



**INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ANÁLISE E PLANEJAMENTO ESPACIAL**

**RELATÓRIO ACADÊMICO DE MESTRADO
FRAGILIDADE AMBIENTAL NO BAIXO CURSO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU NO ESTADO DO MARANHÃO**

PATRICIA BARBOSA PEREIRA

**Orientador: Prof. Dr. Glairton Cardoso Rocha
Coorientadora: Prof. Dra. Cláudia Maria Sabóia de Aquino**

**Teresina/PI
2023**

PATRICIA BARBOSA PEREIRA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL NO BAIXO CURSO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU**

**Relatório Acadêmico de Mestrado apresentado
ao Programa de Pós-Graduação em Análise e
Planejamento Espacial – Geografia do
Instituto Federal do Piauí, como parte
integrante dos requisitos para a obtenção do
título de Mestra em Geografia.**

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Glairton Cardoso Rocha

Coorientadora: Profa. Dra. Cláudia Maria Sabóia de Aquino

**Teresina/PI
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Pereira, Patrícia Barbosa

P426f Fragilidade ambiental no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru no
Estado do Maranhão / Patrícia Barbosa Pereira. - 2023.
105 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial) -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina Central, 2023.

Orientador : Prof Dr. Glairton Cardoso Rocha.

1. Fragilidade ambiental. 2. Itapecuru. 3. Sociedade e natureza. I. Título. CDD - 910

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

PATRICIA BARBOSA PEREIRA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL NO BAIXO CURSO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU**

**Relatório Acadêmico de Mestrado apresentado
ao Programa de Pós-Graduação em Análise e
Planejamento Espacial – Geografia do
Instituto Federal do Piauí, como parte
integrante dos requisitos para a obtenção do
título de Mestra em Geografia.**

Área de concentração: Análise Ambiental

Aprovada em: 06/02/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Glairton Cardoso Rocha (IFPI) (orientador)

Profa. Dra. Cláudia Maria Sabóia de Aquino (UFPI) (coorientadora)

Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes (IFPI) (examinador interno)

Prof. Dr. Valdir Adilson Steinke (UNB) (examinador externo)

RESUMO

O aumento populacional contribuiu para diferentes formas de modificações na cobertura da terra e desencadeamento de problemas socioambientais no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (BHRI), apresentando como destinação principal à construção de moradias, as atividades econômicas, sendo uma delas a ampliação de áreas destinadas a agricultura/pecuária. Dessa maneira, o objetivo geral do estudo visa subsidiar a gestão integrada do baixo curso da BHRI, por meio da identificação e sugestão de manejo para áreas com alterações ocasionadas tanto pela ação natural do ambiente, quanto aquelas oriundas das atividades do homem. No que se refere aos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, foram utilizados a abordagem quali-quantitativa, levando em consideração a Análise Integrada, e a adaptação da abordagem de Ross (1994) referente à fragilidade ambiental e Cunha et al. (2011) na aplicação da lógica *fuzzy* – AHP. Os mapas temáticos foram gerados pelo sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), sob o Sistema de Referência Geodésico do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). Por conseguinte, para gerar os dados coletados e produzir os mapas, foram utilizados o *software* QGIS na versão 3.12.0 com GRASS na versão 7.8.2. Espera-se assim com o estudo, auxiliar o poder público, a população, os pesquisadores e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, de modo que o uso dos recursos hídricos tem destinação à própria manutenção da vida dos seres vivos e variadas atividades econômicas, a utilização de forma inadequada e o alto desperdício, tem gerado desequilíbrio no ambiente, fazendo-se necessário a elaboração de medidas de conservação, proteção e recuperação.

Palavras-chave: Rio Itapecuru. Fragilidade ambiental. Sociedade e natureza

ABSTRACT

Population growth has contributed to different forms of changes in land cover and triggering socio-environmental problems in the lower course of the Itapecuru River Hydrographic Basin (BHRI), presenting economic activities as the main destination for housing construction, one of which is the expansion of areas destined for agriculture/livestock. In this way, the general objective of the study aims to subsidize the integrated management of the lower course of the BHRI, through the identification and suggestion of management for areas with alterations caused both by the natural action of the environment, and those arising from human activities. With regard to the methodological procedures adopted in the research, the qualitative-quantitative approach was used, taking into account the Integrated Analysis, and the adaptation of Ross' approach (1994) referring to environmental fragility and Cunha et al. (2011) in the application of fuzzy logic – AHP. Thematic maps were generated by the Universal Transverse Mercator (UTM) projection system, under the Geodetic Reference System of the Geocentric Reference System for the Americas (SIRGAS 2000). Therefore, to generate the collected data and produce the maps, QGIS software in version 3.12.0 with GRASS in version 7.8.2 were used. It is hoped that the study will help the government, the population, researchers and the Itapecuru River Basