formações: Corda, Pastos Bons, Pedra de Fogo, Piauí e formação Sardinha (Figura 06).

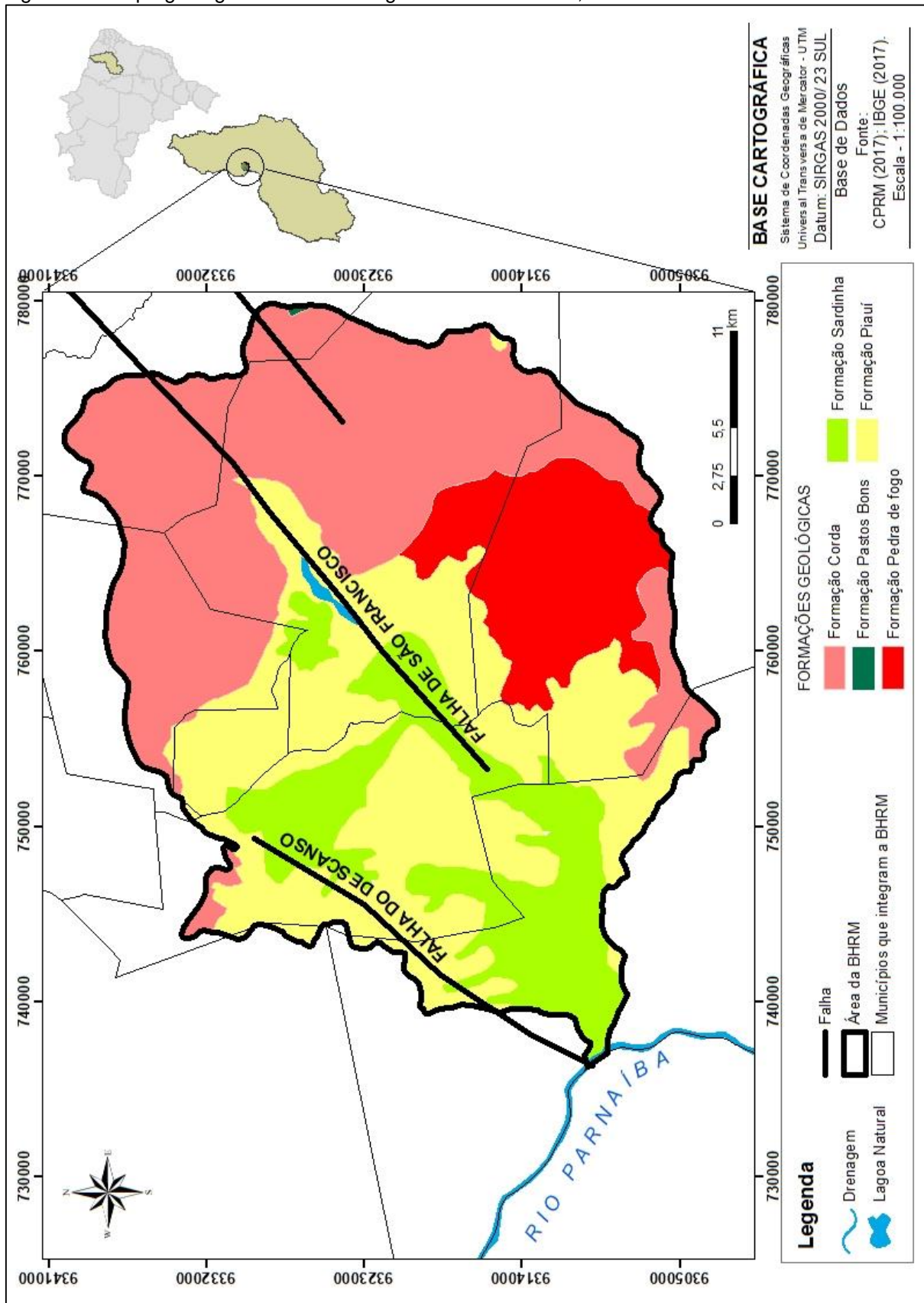
Ao considerar a geologia da BHRM, constatou-se que há o predomínio da Formação Corda (38,21%), seguida da Formação Piauí (33,70%). A Formação Sardinha representa 16,17% da área total da bacia, enquanto as Formações Pedra de Fogo (11,87%) e Pastos Bons (0,04%) apresentam a menor extensão, abrangendo 125 km<sup>2</sup> aproximadamente, como mostra a tabela 01.

Tabela 01 – Quantitativo das Formações Geológicas na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

<b>Formações Geológicas</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Corda	400,83	38,21
Pastos Bons	0,47	0,04
Pedra de Fogo	124,54	11,87
Piauí	353,60	33,70
Sardinha	169,69	16,17
<b>Total</b>	<b>1.049,13</b>	<b>100%</b>

Fonte: CPRM (2010). Organização: Ribeiro (2018).

Figura 06 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Elaboração: Ribeiro (2018).

Ao considerar as características presentes no mapa geológico (CPRM, 2010) e nas considerações apresentadas no Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1973), mencionam-se alguns atributos de cada unidade litoestratigráfica, a saber:

I) Formação Piauí: datada do período Carbonífero, com aproximadamente 360 milhões de anos. Apresenta em sua litologia arenitos de granulação afanítica, com estratificação delgada (Figura 7A), e por vezes, fanerítica, sendo conglomerático e com estratificação cruzada;

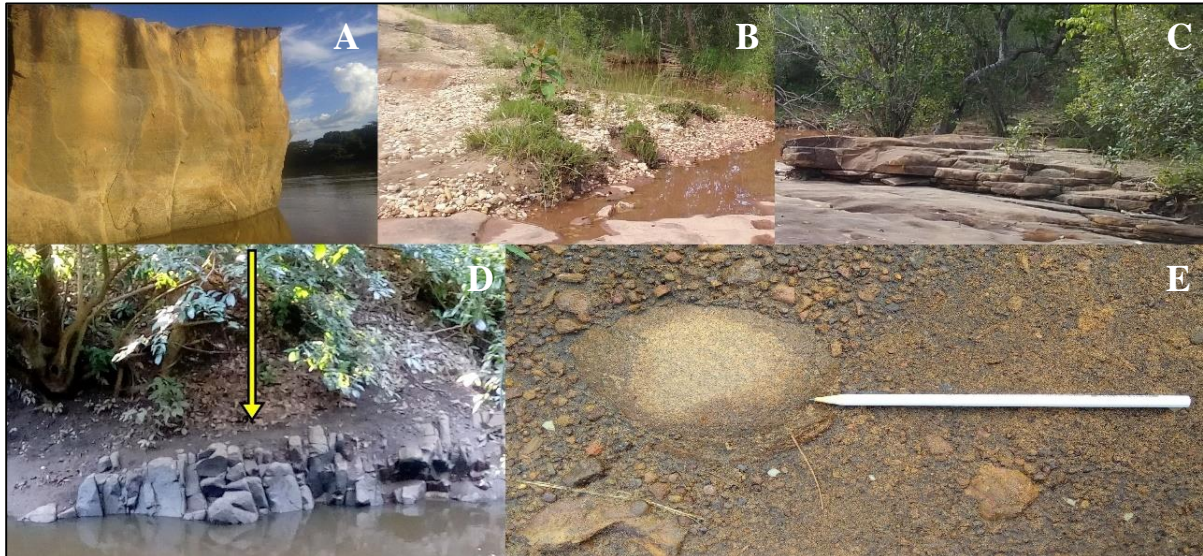
II) Formação Pedra de Fogo: datada do período Permiano, com aproximadamente 300 milhões de anos. É composta por arenitos, siltitos e folhelhos, intercalando-se em proporções variadas, e em certas áreas é possível encontrar conglomerados e bancos de seixos (quartzo), conforme é visualizado na figura 7B;

III) Formação Pastos Bons: datada do período Triássico (250 milhões de anos aproximadamente), apresenta uma litologia composta por uma sequência de folhelhos e arenitos (Figura 7C), apresentando variação de textura, o que condiciona uma boa capacidade de armazenamento de água;

IV) Formação Corda: atribuída ao período Cretáceo, constituindo-se de arenitos, siltitos e folhelhos. Encontra-se sobre as paleodepressões dos diabásios da Formação Sardinha, onde apresenta contato discordante com as formações geológicas mais antigas (PFALTZGRAFF; TORRES; BRANDÃO, 2010);

V) Formação Sardinha: datada do cretáceo, ocorrente da extrusão magmática pelo desenvolvimento de falhas normais de São Francisco e do Descanso. A extrusão vulcânica deu origem a soleiras e diques de diabásio (Figura 7D), geralmente escuros, mas podendo variar as tonalidades. A textura varia do basalto afanítico, com foliação esferoidal (Figura 7E), devido ao intemperismo, ao gabro, mais grosseiro (SPISILA, 2011).

Figura 07 - Características litoestratigráfica da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí. A - Arenito de granulação afanítica, no município de Amarante (PI); B - Seixos de quartzo, no município de Amarante (PI); C - Folhelhos e arenitos, no município de Hugo Napoleão (PI); D - Intrusão de diabásio na foz do Rio Mulato, em Amarante (PI); E - Diabásio com foliação esferoidal, no município de Angical do Piauí



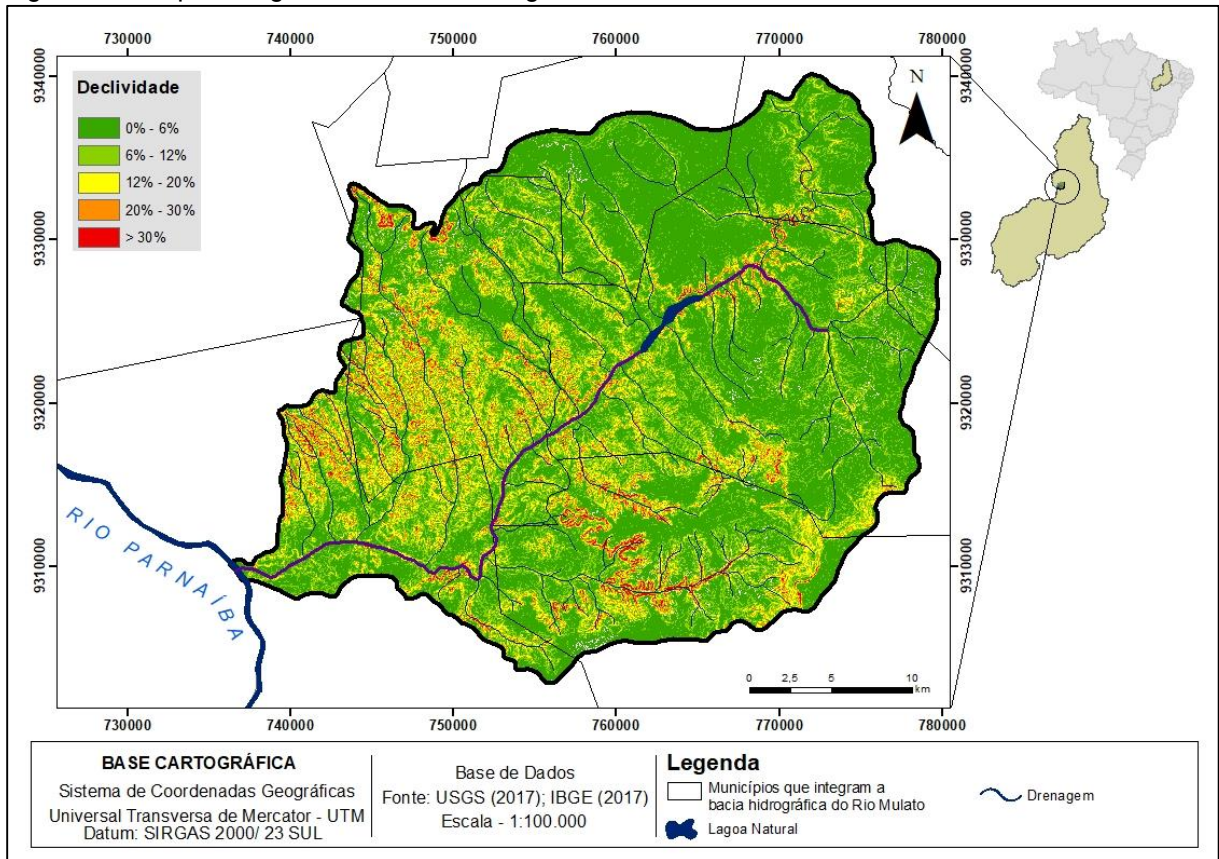
Fonte: Ribeiro (2018).

No que diz respeito às formas e modelados da paisagem na BHRM, estes são decorrentes do desenvolvimento de falhas normais (São Francisco e do Descanso), as quais apresentam uma direção geral NE-SO junto aos municípios de São Francisco do Maranhão (MA) e Amarante (PI). A dinâmica dessas falhas separou dois blocos distintos, sendo que o bloco SE, em relação à falha, rebaixou-se em direção ao bloco NO, e pôs em contato na área dos municípios que integram a bacia hidrográfica do Rio Mulato as Formações Piauí e Pedra de Fogo, gerando, assim, as linhas de fraqueza e os derramamentos vulcânicos (BRASIL, 1973).

Cabe destacar que além dos falhamentos regionais, ocorre grande número de fraturamentos por toda a bacia sedimentar, que se refletem no comportamento das formas de relevo também a nível local (LIMA, 1987).

Ao considerar a declividade da BHRM (Figura 08), predominam relevos planos a suave ondulado, sendo a classe de declividade de maior significância os setores com declive de 0 a 12%, sendo que sua distribuição ocorre por toda sua extensão. As declividades que se apresentam no intervalo de 12 a 30% também estão distribuídas em toda a área da bacia, principalmente próximas aos cursos d'água, sendo o declive de 20 a 30%, restrito a alguns pontos. Juntas, abrangem 60,51 km<sup>2</sup> da área total da bacia hidrográfica. Por fim, a classe superior a 30% é a que apresenta a menor área (1,46 km<sup>2</sup>), abrangendo apenas 0,14%. Os dados de área por declividade são apresentados na tabela 02.

Figura 08 - Mapa clinográfico da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Elaboração: Ribeiro (2018).

Tabela 02 – Classes de declividade na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

Classes de Declividade (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem
0 - 6	799,10	76,17
6 - 12	188,06	17,93
12 - 20	54,47	5,19
20 - 30	6,04	0,58
> 30	1,46	0,14
<b>Total</b>	<b>1.049,13</b>	<b>100%</b>

Fonte: Adaptado de Ross (2008). Organização: Ribeiro (2018).

De acordo com Ross (1994), os valores de declividade indicam as características do relevo que geram energia potencial para a ocorrência de processos geomorfológicos, como erosão laminar e deslizamentos. Neste sentido, quanto a descrição morfológica, classes de 0 a 6 observou-se terreno com superfície de topografia horizontal, onde os desníveis são quase inexistentes, ao longo das planícies fluviais. Quanto aos processos erosivos, sem perda de solos. A classe de 6 a 20% correspondem a terrenos pouco movimentados, constituídos por planaltos

rebaixados, com declive suave, apresentando início de solifluxão e, em alguns setores, escoamento difuso e laminar. A classe correspondente a declive de 20 a 30% correspondem a terrenos pouco movimentados, no entanto, mais acentuado que a classe anterior, constituindo-se encostas de morros (elevações de 200 a 300 metros), predominando escoamento laminar, ravinamentos e em determinadas áreas movimentos de massa. A classe acima de 30% constituem-se terrenos movimentados, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas de planaltos tabulares, variando de 300 a 400 metros, sendo comum a ocorrência de movimento de blocos.

Dessa forma, do ponto de vista geomorfológico, partindo, essencialmente, na fisionomia das formas (aspecto fisionômico), que tem por base sua gênese e idade, foi possível classificar o relevo até a quarta ordem de grandeza, obedecendo aos níveis taxonômicos de Ross (1992), como mostra a figura 09.

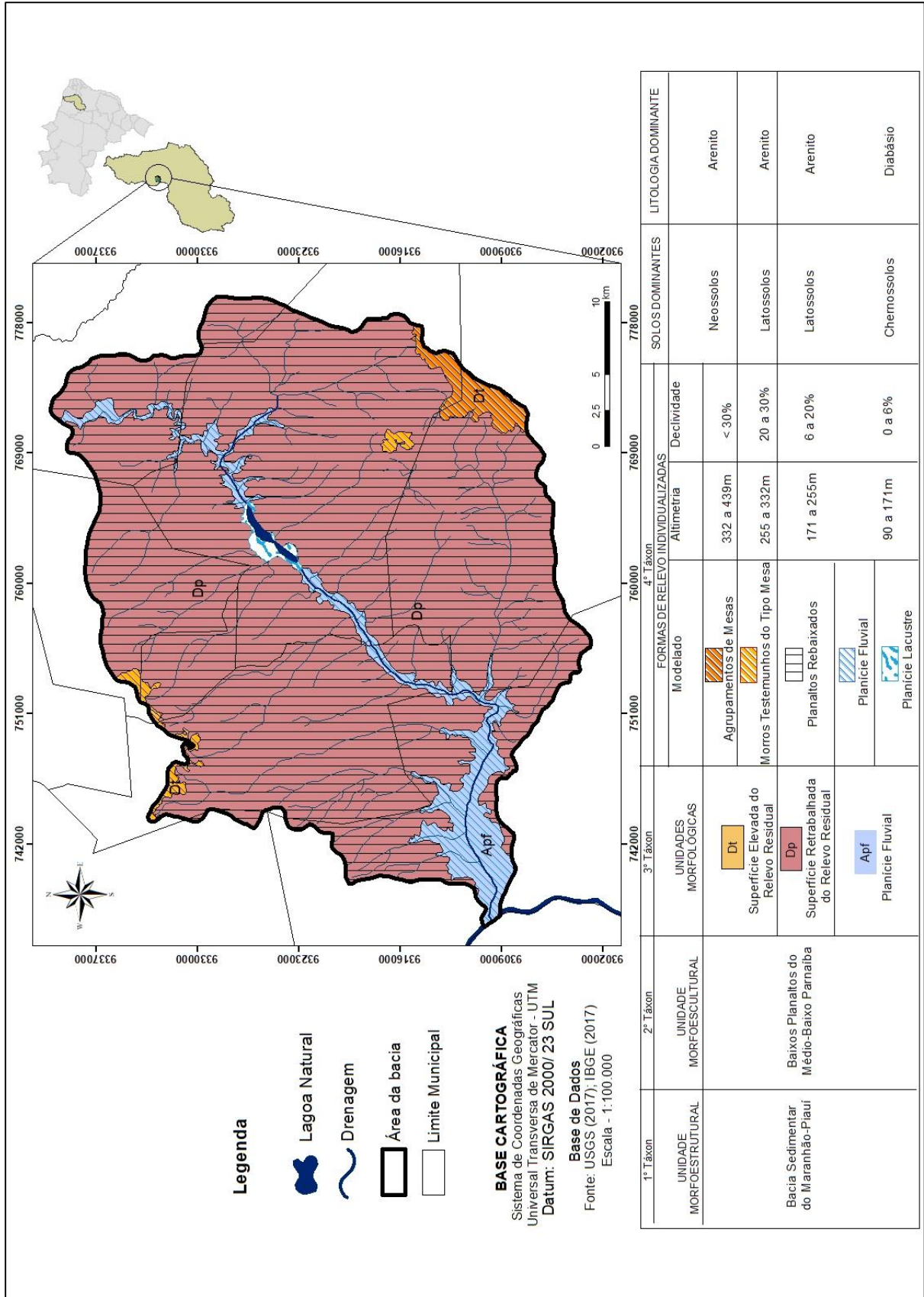
Menciona-se que a Morfoestrutura da bacia sedimentar do Parnaíba é a forma de relevo de maior expressão (1º táxon). Sua gênese e cronologia são mais antigas que as unidades morfoesculturais esculpidas em seu interior, portanto, formada por rochas sedimentares essencialmente Paleomesozoicas.

As Unidades Morfoesculturais (2º táxon) reflete-se nas formas de relevo regionais que, associadas ao clima, permitem a individualização e classificação destas. As Unidades Morfológicas (3º táxon) retratam um determinado aspecto fisionômico que decorre das influências dos processos erosivos mais recentes, ou seja, posteriores àqueles que se encarregaram de esculpir planaltos de níveis intermediários, entre outros. Dessa forma, foi possível mapear três unidades, a saber: I) Superfície Elevada do Relevo Residual; II) Superfície Retrabalhada do Relevo Residual e; III) Planície Fluvial. O 4º táxon refere-se a cada uma das formas de relevo contidas nas Unidades Morfológicas. Assim, a identificação das formas de relevo encontradas nas Unidades dos Padrões de Formas Semelhantes foram: I) Agrupamento de Mesas e Morros Testemunhos; II) Planaltos Rebaixados e; III) Planície Flúvio-Lacustre. Percebe-se que cada uma delas têm aspectos fisionômicos e genéticos próprios, embora pertença à mesma família.

Ressalta-se que a concepção metodológica de Ross (1992) foi aplicada neste mapeamento de forma parcial, pois face a escala de trabalho não se pode representar individualmente os táxons seguintes, uma vez que exigem escalas de representação de maior detalhe.



Figura 09 - Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.



Elaboração: Ribeiro (2018).

### 3.3 ASPECTOS HIDROCLIMÁTICOS

O clima aparece como um importante elemento natural, uma vez que se caracteriza como um dos controladores fundamentais sobre os diferentes processos mecânicos da superfície terrestre, já que os processos atmosféricos possuem forte influência e complexidade frente aos demais elementos do ambiente (RITTER et al., 2002).

A variável climática, portanto, baseada no comportamento pluviométrico, é considerada fundamental para compreender as análises que envolvem a fragilidade potencial. De acordo com Ferreira e Mello (2005), o clima é estabelecido geralmente pela circulação da atmosfera, uma vez que esses mecanismos atmosféricos redistribuem calor, umidade e movimento por todo o globo, sendo que essa redistribuição não é homogênea.

Os próprios processos de instabilidade ecodinâmica encontram-se, por sua vez, associados com a quantidade e concentração de água disponível para o escoamento superficial hídrico, em um determinado período de tempo. Assim, quanto maior for a pluviosidade anual e curta a duração do período chuvoso, maior será a possibilidade e capacidade de erosão (CREPANI, 2001; SPÖRL; ROSS, 2004).

Nesse viés, o comportamento pluviométrico da área de estudo foi incluído como variável para alcançar a Fragilidade Potencial, pois segundo Bigarella (2003), a água atua nos processos de intemperismo, na erosão, no transporte e na deposição de sedimentos, sendo a pluviosidade um importante agente externo que ocasiona mudanças morfológicas na paisagem.

Para compreender a atuação dos sistemas atmosféricos que condicionam e interferem nos índices pluviométricos do setor espacial em análise, faz-se necessário sumarizar os mecanismos que comandam o regime pluviométrico da Região Nordeste do Brasil.

Neste contexto, o clima regional está submetido à influência do clima semiárido (quente e seco – Bwsh), segundo a classificação de Köppen, cuja principal característica é a irregularidade espaço-temporal das chuvas e elevadas temperaturas durante todo o ano. Tem-se que as chuvas mais significativas iniciam em dezembro, podendo se estender até maio ou junho, a depender das condições atmosféricas e oceânicas. De acordo com Ab'Saber (1999, p. 10) “podem ocorrer anos muito secos e eventuais períodos de grandes chuvas, com inundações catastróficas”.

Os principais mecanismos atmosféricos responsáveis pela dinâmica regional,

segundo Ferreira e Mello (2005) e Zanella (2014), remetem-se a: Zona de Convergência Intertropical – ZCIT; Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS; Frente Polar – FP; Ondas de Leste – OL; Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – VCAN; Linhas de Instabilidade – LI; Complexo Convectivo de Mesoescala – CCMs e; El Niño-Oscilação Sul. Não obstante, é importante destacar as Brisas Marítima e Terrestre, além da temperatura da superfície do mar, ventos alíseos e pressão ao nível do mar.

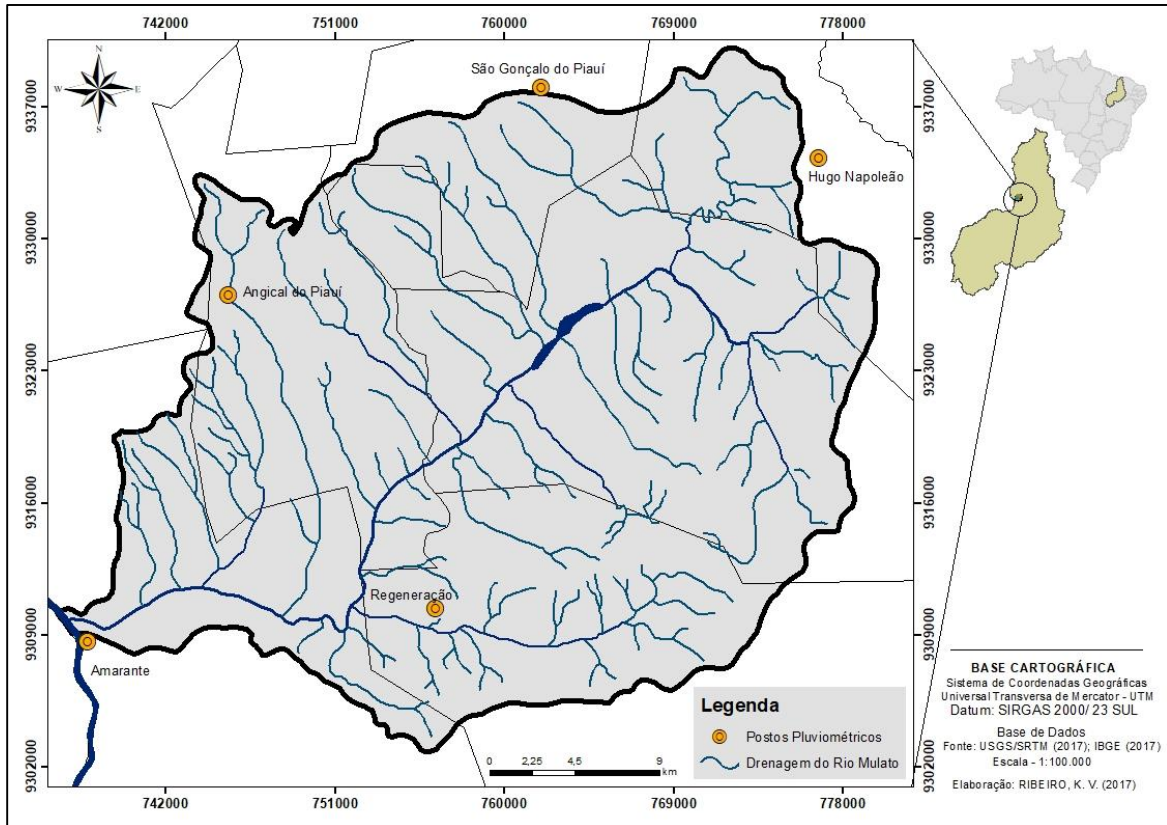
Vale ressaltar que em anos de El Niño (fase positiva do dipolo do Atlântico) há uma redução das chuvas no setor setentrional do NE brasileiro, com totais pluviométricos muito baixos, ocasionando secas na região. O fenômeno de La Niña, ao contrário, associado ao dipolo negativo do Atlântico, que é favorável às chuvas, registram-se anos muito chuvosos, causando, em determinadas áreas, muitos prejuízos, principalmente em setores urbanos (FERREIRA; MELLO, 2005).

Sobre estas áreas em particular, Pereira Neto (2013) enfatiza a formação de chuvas convectivas com alta intensidade, pequena duração e elevada frequência, corroborando, evidentemente, o seu alto potencial erosivo, associado a impermeabilização do solo.

Ao considerar que a chuva é o principal agente ativo que intervém na erosão, foram selecionados cinco postos com dados pluviométricos (Figura 10), situados no interior e entorno da bacia hidrográfica, correspondendo aos municípios de Amarante, Angical do Piauí, Hugo Napoleão, Regeneração e São Gonçalo do Piauí, uma vez que estes contam com estações que dispõem de dados disponíveis para a análise pluviométrica necessária ao estudo em pauta.

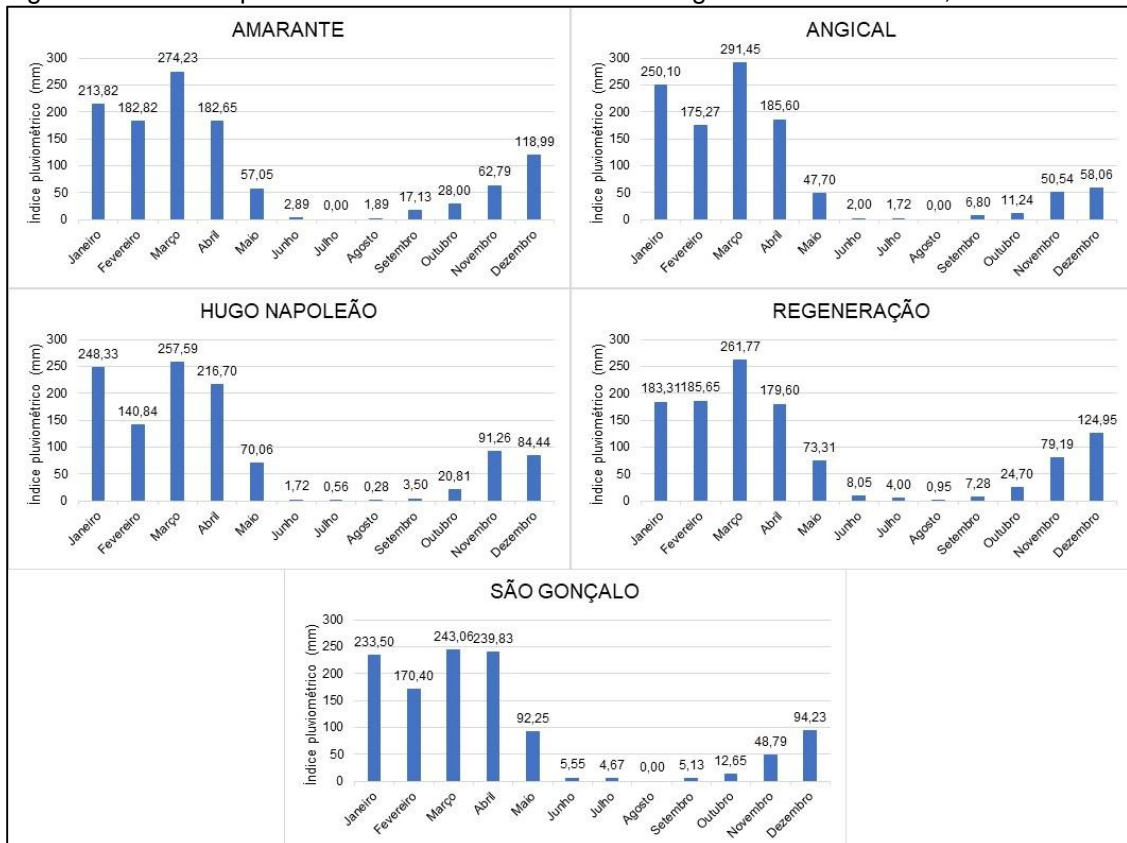
As figuras 11 e 12 apresentam as médias pluviométricas (mensais e anuais) conforme as normais climatológicas obtidas na Agência Nacional de Águas (ANA), numa escala temporal de onze anos (1992 a 2002), para os postos especializados.

Figura 10 – Espacialização dos postos pluviométricos para análise hidroclimática na Bacia Hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí



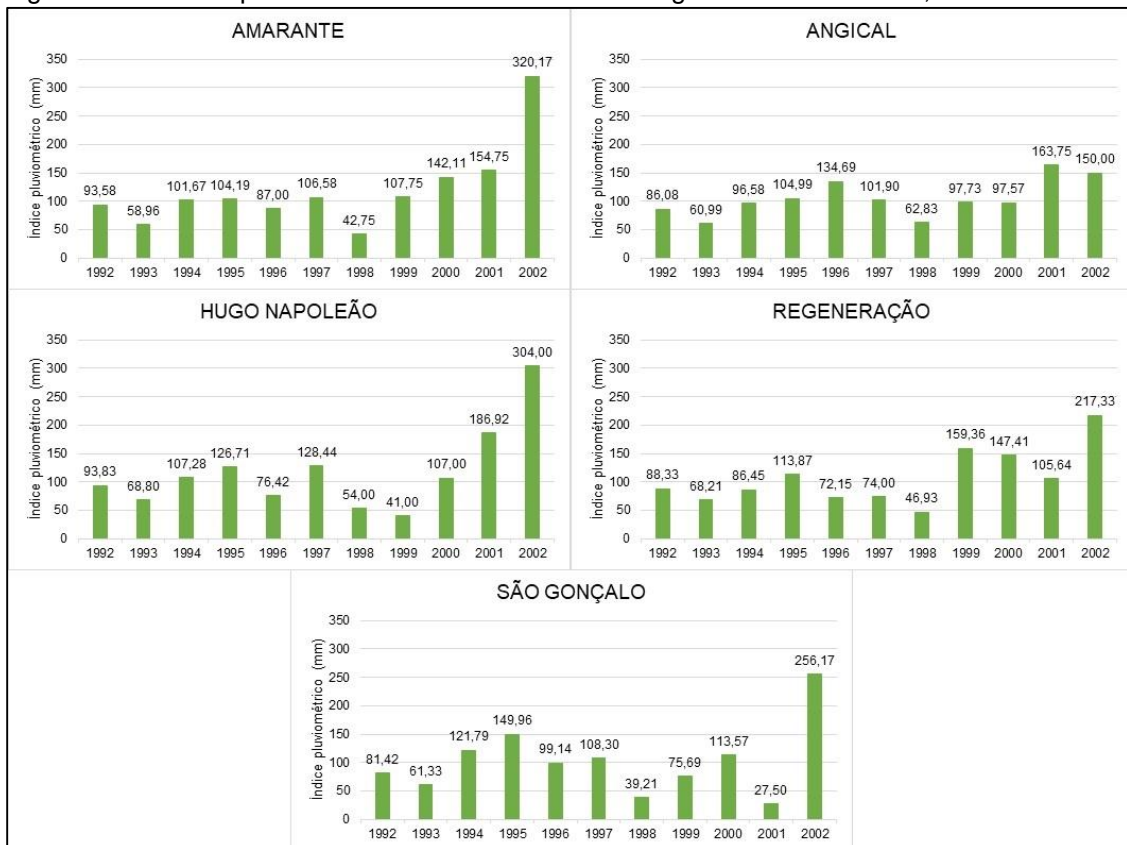
Fonte: ANA. Elaboração: Ribeiro (2018).

Figura 11 – Médias pluviométricas mensais da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Fonte: ANA. Organização: Ribeiro (2018).

Figura 12 – Médias pluviométricas anuais da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

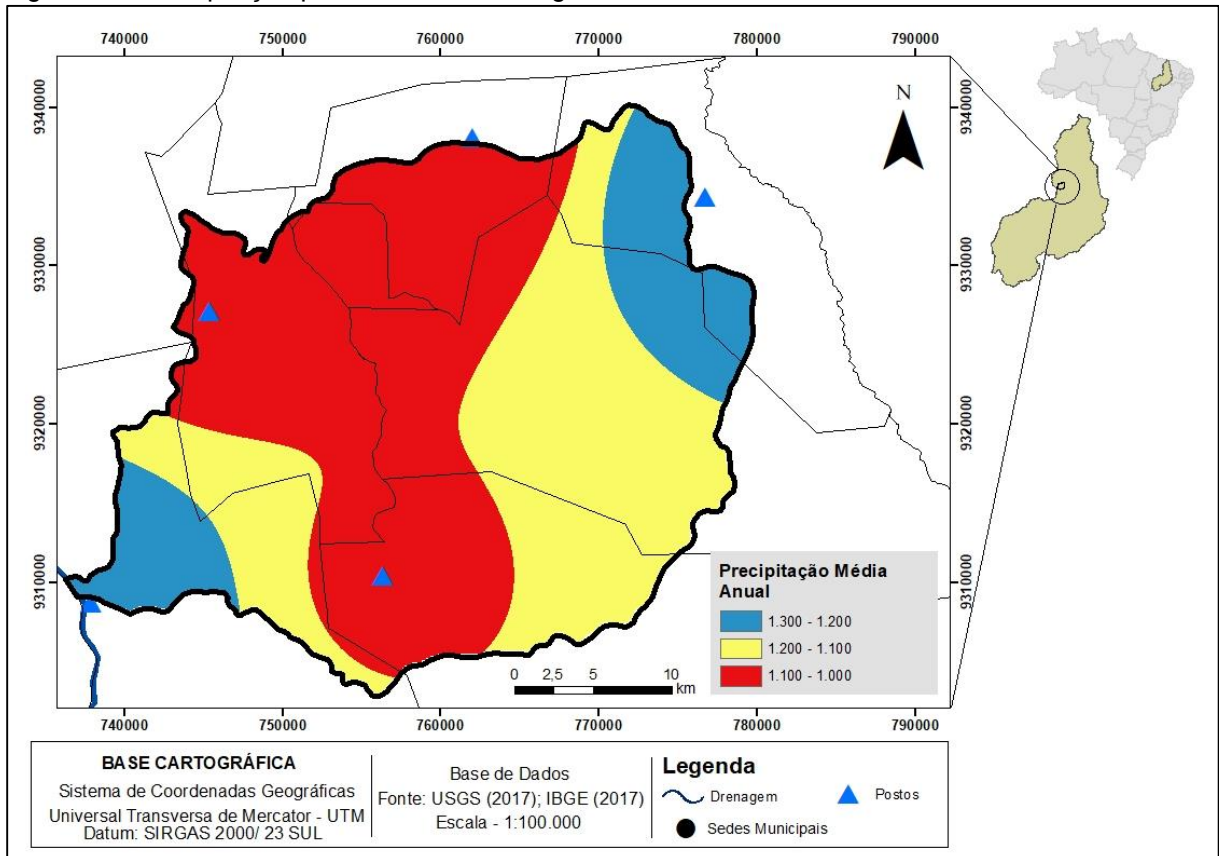


Fonte: ANA. Organização: Ribeiro (2018).

Ao analisar os respectivos dados, observa-se que 90% das chuvas se concentram durante o primeiro semestre do ano, nos meses de janeiro a abril, no verão, com médias entre 980 a 900 mm, fato influenciado principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Em contrapartida, observa-se a irregularidade das precipitações em decorrência da má distribuição das chuvas nos meses seguintes, com médias de chuvas entre 117 a 180 mm.

A área apresenta isoietas de precipitação média anual que variam de 1.134mm em toda a extensão do médio curso, a 1.319mm entre o alto e baixo curso fluvial, considerando a série histórica de 10 anos utilizada nesse estudo (Figura 13).

Figura 13 – Precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

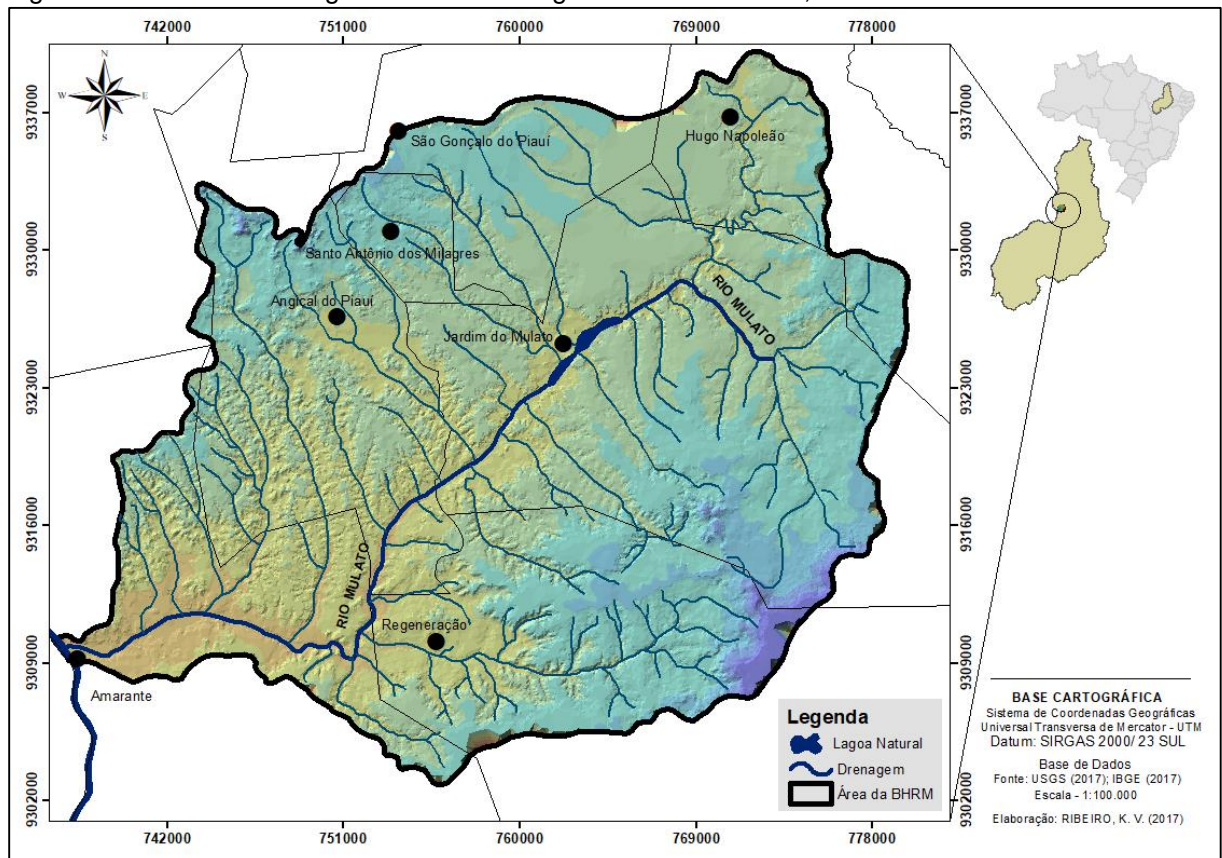


Fonte: ANA. Elaboração: Ribeiro (2018).

Diante das características climáticas da área em estudo, pode-se afirmar que estas exercem forte influência nos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneas. Dessa forma, atenta-se para as características hidrológicas do setor espacial em epígrafe.

Ao considerar a posição geográfica, dentro dos setores estruturais da bacia sedimentar do Parnaíba, a mesma encontra-se inserida no grupo das bacias difusas do médio Parnaíba piauiense, onde o curso d'água principal tem suas nascentes no município de Jardim do Mulato (PI) e, sua foz, no município de Amarante (PI), como mostra a figura 14. Esta drenagem conta, ainda, com a presença de uma significativa lagoa natural (Topônimo: Lagoa Azul), localizada no mesmo município de suas nascentes principais, com uma área de 2,168 km<sup>2</sup> e um perímetro de 11,25 km, aproximadamente.

Figura 14 – Rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí.



Elaboração: Ribeiro (2018).

Acerca da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Mulato, esta se encontra diretamente atrelada às formas estruturais do relevo, as quais funcionam como divisores topográficos da bacia hidrográfica, juntamente à própria estrutura litológica e dos lineamentos de falhas. A drenagem se apresenta no atual domínio do semiárido, com caráter perene.

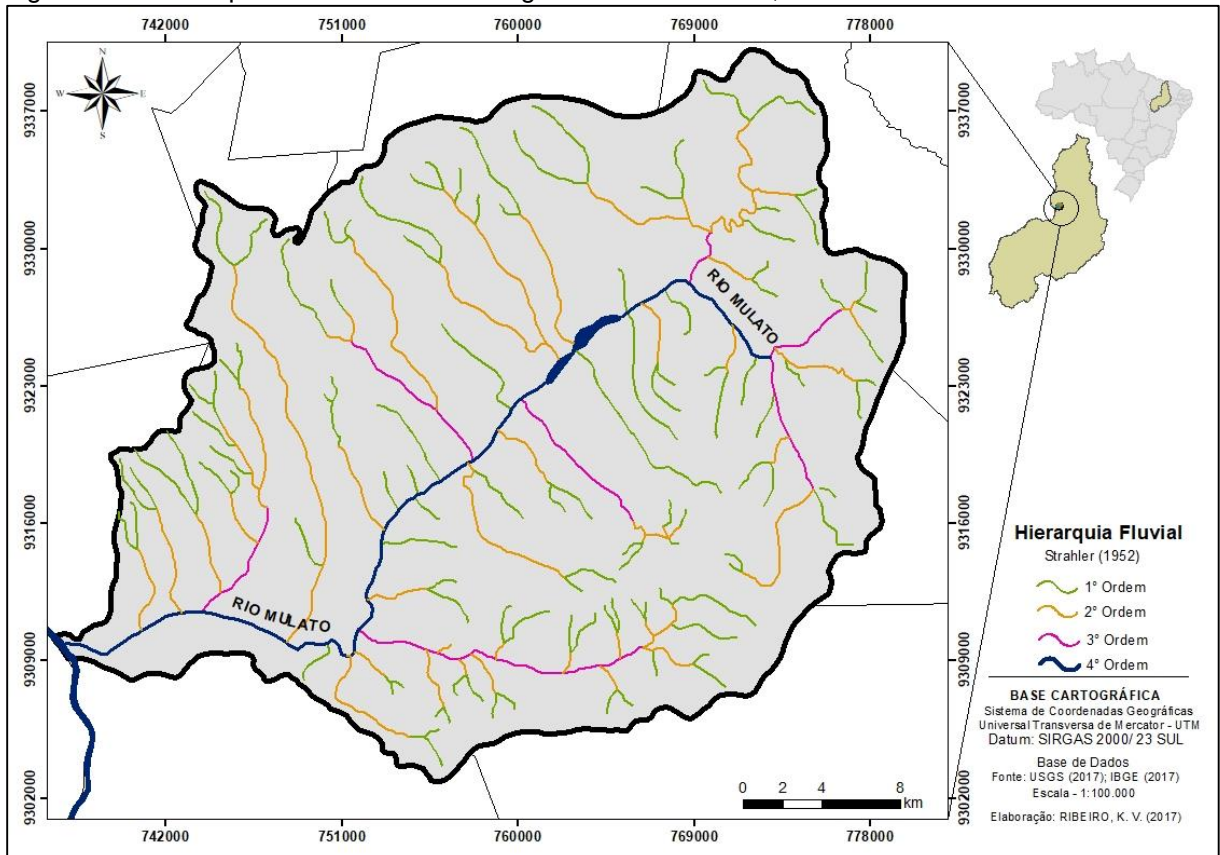
Ao analisar de forma mais detalhada os canais fluviais, o Rio Mulato apresenta um baixo grau de sinuosidade, apresentando um valor intermediário (1,42), entre os canais retilíneos (1,0), e meandantes (1,4). No tocante à direção geral, possui uma simetria levemente expressiva. No entanto, verificou-se uma pequena influência geológica local, de feições de controle estrutural sobre o arcabouço do canal, onde é possível perceber anomalias e padrões de drenagem distintos em alguns segmentos fluviais.

Em termos gerais, a BHRM apresenta um padrão de drenagem subparalelo, uma vez que esta rede de drenagem localiza-se em áreas onde há presença de controles estruturais que motivam a ocorrência de espaçamento regular entre os fluxos hídricos superficiais, sendo comum em áreas de falhas paralelas ou regiões

com lineamentos topográficos.

No que se refere à ordem de canais, ao considerar a hierarquia fluvial de Strahler (1952), tem-se o Rio Mulato como um canal de quarta ordem (Figura 15), do ponto de vista hierárquico.

Figura 15 – Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Elaboração: Ribeiro (2018).

Quanto ao parâmetro Densidade de Drenagem (Dd), o valor encontrado foi de 0,60 km/km<sup>2</sup>, portanto, está na categoria de drenagem baixa, indicando que o processo de infiltração prevalece, enquanto o escoamento superficial é diminuto. Dessa forma, em função de seus atributos físicos, geológicos e topográficos, esta área apresenta certa dificuldade para formar novos canais fluviais.

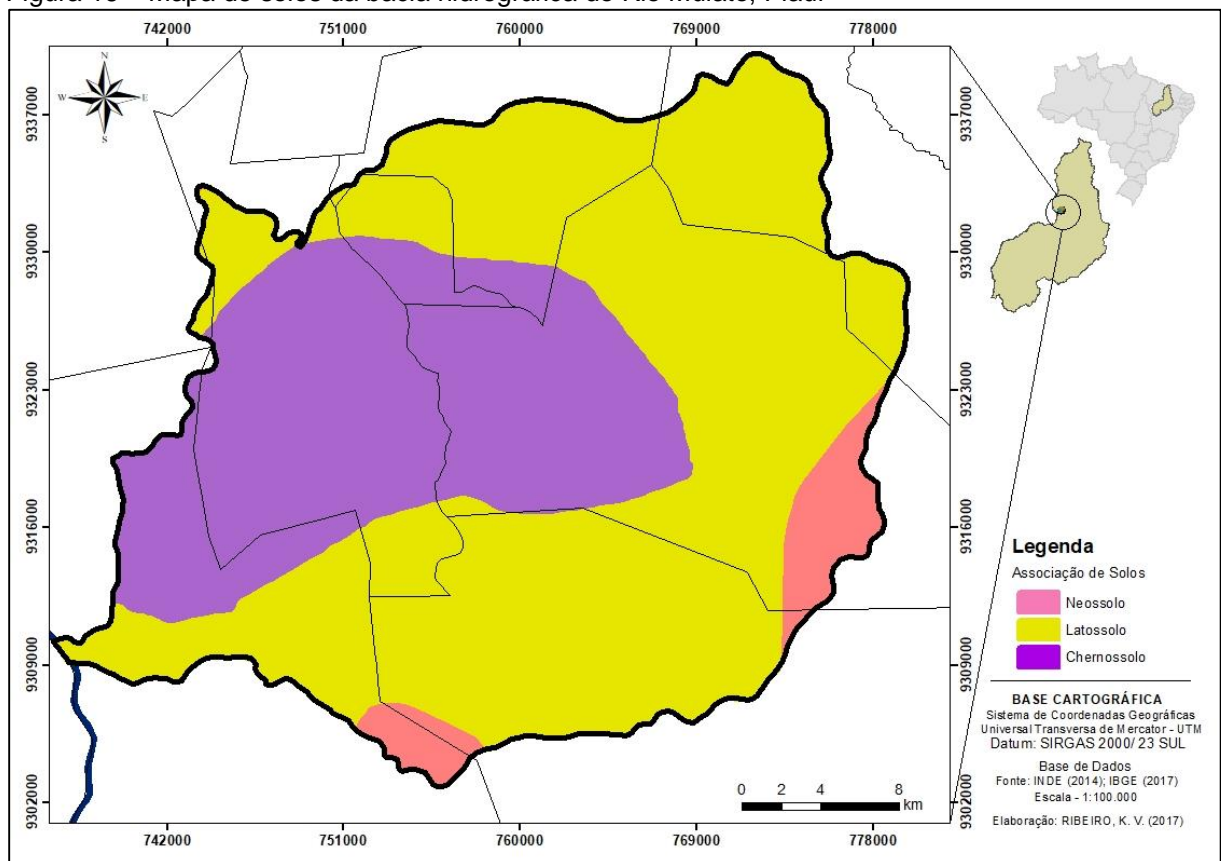
Assim, o conhecimento das características físicas da BHRM, possibilitou o entendimento da dinâmica natural desse sistema, uma vez que as análises morfométricas, que apresentam uma maior interferência na dinâmica da paisagem, proporcionaram dados mais concisos e objetivos, os quais serviram como importantes subsídios ao entendimento dos diferentes processos que nela ocorrem.



### 3.4 ASSOCIAÇÃO DE SOLOS E COBERTURA VEGETAL

O conhecimento da cobertura pedológica, juntamente às suas principais características morfológicas e morfométricas, aparecem como sendo de fundamental importância para a compreensão das condições de resistência, frente aos variados processos e/ou fenômenos erosivos. Nesse viés, o conhecimento acerca das características físicas, químicas e ambientais de cada tipo de solo é de suma importância para a análise da fragilidade potencial de uma determinada área (PEREIRA NETO, 2013). Ao considerar o exposto, na BHRM sobressaem os Neossolos, Chernossolos e Latossolos (Figura 16).

Figura 16 – Mapa de solos da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Fonte: INDE (2014). Elaboração: Ribeiro (2018).

Frisa-se que os Neossolos compreendem solos rasos e sua fertilidade está condicionada à soma de bases e à presença de alumínio, sendo neste mais limitada. Apresentam, portanto, baixa fertilidade natural (distrófico). São normalmente indicados para a preservação da fauna e flora (EMBRAPA, 2013).

Os Latossolos amarelos que predominam na área em estudo, são solos desenvolvidos, bastante uniforme em textura, cor e estrutura; são profundos, bem

drenados, mas de baixa fertilidade natural. Sua textura areno-argilosa imprime a este solo um maior grau de fragilidade quanto à ocorrência de ravinamentos (Figura 17), já que as partículas arenosas possuem maior facilidade de desagregação durante o período chuvoso. Predominam em áreas de relevo plano a suave ondulado, e suas principais limitações decorrem da forte acidez, além da pobreza de nutrientes, o que implica em um investimento inicial alto para a obtenção de boas colheitas, com uso de adubação e fertilizantes, a exemplo da prática de calagem (EMBRAPA, 2013).

Figura 17 – Ravinamentos em função da desagregação mecânica das partículas do Latossolo, no município de Jardim do Mulato (PI)



Fonte: Ribeiro (2018).

Os Chernossolos são os mais férteis, uma vez que estes são resultantes da intemperização dos diques de diabásios, da Formação Sardinha. Em geral, são pouco desenvolvidos, no entanto, apresentam alto potencial agrícola em virtude de suas características químicas, tendo em vista seu elevado potencial nutricional (EMBRAPA, 2013).

Contudo, é evidente a relação que os solos estabelecem com as demais componentes ambientais, inclusive com a vegetação. Neste sentido, o quadro 07 sintetiza as relações entre solos e unidades fitoecológicas encontradas na área em epígrafe.

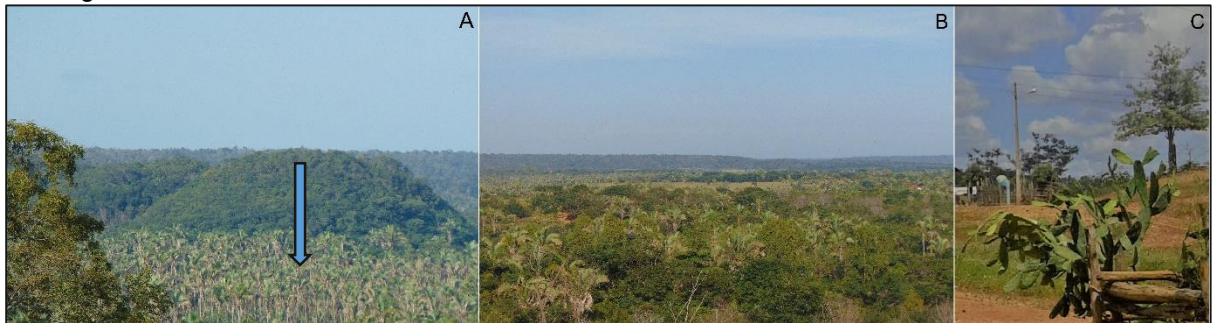
Quadro 07 - Correlação entre solos e a vegetação encontrada na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

SOLOS	VEGETAÇÃO
Neossolos Litólicos	Caatinga arbustiva densa; caatinga arbustiva aberta
Latossolos amarelos	Caatinga arbustiva densa; caatinga arbustiva aberta; caatinga arbórea
Chernossolos	Floresta Estacional Decidual; Cerrado.

Fonte: EMBRAPA (2013); BAPTISTA (1975). Organizado por Ribeiro (2018).

Cabe destacar que a BHRM encontra-se situada numa área de ecótono, com espécies representativas da mata de cocais, com destaque para a palmeira de babaçu (*attalea Speciosa*), compreendendo, ainda, espécies arbustivas e herbáceas, oriundas do bioma Cerrado (Pau d'arco amarelo – *Handroanthus serratifolius*) e Caatinga (Palmácea forrageira) como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Estratificação da vegetação na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí. A – Babaçual presente em Mata de Cocais; B – Cerrado Subcaducifólio; C – Palmácea representativa do bioma Caatinga.

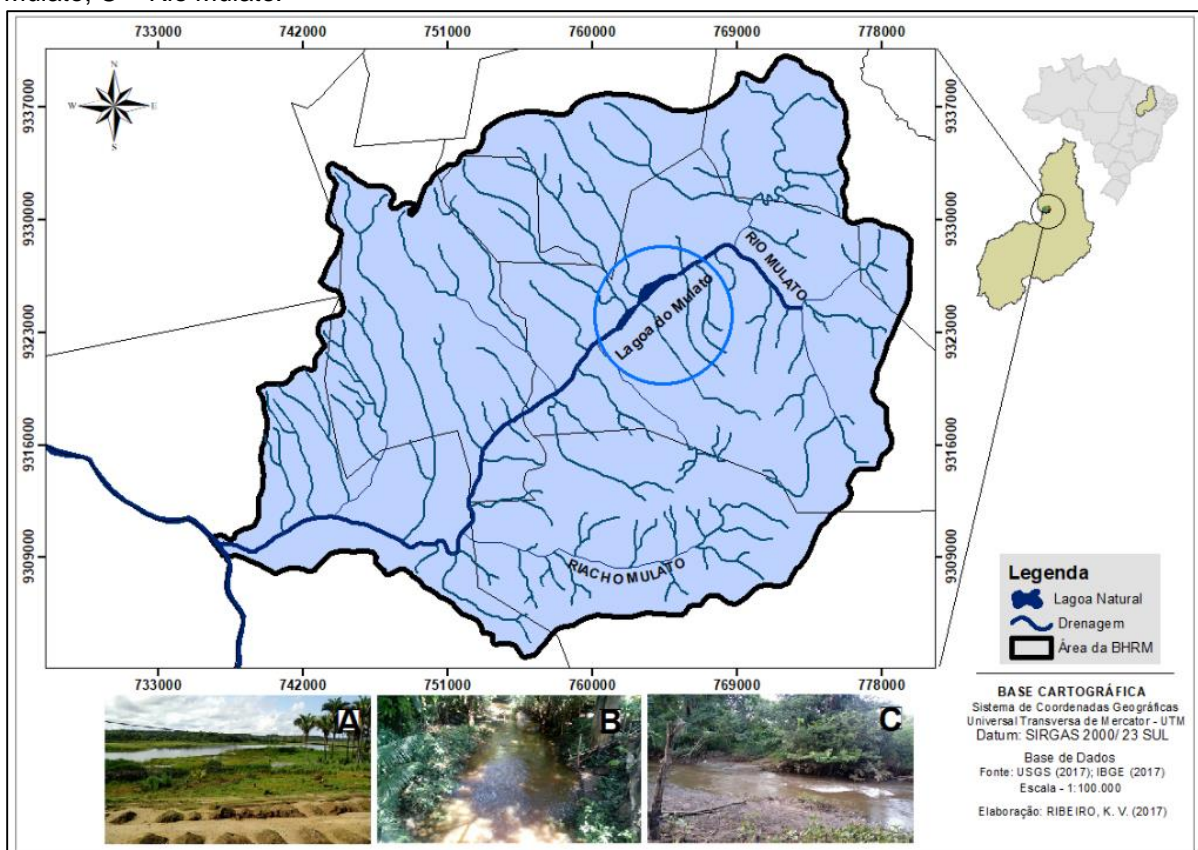


Fonte: Karoline Veloso Ribeiro (2018).

#### 4 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA, SOCIOECONÔMICA E DE USO DA TERRA

Durante a pesquisa, foi evidenciado que um dos motivos da denominação Mulato, para canais fluviais distintos (Figura 19), se deu em virtude do processo de povoamento, por se tratar do principal fluxo hídrico superficial e que deu base para a sustentação da colonização e do povoamento do espaço geográfico ora em análise. De acordo com Lira Filho (2011), este recurso hídrico é considerado o mais importante do ponto de vista histórico e antrópico e, conseqüentemente, é o que atribui o nome da bacia hidrográfica em estudo.

Figura 19 – Canais fluviais distintos com a denominação Mulato. A – Lagoa do Mulato; B – Riacho Mulato; C – Rio Mulato.



Fonte: Ribeiro (2018).

A Bacia Hidrográfica do Rio Mulato, do ponto de vista ocupacional, tem sua origem vinculada aos povos indígenas da etnia Acoroás e Gueguêses, que a partir de 1699, com a chegada dos primeiros colonizadores, começou a se efetivar o povoamento em torno de um aldeamento promovido pelos jesuítas, na localidade denominada São José, região que se encontra hoje o município de Amarante (PI). Em 1973, a aldeia contava com uma população superior a 300 índios, sob a direção do

coronel João do Rêgo Castelo Branco. Aos índios foram dadas terras férteis, no vale do Mulato, para que cultivassem suas lavouras (IBGE, 2010).

A população que reside nos municípios que integram a bacia hidrográfica é de 70.001 habitantes, de acordo com o censo populacional do IBGE de 2010 (Tabela 03), e a maior parte destas estão envolvidas com atividades do setor primário, sendo a agropecuária, a extração vegetal e a silvicultura os setores que mais empregam, bem como o setor terciário da economia e dos serviços.

Tabela 03 - Dados populacionais da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

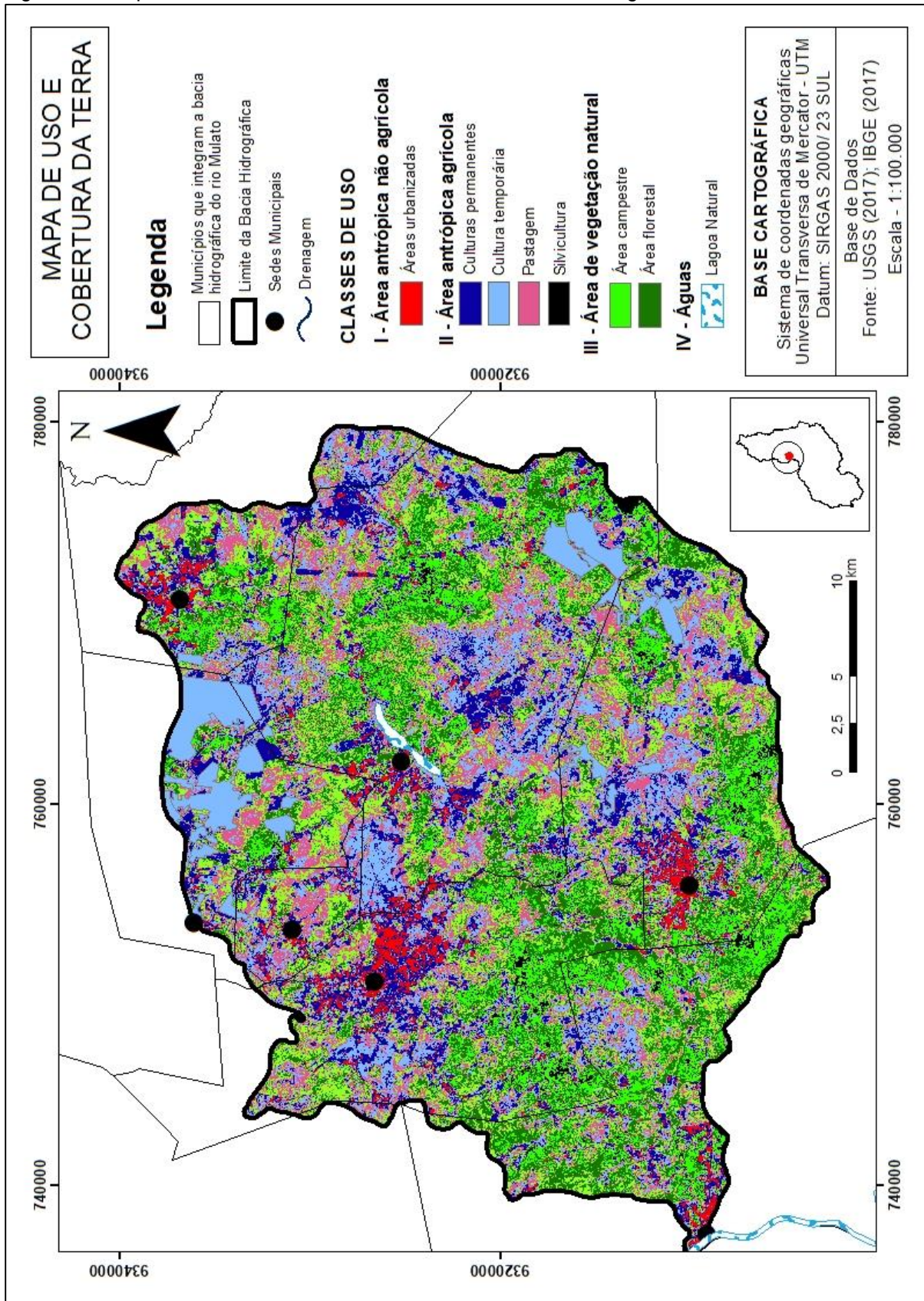
MUNICÍPIOS	CENSO (1991)	CENSO (2000)	CENSO (2010)
<b>Amarante</b>	16.528	16.884	17.135
<b>Angical do Piauí</b>	6.129	6.788	6.672
<b>Hugo Napoleão</b>	3.633	3.703	3.771
<b>Jardim do Mulato</b>	-	3.990	4.309
<b>Palmeirais</b>	11.595	12.154	13.745
<b>Regeneração</b>	20.537	17.471	17.556
<b>Santo Antônio dos Milagres</b>	-	1.876	2.059
<b>São Gonçalo do Piauí</b>	5.200	4.249	4.754
<b>Total</b>	<b>63.622</b>	<b>67.115</b>	<b>70.001</b>

Fonte: IBGE (2010). Organização: Karoline Veloso Ribeiro (2018).

Dessa forma, o mapeamento de uso e cobertura da terra (Figura 18) visou retratar os diferentes usos encontrados na BHRM, uma vez que o conhecimento e o monitoramento destes constitui elemento primordial para a compreensão dos padrões de organização do espaço.

Vale mencionar que estes são frutos de atividades econômicas que, via de regra, privilegia a antropização em detrimento da conservação ou preservação dos ambientes ali inseridos, principalmente nos dias atuais, já que as atividades ali realizadas constituem um dos caminhos indutores ao desenvolvimento socioeconômico. Com base no produto cartográfico gerado e validado *in loco* (Figura 20), apresentam-se na sequência as principais características de cada classe mapeada, a saber:

Figura 20 - Mapa de uso e Cobertura da terra da terra da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Fonte: USGS (2017). Elaboração: Ribeiro (2018).

I) Área antrópica não-agrícola: área urbanizada, de uso intensivo, estruturada por edificações e sistema viário, as sedes municipais (cidades), com centro populacional permanente e com funções urbanas e políticas próprias, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações, área ocupada por indústrias, complexos industriais e comerciais, como pode ser observado na figura 21 (BRASIL, 2013).

Figura 21 - Centro Histórico do município de Amarante, Piauí



Fonte: Ribeiro (2018).

Outro ponto que também merece destaque diz respeito à área industrial. Embora os municípios que abrangem a bacia hidrográfica não apresente um complexo industrial propriamente dito, a pesquisa levou em conta os processos industriais que ocorre na fábrica da Cachaça Lira (Figura 22), no município de Amarante (PI). A indústria de cachaça orgânica apresenta grande importância para a economia, estando voltada não apenas para o comércio local, mas também para o mercado internacional.

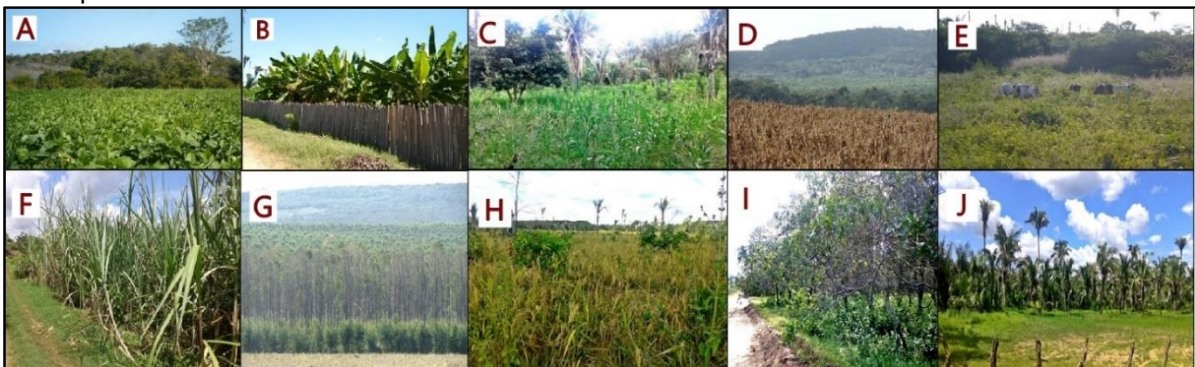
Figura 22 - Fábrica da Cachaça Lira no município de Amarante (PI).



Fonte: Ribeiro (2018).

II) Área antrópica agrícola: inclui todas as terras utilizadas para a produção de alimentos (Figura 23). Inclui terras cultivadas ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas. Nestas, encontram-se lavouras cultivadas temporariamente ou permanentes, áreas de pastagem, silvicultura e áreas comprovadamente agrícolas (BRASIL, 2013).

Figura 23 – Área Antrópica Agrícola na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí A – Lavoura de feijão no município de Santo Antônio dos Milagres; B – Bananicultura no município de Santo Antônio dos Milagres; C – Lavoura de milho no município de Jardim do Mulato; D – Monocultura de soja no município de Regeneração; E – Pastagem no município de Jardim do Mulato; F – Cultivo de cana-de-açúcar no município de Amarante; G – Reflorestamento com eucalipto no município de Regeneração; H – Lavoura de arroz no município de Amarante; I – Cultivo de caju no município de Amarante; J – Babaçuais no município de Amarante.



Fonte: Ribeiro (2018).

III) Área de vegetação natural (Figura 24): compreende um conjunto de formações florestais e campestres, abrangendo desde campos originais primários, bem como a presença de formações florestais secundárias, arbustivas e herbáceas (BRASIL, 2013).

Figura 24 – Área de vegetação natural na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí A - Cerradão e cerrado no município de Regeneração; B - Babaçuais no município de Regeneração; C – Caatinga Arbustiva aberta.



Fonte: Ribeiro (2018).

IV) Corpos d'água (Figura 25): referem-se a todos os corpos d'água naturais e artificiais (rios, riachos e lagoas naturais) identificados na imagem orbital utilizada. A figura 17C chama atenção quanto à utilização dos recursos naturais sem o devido planejamento, gerando, assim, impactos ambientais negativos, o qual repercute de



forma significativa na qualidade da água em toda a bacia hidrográfica.

Figura 25 – Corpos d’água da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí A – Foz do Rio Mulato, no Rio Parnaíba, no município de Amarante; B – Nascente do Riacho Mulato, no município de Regeneração; C – Lagoa do Mulato, no município de Jardim do Mulato.



Fonte: Ribeiro (2018).

O resultado obtido com o processo de classificação referente ao uso e cobertura da terra, considerando as modificações impostas pelas atividades socioeconômicas e a diferenciação das tipologias de uso, serviu para avaliar a pressão antrópica exercida pelo homem na BHRM.

Neste viés de análise, reporta-se que o processo de validação é uma etapa necessária na pesquisa, visto que há necessidade de analisar a acurácia do mapeamento. Assim, o quadro 08 exhibe os resultados para os indicadores estatísticos referentes ao Índice de acurácia global e ao Índice *Kappa*.

**Quadro 08** – Qualificação do Índice *Kappa* e de Acurácia global

Índice	Valor	Classificação
Kappa	0,857	Excelente
Acurácia Global	0,86	Excelente

Fonte: Autores (2018).

Ao analisar o quadro acima, verifica-se que o mapeamento de uso e cobertura da terra, realizado com base na interpretação da imagem de satélite *Landsat 8*, obteve um grau de concordância da ordem de 85% (*Kappa*) e 86% (acurácia global), evidenciando uma excelente classificação quando confrontado com a realidade de campo.

Neste contexto, como produto dos procedimentos metodológicos e operacionais deste estudo, exhibe-se na tabela 04 o quantitativo da área e suas respectivas classes que foram mapeadas. Em síntese, observa-se que as atividades agropecuárias (Área Antrópica Agrícola) ocupam 47,98% da área total da bacia. Por outro lado, as áreas de vegetação natural (Área Florestal e Área Campestre)

correspondem a 44,82%.

Tabela 04 - Quantitativo por classes do uso e cobertura da terra, na bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

CLASSES	DESCRIÇÃO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	% do TOTAL
Área Antrópica Agrícola	Pastagem	158,47	15,11
	Cultura temporária	195,34	18,62
	Cultura permanente	144,48	13,77
	Silvicultura	5,03	0,48
Área Antrópica Não-Agrícola	Área urbanizada	71,54	6,82
Área de Vegetação Natural	Área Florestal	174,71	16,65
	Área campestre	295,54	28,17
Corpos D'água	Rios, riachos e lagoas naturais	4,01	0,38
<b>TOTAL</b>		<b>1049,13</b>	<b>100,00</b>

Organização: Ribeiro (2018).

Dessa forma, as tabelas 05, 06 e 07 mostram os principais produtos resultantes da produção agrícola, na área em estudo.

Tabela 05 - Produtos agrícolas e quantidade produzida (Cereais, Leguminosas e Oleaginosas/2007) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí

MUNICÍPIOS	Arroz (t)	Feijão (t)	Milho (t)
Amarante	2475	147	1560
Angical do Piauí	612	30	413
Hugo Napoleão	270	27	163
Jardim do Mulato	341	14	150
Palmeirais	1440	93	1272
Regeneração	750	123	600
Santo Antônio dos Milagres	18	3	15
São Gonçalo do Piauí	401	42	338

Fonte: IBGE (2010). Organização: Ribeiro (2018).

Tabela 06 - Produtos agrícolas e quantidade produzida (Lavoura Permanente/2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí

PRODUTOS AGRÍCOLAS						
Lavoura Permanente (t)						
Municípios	Banana	Castanha de caju	Laranja	Manga	Coco da Baía (Frutos)	Goiaba
Amarante	242	117	30	198	-	-
Angical do Piauí	262	31	-	-	50	-
Hugo Napoleão	-	35	-	-	-	-
Jardim do Mulato	55	42	-	-	-	-
Palmeirais	166	112	-	60	-	-
Regeneração	260	31	-	-	-	-
Santo Antônio dos Milagres	-	2	-	-	-	-
São Gonçalo do Piauí	-	158	-	-	-	9

Fonte: IBGE (2010). Organização: Ribeiro (2018).

Tabela 07 - Produtos agrícolas e quantidade produzida (Lavoura Temporária/2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí

<b>PRODUTOS AGRÍCOLAS</b>								
<b>Lavoura Temporária (t)</b>								
<b>Municípios</b>	<b>Arroz</b>	<b>Cana</b>	<b>Fava</b>	<b>Feijão</b>	<b>Mandioca</b>	<b>Melancia</b>	<b>Milho</b>	<b>Soja</b>
<b>Amarante</b>	1112	4500	12	204	5100	-	1750	-
<b>Angical do Piauí</b>	311	960	12	51	740	-	585	-
<b>Hugo Napoleão</b>	480	-	5	76	672	-	914	-
<b>Jardim do Mulato</b>	353	180	8	37	260	-	348	-
<b>Palmeirais</b>	2083	250	35	77	120	495	1838	828
<b>Regeneração</b>	994	-	4	167	1098	-	1030	22928
<b>Santo Antônio dos Milagres</b>	59	-	-	14	8	-	90	-
<b>São Gonçalo do Pi</b>	459	-	-	95	600	400	1380	2520

Fonte: IBGE (2010). Organização: Ribeiro (2018).

Em relação aos efetivos da pecuária, observa-se a criação de bovino, caprino, bubalino, equino, galináceos, ovino e suíno, como pode ser visualizado na tabela 08. A produção do mel de abelha também foi verificada nos municípios de Hugo Napoleão, contando com 100kg do total produzido, e Regeneração com 36.650kg. A pesca também se destaca nos cinco municípios, como pode ser visualizado na tabela 09.

Tabela 08 - Efetivos do rebanho e quantidade produzida (2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

<b>PECUÁRIA</b>							
<b>Quantidade Produzida (Cabeças)</b>							
<b>Municípios</b>	<b>Bovino</b>	<b>Caprino</b>	<b>Bubalino</b>	<b>Equino</b>	<b>Galináceos</b>	<b>Ovino</b>	<b>Suíno</b>
<b>Amarante</b>	12.012	4647	-	541	65.747	5985	6951
<b>Angical do Piauí</b>	5.876	608	4	49	30.938	832	757
<b>Hugo Napoleão</b>	2.224	1311	-	18	37.534	220	677
<b>Jardim do Mulato</b>	3.359	2097	-	52	36.678	404	1.115
<b>Palmeirais</b>	9.390	1794	-	139	27.319	1.147	1.572
<b>Regeneração</b>	6.105	8459	-	278	53.384	4.163	4.703
<b>Santo Antônio dos Milagres</b>	272	128	-	8	789	67	159
<b>São Gonçalo do Pi</b>	3.114	921	-	54	6.380	342	318

Fonte: IBGE (2010). Organização: Ribeiro (2018).

Tabela 09 - Aquicultura e quantidade produzida (2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

<b>AQUICULTURA</b>			
<b>Espécies (Quantidade produzida/Kg)</b>			
<b>Municípios</b>	<b>Tambacu/Tambatinga</b>	<b>Tambaqui</b>	<b>Tilápia</b>
<b>Amarante</b>	20.400	136.600	1.100
<b>Angical do Piauí</b>	6.500	4.800	-
<b>Hugo Napoleão</b>	-	-	-
<b>Jardim do Mulato</b>	11500	9.450	-
<b>Palmeirais</b>	-	354.829	50.239
<b>Regeneração</b>	-	-	-
<b>Santo Antônio dos Milagres</b>	-	-	-
<b>São Gonçalo do Piauí</b>	-	30.200	-

Fonte: IBGE (2010). Organização: Ribeiro (2018).

Em relação ao extrativismo vegetal, destaca-se a extração da cera (Carnaúba), madeira (carvão vegetal, lenha e madeira em tora), oleaginosos (babaçu), silvicultura (lenha do eucalipto), além de aromáticos, medicinais, tóxicos e corantes, como pode ser visualizada na tabela 10.

Tabela 10 - Extração vegetal e quantidade produzida (2017) nos municípios que abrangem a bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

EXTRAÇÃO VEGETAL							
Produtos (Quantidade produzida)							
Municípios	Ceras (t)		Madeira		Oleaginosos	Silvicultura	
	Carnaúba	Carvão Vegetal (t)	Lenha (m <sup>3</sup> )	Madeira em Tora (m <sup>3</sup> )	Babaçu (t)	Eucalipto	
						Área Plantada (ha)	Qtd.
<b>Amarante</b>	29	43	830	76	1	86	-
<b>Angical do Piauí</b>	-	35	1140	-	2	-	-
<b>Hugo Napoleão</b>	-	11	1410	98	0	735	-
<b>Jardim do Mulato</b>	-	4	3976	-	1	149	-
<b>Palmeirais</b>	14	1816	2866	205	173	757	-
<b>Regeneração Santo Antônio dos Milagres</b>	19	774	12110	136	5	5970	48.532
<b>São Gonçalo do Piauí</b>	-	3	210	-	-	-	-
<b>São Gonçalo do Piauí</b>	-	26	2528	-	1	-	-

Fonte: IBGE (2010). Organização: Ribeiro (2018).

Embora a silvicultura esteja presente nos municípios de Amarante, Hugo Napoleão, Jardim do Mulato, Palmeirais e Regeneração, apenas este último tem sua cultura destinada à extração vegetal a partir da utilização da lenha, como mostra a figura 26.

Figura 26 - Extração vegetal da lenha de eucalipto, no município de Regeneração, Piauí



Fonte: Ribeiro (2018).

Em campo, foi possível observar que a atividade agropecuária ocorre de forma dispersa na BHRM e, na sua maioria, se dá principalmente em áreas de planícies e nos terraços fluviais, que é onde se encontram as condições mais propícias relacionadas à fertilidade de solos e a presença de água, favorecendo, assim, o seu desenvolvimento.

Corroborar-se, portanto, a potencialidade desse sistema natural em uma perspectiva socioeconômica na contextualização do semiárido nordestino. No entanto, ações que não são compatíveis com a fragilidade natural do ambiente propiciam e potencializam ainda mais impactos ambientais negativos ao solo, na vegetação e nos recursos hídricos.

Nesta perspectiva, compreende-se que pesquisas, análises e interpretações do uso e cobertura da terra colaboram, de maneira consistente, com o conhecimento aprofundado da região, uma vez que este tipo de estudo, aliado aos mapeamentos das características físico-naturais, podem indicar a fragilidade ambiental da área em epígrafe e servir de subsídio ao planejamento ambiental.

## **5 ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MULATO, ESTADO DO PIAUÍ**

A análise da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados envolvem um conjunto de informações e a proposição de diferentes modelos que perpassam, obrigatoriamente, pelo inventário do quadro natural e, posteriormente, associa-se aos usos e a cobertura da terra, sendo, assim, analisados integradamente. Para a determinação da fragilidade ambiental na BHRM, realizou-se o cruzamento dessas informações, de acordo com as classes de fragilidade, como descrito na seção metodológica desse trabalho.

### **5.1 FRAGILIDADE POTENCIAL**

Nesta abordagem, é importante ressaltar que a fragilidade potencial considera os aspectos naturais, caracterizando o equilíbrio dinâmico natural, sem considerar as influências da sociedade. Indica os níveis de fragilidade, sob a ação dos processos morfogenéticos atuantes na paisagem, resultantes da correlação dos componentes físico-naturais.

Em síntese, esta pesquisa tem a geomorfologia como chave para a compreensão do meio físico, com base nas características do relevo, suas unidades, incluindo variedades e os atributos de seus elementos, seguido pelas características de solo e clima, para a identificação de áreas com maior e/ou menor fragilidade.

Esta escolha parte do princípio de que o relevo encontra-se intimamente relacionado com o potencial cinético para o escoamento hídrico superficial e, conseqüentemente, a instabilidade do ambiente mediante processos erosivos, dentre outros processos que evidenciem certa instabilidade.

No que diz respeito a variável climática, esta constitui um fator de extrema relevância para essa análise, na medida em que exerce ação direta na dinâmica desse sistema natural, haja vista a influência direta na evolução das formas de relevo por meio do intemperismo e erosão, seja pluvial ou fluvial.

Sobre esta contextualização, são demonstrados a seguir os resultados obtidos para cada variável de maneira inter-relacionada, quantificadas a partir do cruzamento de informações referentes à declividade, solos e clima, sendo estas determinadas em cinco classes, a saber: Muito baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, conforme a tabela 11.

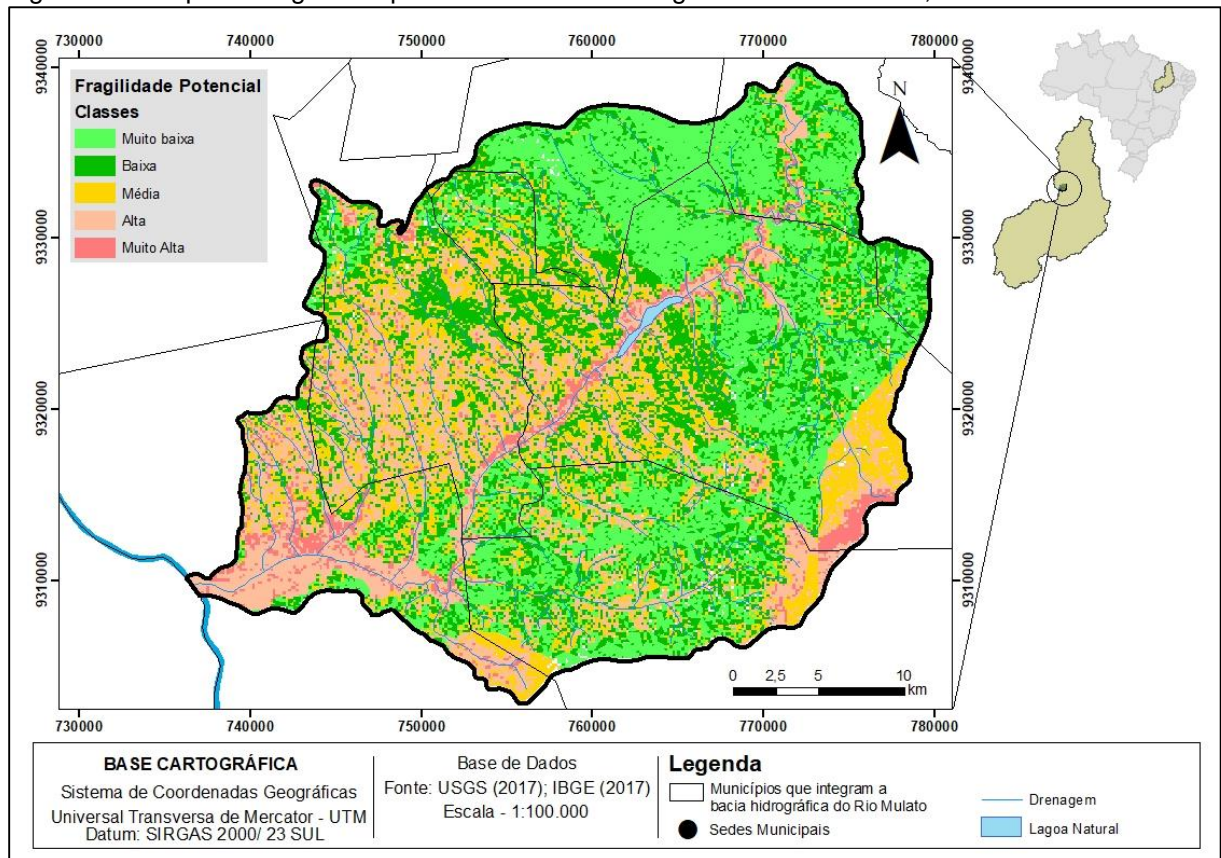
Tabela 11 – Fragilidade Potencial da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

Classes de Fragilidade Potencial	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem
Muito Baixa	301,08	28,70%
Baixa	274,85	26,20%
Média	196,75	18,75%
Alta	227,68	21,70%
Muito Alta	48,77	4,65%
<b>Total</b>	<b>1.049,13</b>	<b>100%</b>

Fonte: IBGE (2010). Organização: Ribeiro (2018).

As classes de fragilidade potencial mais representativa correspondem aos setores muito baixa e baixa, estando dispostas por todos os setores da BHRM (Figura 27). Estas classes ocupam, principalmente, as áreas que apresentam declividade de 0 a 12%, portanto, fraca, caracterizado como relevo plano a suave plano, estando predominantemente associada aos Latossolos, mas também uma parte aos Chernossolos. Nestas classes, tem-se uma topografia pouco movimentada, indicando baixa instabilidade potencial, uma vez que os processos erosivos são diminutos. Juntas representam mais de 50% da área da bacia.

Figura 27 – Mapa de fragilidade potencial da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Fonte: Ribeiro (2018).

Por sua vez, as classes consideradas média e alta correspondem a 40% da área total da bacia, uma vez que se encontra em áreas com declive variando de 12 a 30%, portanto, médio a forte, caracterizado por relevo suave ondulado a ondulado, e próximos a cursos d'água, onde predominam Chernossolos e Neossolos. Observa-se que a fragilidade potencial muito alta aparece em menor proporção, ao representar pouco mais de 4%, o que equivale a 48,77 km<sup>2</sup>.

De modo geral, a fragilidade potencial da BHRM apresenta uma baixa fragilidade natural e, conseqüentemente, menor suscetibilidade aos processos erosivos. A predominância da classe de fragilidade potencial muito baixa é reflexo de sua abrangência em áreas planas, por estarem, predominantemente, distribuída em áreas com pouco declive, agregando, assim, uma Instabilidade Potencial muito baixa. Encontra-se ainda disposta, principalmente, nos planaltos rebaixados e em alguns trechos da planície fluvial, bem como na predominância dos menores índices pluviométricos registrados para os municípios que se encontram em liame com essa classe. O que difere as características da fragilidade muito baixa para a baixa é a distribuição dos solos em relevo mais movimentado, uma vez que a variação da declividade é fator fundamental para a determinação destas classes.

Nas áreas de fragilidade muito alta, observa-se um relevo mais dissecado, associado às formas denudacionais tabular, e o campo de morros testemunhos. Pertinente aos solos ocorrem os Neossolos Litólicos, sendo pouco profundos, distribuídos em relevo ondulado a forte ondulado, portanto, com alta suscetibilidade aos processos erosivos. Esse contexto, diante da presença de chuvas, favorece a intensificação desse processo, visto que a camada pedológica tende a ser mais facilmente carregada para os níveis altimétricos mais baixos, dificultando ou impedindo a regeneração da cobertura vegetal e a estabilidade desse sistema.

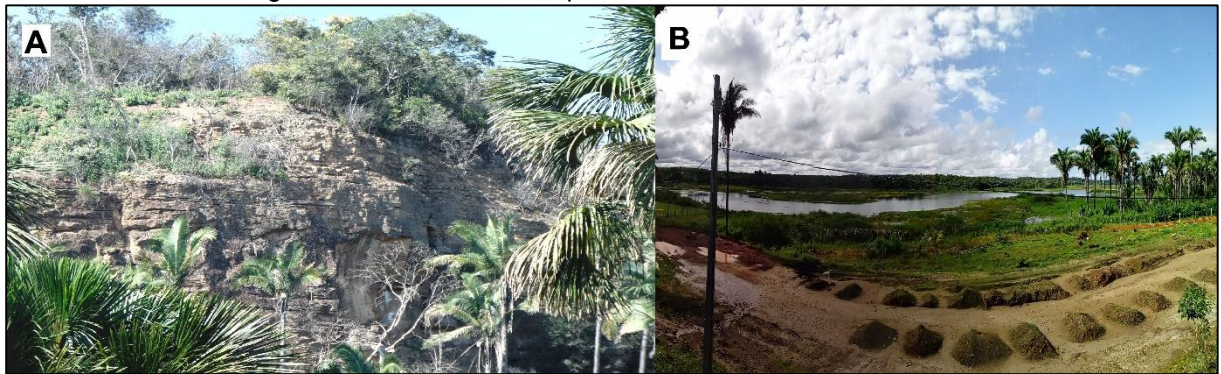
É importante destacar que a depender do tipo de solo em áreas com maior declive, constata-se um maior grau de fragilidade a esses ambientes face às suas características genéticas. Portanto, cada uma dessas classes indicam as potencialidades, restrições ou alternativas para o desenvolvimento de atividades econômicas que ali acontecem, ou demonstram o seu potencial para as práticas de manejo que ali venham a se desenvolver, em função das condições edafoclimáticas e topográficas, fundamentais para o desenvolvimento destas atividades.

Ao partir dos resultados obtidos com relação à fragilidade potencial que a BHRM apresenta, pode-se inferir que a mesma se encontra ecodinamicamente



estável, visto que as declividades pouco acentuadas e a predominância de solos com boa profundidade e drenagem, garantem a esse sistema uma estabilidade natural. No entanto, vale ressaltar que esta não isenta a bacia hidrográfica de problemas relacionados aos processos atuais, relacionados à erosão, uma vez que boa parte da área da bacia não conta com matas nas áreas de vertentes mais íngremes, e/ou presença de mata ciliar ao longo dos cursos hídricos, como mostra a figura 28.

Figura 28 – A – Vertente exposta com pouca presença de vegetação arbórea; B – Ausência da mata ciliar no entorno da Lagoa do Mulato, no município de Jardim do Mulato, Piauí



Fonte: Ribeiro (2018).

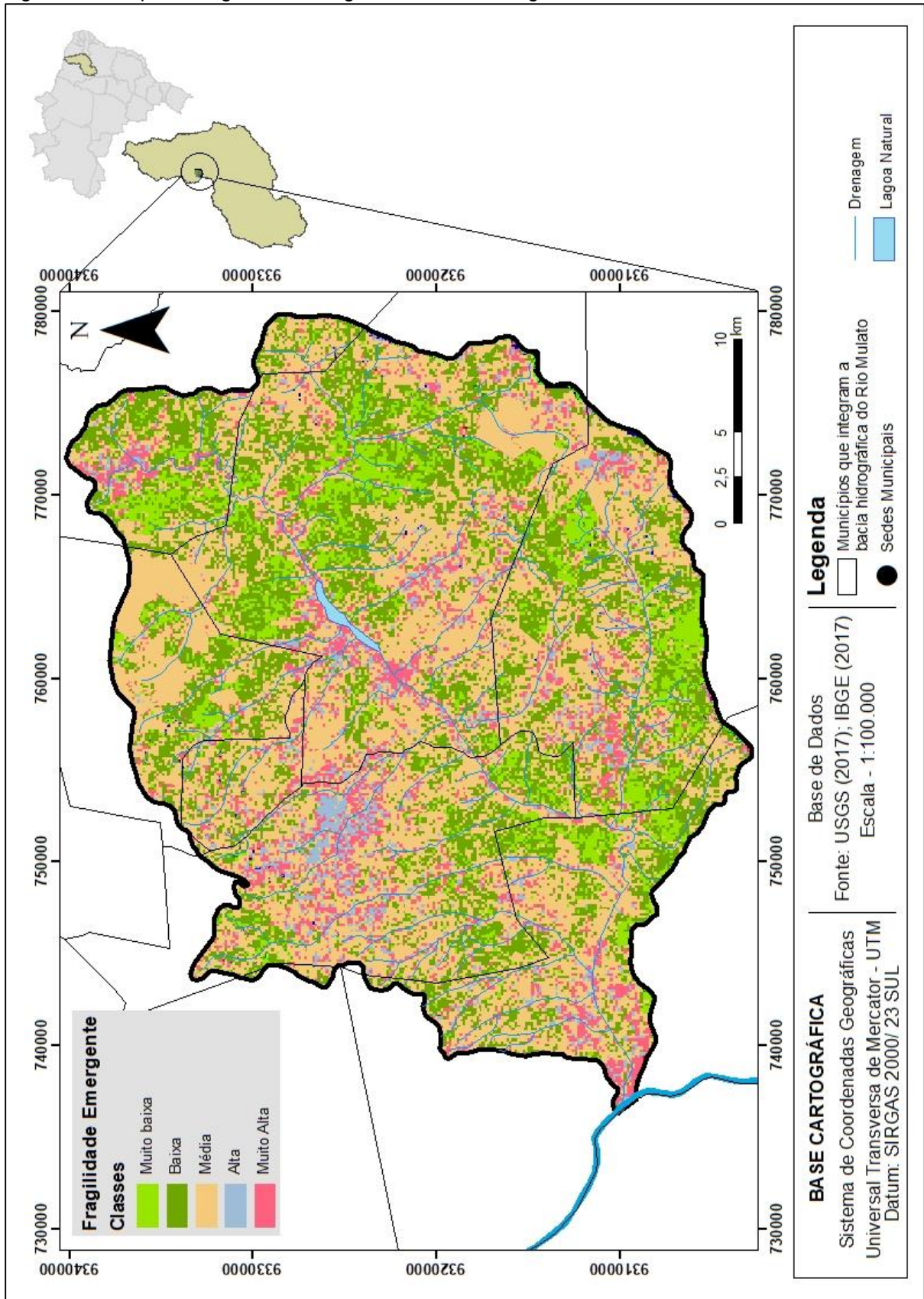
É importante frisar que a falta de cobertura vegetal torna-os mais suscetíveis e favoráveis aos processos erosivos. Além disso, os solos ficam mais vulneráveis, uma vez que apresentam uma capacidade de retenção de água menor, o que contribui para o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão laminar.

## 5.2 FRAGILIDADE EMERGENTE

A fragilidade emergente considera a relação entre a fragilidade potencial, acrescida a intervenção antrópica, ou seja, a forma como a sociedade usa e ocupa a terra. Dessa forma, o mapa de uso e cobertura da terra é fundamental para esta análise, pois essas informações são cruciais à noção de interferência ocasionada pela sociedade na BHRM e do potencial de proteção da vegetação ao solo, indicando, assim, a fragilidade da área em relação ao seu uso ou se este é compatível com o potencial da área.

Acerca da fragilidade emergente sobre a extensão da bacia hidrográfica do Rio Mulato, estado do Piauí, destacam-se às seguintes classes, a saber: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, conforme mostra a Figura 29.

Figura 29 – Mapa de fragilidade emergente da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí



Fonte: Ribeiro (2018).

A seguir são demonstrados os resultados obtidos de maneira inter-relacionada, quantificadas a partir do cruzamento de informações referentes à fragilidade potencial e ao uso e cobertura da terra, conforme a tabela 12. Tais classes permitiram analisar se os usos estão sendo desenvolvidos de maneira organizada e produtiva diante da fragilidade natural dos ambientes, e se as atividades desenvolvidas estão potencializando os processos erosivos.

Tabela 12 – Fragilidade Emergente da bacia hidrográfica do Rio Mulato, Piauí

<b>Classes de Fragilidade Emergente</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem</b>
Muito Baixa	95,04	9,06%
Baixa	290,10	27,65%
Média	468,14	44,62%
Alta	140,26	13,37%
Muito Alta	55,59	5,30%
<b>Total</b>	<b>1.049,13</b>	<b>100%</b>

Fonte: IBGE (2010). Organização: Ribeiro (2018).

A classe de fragilidade emergente média prevalece na área de estudo, por abranger 468,14km<sup>2</sup>, representando 44,62%. Ocorrem em áreas onde a cobertura vegetal corresponde a Caatinga arbustiva aberta, podendo, ainda, ocorrer associadas às culturas temporárias (ciclos curtos), com destaque para a produção de arroz, feijão, mandioca, milho e soja; culturas permanentes (ciclos longos) como a castanha de caju e banana e, também, nas áreas de pastagens com baixo pisoteio, em virtude da pecuária extensiva, além das silviculturas.

Salienta-se, ainda, a utilização do carvão vegetal, resultante da queima da lenha, como fonte de energia. A quantidade produzida para o ano de 2017 foi de 2.712 toneladas na área em estudo, colaborando, deste modo, para a ampliação das áreas desmatadas. A depender da intensidade dos impactos, estas áreas tendem a reverter-se para um quadro de fragilidade emergente forte ou muito forte.

A retirada da cobertura vegetal constitui-se, nesse aspecto, como um excelente indicador para a identificação de áreas mais instáveis, enquanto a conservação desta exerce uma função de fundamental importância, principalmente, no fornecimento de água para o solo, além de protegê-lo do impacto da energia cinética das gotas da chuva, evitando, conseqüentemente, o carreamento desse material e o início dos processos erosivos.

Ao considerar este aspecto, as perdas de solo precisam ser levadas em

consideração, visto que acarreta uma série de mudanças quanto à sua fertilidade natural, além de contribuir, em grande parte, no processo de assoreamento do Rio Mulato. Em dias chuvosos, pôde ser observada a grande presença de partículas de solos sendo transportadas pela água, em função da coloração que a mesma apresenta, ficando evidente esta constatação na figura 30. Isso decorre do transporte de sedimentos das vertentes para dentro do leito do rio.

Figura 30 – Sedimentos em suspensão no baixo curso do Rio Mulato em Amarante, Piauí



Fonte: Ribeiro (2018).

Na sequência aparece a fragilidade emergente baixa, distribuída por toda a área da bacia. Ocorre em áreas onde a cobertura vegetal corresponde a estratos arbustivos naturais e, em alguns setores, estrato herbáceo denso. Isto evidencia a importância da cobertura vegetal para a manutenção do sistema, por demandar ao quadro natural uma Instabilidade Potencial previsível face às suas características naturais e a sempre possível inserção antrópica. Observa-se que a fragilidade emergente muito baixa encontra-se associada a esta classe, ao representar pouco mais de 9%, ocupando uma área de 95,04 km<sup>2</sup>.

Tricart (1976) acrescenta, ainda, a importância da cobertura vegetal suficientemente espessa na manutenção dos declives muito acentuados, proporcionando, assim, relativa estabilidade. Esta ameniza ou impede o fluxo superficial hídrico e o transporte de detritos, favorecendo a restauração da vegetação, reconstituição do solo e, com estes, o processo de pedogênese.

A fragilidade emergente alta (13,37%) e muito alta (5,30%) abrangem 195,85km<sup>2</sup>, correspondendo a 18,67% da área em estudo, com predominância das áreas urbanizadas, como as rodovias pavimentadas, as estradas em leito natural com ausência de vegetação, solo exposto (por arado/degradação) ao longo de caminhos

e estradas, além de áreas desmatadas, queimadas recentes e àquelas destinadas ao pousio. Apesar de ocupar a menor área da bacia hidrográfica, ao relacionar com as demais classes de fragilidade emergente, é a que apresenta maior pressão antrópica.

Na BHRM observou-se que as práticas agrícolas utilizam técnicas rudimentares, como as queimadas, para a limpeza do terreno. No entanto, sabe-se que esta prática acelera os processos erosivos, acrescentando um maior grau de fragilidade. Além disso, o aumento da taxa de urbanização contribui significativamente para uma maior demanda a implantação de infraestruturas e equipamentos para atender a população. Como consequência, ampliam-se os impactos negativos, já que a intervenção antrópica modifica intensamente os ambientes naturais através de desmatamentos e práticas econômicas diversas.

Reforçam-se os aspectos positivos da atividade antrópica frente aos usos e ocupação da terra, desde que aconteça de forma planejada e condizente com a fragilidade dos ambientes, e que utilizem práticas conservacionistas. Esta constitui fator fundamental para conter os processos erosivos e para manter a qualidade agrícola dos solos.

Do ponto de vista geomorfológico, a fragilidade emergente média (de maior representatividade) encontra-se espacializada em um cenário que envolve um tênue limiar, ora com o favorecimento dos processos de pedogênese, ora com os processos de morfogênese. Tais processos podem atenuar ou intensificar vários outros processos que demandem ao sistema natural certa estabilidade/instabilidade no ambiente.

Atenta-se para o fato de que a declividade apresenta grande influência na determinação das áreas mais e menos frágeis. Dessa forma, é de fundamental importância o monitoramento contínuo para a identificação do avanço e/ou restauração desses setores, com via ao planejamento ambiental e a gestão do território.

### 5.3 CENÁRIO ATUAL: FRAGILIDADE AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL

A fragilidade ambiental se relaciona tanto com a dinâmica dos elementos físico-naturais, bem como a maneira que o ser humano utiliza esse espaço natural. Ao realizar esta pesquisa, a observação dos elementos formadores do ambiente natural da Bacia Hidrográfica do Rio Mulato serviu para conhecer esta dinâmica, bem como

seus processos atuantes, visto que a ação humana é, em muitos casos, o fator determinante para a estabilidade/instabilidade desse sistema. Conforme Ross (1994) a atuação da sociedade afeta a funcionalidade deste sistema, podendo, assim, propiciar um quadro de instabilidade momentânea ou definitiva.

Nesse viés, observou-se que nas áreas onde predomina a cobertura vegetal, a fragilidade ambiental é diminuta. Enquanto nas áreas mais íngremes associadas a solos mais suscetíveis ao processo erosivo, como os Neossolos Litólicos, a vegetação tende a ser mais suprimida e, conseqüente, apresenta uma fragilidade ambiental mais acentuada. Com isso, verificou-se que as intensificações das áreas de fragilidade são resultantes das relações socioeconômicas que ocorrem ao longo do tempo.

Cabe lembrar que a fragilidade ambiental está ligada à suscetibilidade do ambiente em sofrer intervenções, perturbações, ou de ser alterado. Quando esse equilíbrio dinâmico é alterado, o sistema pode entrar em colapso, passando para uma situação de suscetibilidade a degradação ambiental (SPÖRL; ROSS, 2004). Sabe-se que as atividades relacionadas às práticas agropecuárias e ao extrativismo predominam na BHRM, o que potencializa os processos de degradação. No entanto, a desestabilização do ecossistema pode ter como indutores, tanto processos naturais, como aqueles voltados às ações antrópicas.

Dentre os principais e mais frequentes riscos estão os assoreamentos dos corpos hídricos, deslizamentos de encostas íngremes, que levam a perda da biodiversidade e da qualidade ambiental dos solos e da cobertura vegetal, corroborando com as concepções de Tricart (1977), quando o autor destaca a importância de se conhecer a instabilidade de um ambiente em projetos que visem o planejamento ambiental.

Apesar da quase totalidade da bacia não ultrapassar a classe de fragilidade ambiental média, algumas considerações devem ser postas. No que se refere ao uso e ocupação da terra, cabe salientar que estas ocupam 54,5% da área total da bacia. Isso fica evidente a necessidade de medidas que visem à redução de perdas de solo, que acabam por interferir, diretamente, na produção agrícola.

Diante disso, o mapeamento da fragilidade ambiental na BHRM expressou o cenário atual da área em epígrafe, já que o conhecimento das características naturais da bacia constituiu fator de extrema relevância nessa análise, uma vez que a dinâmica de uso e ocupação do solo determina o equilíbrio ou desequilíbrio do ambiente natural.

No entanto, atenta-se para o fato de que, nem sempre, áreas que apresentam

maior declividade, conseqüentemente, irá apresentar maior fragilidade e vice-versa, tendo em vista que diversas variáveis atuam e interagem de forma integrada. No caso da bacia hidrográfica do Rio Mulato, tais resultados refletem de forma eficaz as condições da área estudada, uma vez que as classes especializadas como fragilidade média apresentam condições propícias a processos erosivos significativos e de atividades que, por vezes, excedem a capacidade de suporte do ambiente. Portanto, é uma área que precisa ser constantemente monitorada.

Ações de caráter preventivo, tomadas a partir do conhecimento da fragilidade ambiental, como técnicas agrícolas e silviculturais que perpassam práticas sustentáveis de conservação dos solos, são importantes ao configurarem-se em propostas de conservação, recuperação e uso sustentável dos recursos naturais. Dessa forma, atividades econômicas mais comuns e recomendadas pauta-se na agricultura convencional para as áreas mais frágeis e reflorestamento, preferencialmente, destinada à conservação ambiental ou atividades que resultem em baixo impacto ambiental.

Assim, fica evidente que os estudos de fragilidade ambiental proporcionam melhor definição das diretrizes e ações a serem implantadas em um espaço físico-territorial, ao fornecer subsídios à gestão do território (SPÖRL; ROSS, 2004). Além disso, este conhecimento sintetizado, em forma de produto cartográfico, pode servir como uma importante ferramenta para avaliações ambientais estratégicas, especialmente em casos de intervenção antrópica.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento da fragilidade ambiental, como resultado da síntese desse produto, reflete a combinação das características dos fatores que direcionam para tal resposta, através do cruzamento de informações dos mapas temáticos (álgebra de mapas) e da classificação de cada uma das suas feições, de acordo com as classes de fragilidade para cada mapeamento e dos aspectos físicos e socioeconômicos da área em estudo.

Para a análise da fragilidade ambiental foram consideradas a fragilidade potencial dos ambientes (Unidades Ecodinâmicas Estáveis ou de Instabilidade Potencial), por meio dos tipos de solos e da geomorfologia, através das classes de declividade, e de fragilidade emergente (Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente), pelo tipo de uso do solo.

No entanto, ao se tratar de fragilidade ambiental, deve-se levar em consideração outros fatores que estão diretamente associados aos processos erosivos, como a pluviosidade, além da litologia. Essas informações adicionais também analisadas na pesquisa, propiciou uma maior precisão aos resultados, uma vez que analisadas em conjunto, constituem-se fatores decisivos no processo de intemperismo das rochas e na formação de solos.

No trabalho proposto de Ross (1994), os graus de fragilidade ambiental são considerados em relação aos processos erosivos. Sendo assim, as áreas de maior fragilidade ambiental encontradas na área da bacia correspondem aquelas com alta declividade, solos suscetíveis à erosão e pelo uso da terra e cobertura vegetal.

Destaca-se que a bacia hidrográfica do Rio Mulato tem um histórico de ocupação marcado pela exploração econômica dos seus recursos naturais, tendo em vista sua ocupação às margens deste rio para fins agropecuários, possibilitando, assim, o desenvolvimento do comércio.

A aferição em campo possibilitou conhecer o ambiente e, com isso, percebeu-se que a ação antrópica, por meio de práticas agrícolas não conservacionistas, como o plantio em áreas de declive acentuado, solo exposto pelo arado, a substituição da mata nativa por espécies exóticas e a derrubada da mata ciliar, são ações que tem contribuído para o aumento da fragilidade, uma vez que exprime uma pressão nesse sistema. Além destes problemas identificados, verificou-se a ocupação irregular ao longo das planícies de inundações, proporcionando, assim, riscos às populações. Do ponto de vista físico, a BHRM apresenta formato circular, evidenciando um histórico



de inundações com enchentes sazonais causadas por fenômenos ou eventos climáticos atípicos, com danos materiais e humanos.

Em virtude da crescente preocupação com os problemas ambientais, nota-se na área em epígrafe um estágio significativo e tendencial de degradação do ambiente. Nesse viés, o reconhecimento das formas predatórias de desenvolvimento, com ênfase na exploração dos recursos naturais, impulsiona à busca por um desenvolvimento mais equânime. E o desafio encontra-se na busca por soluções que provenham riqueza e bem-estar às populações locais, ao propiciar um padrão de desenvolvimento sustentável, além de ações que promovam a melhoria da qualidade de vida e do padrão de qualidade ambiental.

Para tanto, apresenta-se algumas ações a serem utilizadas na BHRM com direcionamento adequado à conservação/preservação diante do cenário diagnosticado pelo mapeamento de uso da terra:

- Lavoura: constata-se a presença maciça dos desmatamentos, em que o impacto social positivo ainda é muito tênue. À luz da necessidade de se redefinir os modelos de exploração, como alternativa, devem ser lançados programas agroflorestais, em consonância com as preocupações ambientais. Quanto à extração vegetal, projetos que visem manter hábitos preservacionistas de biodiversidade.
- Piscicultura: percebe-se a falta de infraestrutura para a conservação do pescado, uma vez que a pesca predatória leva a extinção da produção e prejudica, principalmente, a população que tem como fonte de alimento e/ou renda. Neste sentido, uma campanha de legalização referente à atividade pesqueira seria uma alternativa viável para esse tipo de atividade.
- Urbanização: a perda da vegetação natural desencadeia uma série de processos que impactam o meio ambiente e representa uma miscelânea de usos. No entanto, o conhecimento das características e da dinamicidade do ambiente envolve uma ação destinada a uma ocupação econômica e social com direcionamento adequado à conservação/preservação.

Nessa perspectiva, o mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Mulato (PI), expressa através dos mapas, é um instrumento que possibilita compreender e analisar o espaço de maneira integrada podendo, posteriormente, ser utilizado em estudos que visem o planejamento ambiental e o ordenamento do território na área de estudo. Destarte, possibilita, ainda, elaborar

diretrizes para uma gestão territorial mais efetiva, levando em conta os diversos atores que estão inseridos, já que os processos decisórios necessitam de uma boa base de informações.

Portanto, a análise integrada dos aspectos físicos e humanos e o mapeamento temático, através das ferramentas de geoprocessamento, permitiram a elaboração de um produto com caráter de síntese, evidenciando, assim, os níveis de fragilidade ambiental na área em análise. Chama atenção às classes de fragilidade alta e muito alta, que embora abarque uma pequena parcela da área de estudo (195,85 km<sup>2</sup>), deve-se procurar o uso racional dos recursos naturais e o manejo adequado do solo, para que esta não passe para uma situação de suscetibilidade a degradação ambiental.

Em resposta aos questionamentos que nortearam a pesquisa, as classes de fragilidade ambiental encontradas na área explica a correlação entre a classe de menor e maior fragilidade frente aos usos estabelecidos pela ação antrópica. Estas adquirem considerável relevância, pois sua compreensão propicia o estabelecimento de ações de cunho conservacionista voltada ao desenvolvimento regional, que considere de um lado as potencialidades dos recursos naturais e de outro as fragilidades potenciais dos mesmos.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Adilson Avansi de. **Análise geomorfológica: reflexo e aplicação** (uma contribuição ao conhecimento das formas de relevo do planalto de diamantina minas gerais). 1982. 296 p. Tese (Doutorado)-Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 1982.

AB' SABER, Aziz Nacib. **Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida**. Estudos avançados, São Paulo, p. 3-21, 1999.

ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva. **Análise geoambiental como subsídio ao ordenamento territorial do município de Horizonte – Ceará**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2012.

\_\_\_\_\_. **Avaliação das condições socioambientais em bacias hidrográficas costeiras: contribuição ao ordenamento territorial do setor leste da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará**. 256 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.

ALMEIDA, Lutiane Queiroz de. Diagnóstico socioambiental e contribuições para o planejamento ambiental do município de Maracanaú – CE. **Caminhos de Geografia**. v. 2, p. 108-125, 2005.

ARAÚJO, José Luis Lopes. **Atlas escolar do Piauí: geo-histórico e cultural**. Editora Grafset, João Pessoa, PB, 2006.

AQUINO, Cláudia Maria Sabóia de; VALLADARES, Gustavo Souza Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. **Geografia**, v. 22, n.1, p. 117-138, 2013.

BERTALANFFY, Lwduig Von. **General System Theory**. Foundations, development and applications. New York: George Braziler, 1968.

BIGARELLA, João José. **Estrutura e origem das paisagens tropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, v. 3, 2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radam Brasil**. Levantamento de recursos naturais, v. 2, Folha SB-23 Teresina e Folha 24 Jaguaribe, Rio de Janeiro, 1973.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. Ed. Rio de Janeiro, 2013.

CABRAU, João Batista Pereira; ROCHA, Isabel Rodrigues da; MARTINS, Alécio Perini; ASSUNÇÃO, Hildeu Ferreira da; BECEGATO, Valter Antônio. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio doce (go), utilizando técnicas de geoprocessamento. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica – GeoFocus**. n. 11, p. 51-69, 2011.

CARMO, Jean Pereira de Azevedo do; SILVA, Paulo Diego D'ouvidio. A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. Porto Alegre. In: XVI

ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, **Anais...** Porto Alegre – RS, 2010.

CARVALHO, Rodrigo Guimarães de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, Volume Especial, n.36, p. 26-43, 2014.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Revista de Geomorfologia**, Campinas, v.18, n.9, p. 35-64, 1969.

\_\_\_\_\_. **Análise de sistemas em geografia**. HUCITEC, São Paulo, 1979.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1980.

\_\_\_\_\_. A aplicação da abordagem em sistemas na geografia física. **Revista Brasileira de Geografia**. v. 52, n. 2, p. 21-35, 1990.

\_\_\_\_\_. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In GUERRA, Antonio José Teixeira e CUNHA, Sandra Baptista da. (org.). **Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p 415-441, 2001.

COSTA, Fabiane Hilario dos; PETTA, Reinaldo Antônio; LIMA, Raquel Franco de Souza; MEDEIROS, Cleyber Nascimento de. Determinação da vulnerabilidade ambiental na bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, p. 119-127, 2006.

CPRM. **Projeto Geobank**. 2010. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em: 15 jan. 2018.

CREPANI, Edson; MEDEIROS, José Simeão de; HERNADEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Teresa Gallotti; DUARTE, Valdete; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CRISPIM, Andrea Bezerra. **Sistemas ambientais e vulnerabilidades ao uso da terra no vale do rio Pacoti – CE: subsídios ao ordenamento territorial**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2011.

CUNHA, Cenira Maria Lupinacci; MENDES, Iandara Alves; SANCHEZ, Miguel Cezar. Técnicas de Elaboração, Possibilidades e Restrições de Cartas Morfométricas na Gestão Ambiental. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 3, p.415-429, 2003b.

DAVIS, William Morris. The geographical cycle. **The Geographical Journal**, London: Royal Geographical Society, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899. Disponível em: [http://www.ugb.org.br/home/artigos/classicos/Davis\\_1899.pdf](http://www.ugb.org.br/home/artigos/classicos/Davis_1899.pdf). Acesso em: out. 2018.

DUNN, Matthew.; HICKEY, Robert J. The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS. **Cartography**, v. 27, n. 1, p. 9-15., 1998.

ERARTH, Henri. **La Theorie bio-rexistesique et les problemews biogeographiques et paleobiologiques**. Soc. Biogeogr., France, CNR (288): 43-53, 1956.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

FERREIRA, Antonio Geraldo; MELLO, Namir Giovanni da Silva. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FIERZ, Marisa de Souto Matos. As abordagens sistêmica e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: Contribuição à geomorfologia das planícies costeiras. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, São Paulo, 2008.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de Textos, São Paulo, 2008. 160p.

FRANCO, Renato Alberto Momesso; HERNANDEZ, Fernando Braz Tangerino; LIMA, Ronaldo Cintra. Análise da fragilidade ambiental na microbacia do córrego do Coqueiro, no noroeste paulista. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. **Anais...** Foz do Iguaçu, p.5040-5046, 2013.

GONÇALVES, Geula Graciele Gomes; DANIEL, Omar; COMUNELLO, Éder; VITORINO, Antônio Carlos Tadeu; PEREIRA, Heloisa Helena Gianotti; ARAI, Fabiane Kazae. Caracterização empírica da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas – o caso da bacia do Rio Dourados - MS. Corumbá. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL. **Anais...** Corumbá – MS, p. 422-432, 2009.

GUERASIMOV, I. P. Problemas metodológicos de ecologización de La ciência contemporânea. In: **La Sociedad El Medio Natural**. Moscou: Editorial Progreso, 1980.

GERASSIMOV, I. P.; MESCHERIKOV, J. L. Morphostructure. In: FAIRBRIDGE, R. W. (Ed.). **The encyclopedia of geomorphology**. New York: Reinhold Book Corp., c1968. p. 731-732.

GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista. **Geomorfologia ambiental**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2006.

GUPTILL, S.C; MORRISON, J.L. **Elements of spatial data qualify**. Elsevier Sci., U.K. 1995.

HACK, Jonh Tilton. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**, Bradley, v. 258, p. 80-97, 1960.

HOWARD, A. D. Equilibrium Models in Geomorphology. In: M. G. Anderson (ed.). **Modelling Geomorphological Systems**. p. 49-72. Chichester: John Wiley & Sons, 1988.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. 175 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: Jan de 2018.

INDE. **Catálogo de metadados**. 2014. Disponível em: <http://www.inde.gov.br/geoservicos/catalogo-de-metadados>. Acesso em: 22 fev. 2018.

KAWAKUBO, Fernando Shinji; MORATO, Rúbia Gomes; CAMPOS, Kleber Kavassa; LUCHIARI, Ailton; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil, INPE, p. 2203-2210, 2005.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Texas, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

LEITE, Emerson Figueiredo; ROSA, Roberto. Estudos da geografia física em bacias hidrográficas sob a ótica da paisagem integrada. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, **Anais...** Viçosa, Minas Gerais, 2009.

LEITE, Emerson Figueiredo. **Caracterização, diagnóstico e zoneamento ambiental: o exemplo da bacia hidrográfica do Rio Formiga – TO**. 2011. 228f. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2011.

KING, Lester Charles. **Canons of Landscape Evolution**. Bull. Geolog. Society of America, Washington, v. 64, n. 7, p. 721-732, 1953.

LIMA, Iracilde Maria Moura Fé. **Relevo piauiense: uma proposta de classificação**. Carta Cepro. Teresina, v.2, n. 2, 55 – 84 p, ago./dez. 1987.

LIMA, Flávia Jorge de; CESTARO, Luiz Antônio; ARAÚJO, Paulo Cesar. Sistemas geoambientais do município do Crato/CE. **Mercator**, v. 9, n. 19, p. 2-14, 2010.

LIRA FILHO, Marco Aurélio da Silva. **Análise geocológica da hidrográfica do rio Mulato**. Monografia (Licenciatura em Geografia), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011. 83f.

MAMEDE, Lindinalva. Geomorfologia: abordagem sistêmica em uma microbacia. **Geografares**. Vitória, v. 1, n. 1, p. 51-60, 2000.

MARQUES NETO, Roberto. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia**. v. 17, n. 2, p. 67-87, 2008.

MEDEIROS, Cleyber Nascimento de; SOUZA, Marcos José Nogueira de; GOMES, Daniel Dantas Moreira; ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva. Caracterização socioambiental do município de Caucaia (CE) utilizando sistema de informação geográfica (SIG): subsídios para o ordenamento territorial. **Geografia Ensino e Pesquisa**, v. 16, n. 2, maio/ ago. 2012.

- MEDEIROS, Cleyber Nascimento de; SOUZA, Marcos José Nogueira de. Mapeamento dos sistemas ambientais do município de Caucaia (CE). Utilizando sistema de informação geográfica: subsídios para o planejamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 25-40, 2015.
- MENDONÇA, Francisco. **Geografia física: ciência humana?** Contexto, São Paulo, 1989.
- MESCERJAKOV, J. P. Les concepts de morphostruture et de morphosculture: un nouvel instrument de l'analyse géomorphologique. *Annales de Géographie*, Paris, t. 77, n. 423, p. 539-552, 1968. Disponível em: <[http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/issue/geo\\_0003-4010\\_1968\\_num\\_77\\_423](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/issue/geo_0003-4010_1968_num_77_423)>. Acesso em: set. 2018.
- PENCK, Walther. **Morphological analysis of land forms: a contribution to physical geology**. Translated by Hella czech and Katharine Cumming Boswell. London: Macmillan, 1953. 429 p.
- PENTEADO-ORELHANA, Margarida Maria. Metodologia Integrada no Estudo do Meio Ambiente. **Geografia**, Rio Claro, v. 10, n.20, out. 1985. p. 125-148.
- PEREIRA NETO, Manoel Cirício. **Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB – Brasil)**. (Dissertação de Mestrado). – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2013.
- PEREIRA, Raimundo Castelo Melo; SILVA, Edson Vicente da. Solos e Vegetação do Ceará: Características Gerais. In: SILVA, José Borzacchiello; CAVALCANTE, Tércia Correia; DANTAS, Eustógio Wanderley Correia. (Org.). **Ceará: um novo olhar geográfico**. 1ª ed. Fortaleza - CE. Edições Demócrito Rocha. v.1, pág. 189-210, 2005.
- PERROCA, Márcia Galan; GAIDZINSKI, Raquel Rapone. Avaliando a confiabilidade interavaliadores de um instrumento para classificação de pacientes - coeficiente Kappa. **Rev. Esc. Enferm. USP**, 2003; 37 (1): 72-80. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/reeusp/v37n1/09.pdf>>. Acesso em: nov. 2018.
- PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos; TORRES, Fernanda Soares de Miranda; BRANDÃO, Ricardo de Lima (org.). **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife: CPRM, 2010. 260 p.
- PINHEIRO, Leila Romano do Ó. **Análise da fragilidade ambiental no município de Aracoiaba, Ceará – Brasil: Subsídios ao planejamento territorial**. Mestrado (Dissertação), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.
- PIRES, Larissa do Carmo; SILVA, Leandro Félix; MENDONÇA, Bruno Gonçalves; BACANI, Vitor Matheus. Análise da fragilidade ambiental do município de Aquidauana-MS. **Caderno de Geografia**. v.25, n.43, p.52-65, 2015.
- RATCLIFFE D. A. **Criteria for the selection of nature reserves**. *Advancement of Sciences*, 27, p. 294-296, 1971.
- RITTER, Dale F.; KOCHER, R. Craig; MILLER, Jerry R. **Process Geomorphology**.

Boston: McGraw Hill, 4th ed. 2002.

ROMANO, Mariá Pires Cunha Graciano. **Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Riacho Jucurutu/Raposa em São João do Tigre-PB**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

\_\_\_\_\_. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo, n.6, 1992.

\_\_\_\_\_. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, n. 8, p. 63-74, São Paulo, USP, 1994.

\_\_\_\_\_. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo, n.9, p. 65-75, 1995.

\_\_\_\_\_. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. In: Guerra. Antonio José Teixeira e CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: BERTRAND Brasil, 2003. p. 291-336.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208p.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; FIERZ, Marisa de Souto Matos; AMARAL, Rosângela do. Da Ecodinâmica à Fragilidade Ambiental: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial. In: LEMOS, Amália Inês G. de; ROSS, J. L. Sanches; LUCHIARE, Ailton (orgs). América Latina: sociedade e meio ambiente. São Paulo: Expressão Popular, 2008. p.67-84.

\_\_\_\_\_. Geografia e as transformações da natureza: relação sociedade e natureza. In: Amália Inês Geraiges de Lemos; Emerson Galvani. (org). **Geografia, tradições e perspectivas: interdisciplinaridade, meio ambiente e representações**. São Paulo, Expressão popular, p. 119-138, 2009.

SANTOS, Irani dos; VITTE, Antonio Carlos. Proposta de mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Palmital, Região Metropolitana de Curitiba, Paraná. In: 1º Fórum Geo Bio-Hidrologia: estudos em vertentes e microbacias hidrográficas. **Anais...** Curitiba-PR, 1998.

SANTOS, Rafael Marques dos; NÓBREGA, Maria Teresa de; PAIVA, Ranieri Garcia; SILVEIRA, Hélio. Análise da fragilidade ambiental no município de Tamboara – PR: aplicação e estudo comparativo de duas metodologias. **Geoambiente on-line**. N.14, p. 93-120, 2010.



- SANTOS, Jader de Oliveira. **Fragilidade e riscos socioambientais em Fortaleza – CE: contribuições ao ordenamento territorial**. 331p. 2011. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- SANTOS, Francílio Amorim dos. **Mapeamento das unidades geoambientais e estudo do risco de degradação/desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí**. 187 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.
- SCHOBENHAUS, Carlos; NEVES, Benjamim Bley de Brito. A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. IN: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M (Eds.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003. p. 5-30.
- SILVEIRA, Claudinei Taborda da; OKA-FIORI, Chisato. Análise empírica da fragilidade potencial e emergente da bacia do Rio Cubatãozinho, Estado do Paraná. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia. v. 8, n. 22, p. 1-17, 2007.
- SOARES, João Paulo Ribeiro; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia de. Análise sistêmica: contribuição teórico metodológica e aplicações no estado do Piauí. **ACTA Geográfica**, v. 6, n. 13, p. 239-255, 2012.
- SOARES, Valeska Lima; MEDEIROS, Cleyber Nascimento de; ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento das formas de uso e ocupação da terra no município de Itarema, Ceará. **Anais... VI Congresso Ibero-americano de Estudos Territoriais e Ambientais**. São Paulo, p. 1577-1594, 2014.
- SOTCHAVA, Viktor Borisovich. O estudo de geossistemas. **Métodos em questão**, n.16, p. 2-52, 1977.
- SOUZA, Marcos José Nogueira de. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: SOUZA, M. J. N.; LIMA, L. C.; MORAIS, J. O. (Org.) **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Ed. FUNECE, Fortaleza, 2000. p. 13-98.
- SOUZA, Marcos José Nogueira de; NETO, José Menelau; SANTOS, Jader de Oliveira; GONDIM, Marcelo Saraiva. **Diagnóstico Geoambiental do Município de Fortaleza: subsídios ao macrozoneamento ambiental e à revisão do Plano Diretor Participativo – PDPFor**. Fortaleza: Prefeitura de Fortaleza, 2009.
- SOUZA, Júlio César Oliveira de. **Identificação de geossistemas e sua aplicação no estudo ambiental da bacia hidrográfica do rio São Miguel – Alagoas**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
- SPISILA, André Luis. **Análise estrutural do intervalo permiano-jurássico da bacia do Parnaíba – região de Araguaína (TO)**. 2011. 131 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geologia, Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2011.
- SPÖRL, Christiane. Metodologia para a elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais. 2007. 185 folhas. Tese (Doutorado) – Faculdade

de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SPÖRL, Christiane; ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP – Espaço e Tempo**. São Paulo, n.15, p. 39-49, 2004.

TAMANINI, Maria do Socorro Alves. **Diagnóstico físico-ambiental e a determinação da fragilidade potencial e emergente da bacia do baixo curso do Rio Passaúna em Araucária – Paraná**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TONELLO, Kelly Cristina; DIAS, Herly Carlos Teixeira; SOUZA, Agostinho Lopes de; RIBEIRO, Carlos Antonio Alvares Soares; LEITE, Fernando Palha. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TRENTIN, Romário; SANTOS, Leonardo José Cordeiro dos; ROBAINA, Luíz Eduardo de Souza. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Itu – oeste do Rio Grande do Sul – Brasil. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia, n. 1, p. 127-142, 2012.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. IBGE-SUPREM, Rio de Janeiro, 1977.

TROMBETA, Letícia Roberta; GARCIA, Renata Marchi; NUNES, Rafael da Silva; GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz Caccia; LEAL, Antônio César. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**. n.36, p. 159-173, 2014.

VALE, Cláudia Câmara do. Teoria Geral do Sistema: histórico e correlação com a geografia e com o estudo da paisagem. **Entre-Lugar**. n. 6, p. 85-108, 2012.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 245p. 1975.

ZANELLA, Maria Elisa. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**. n. 36, p. 126-142, 2014.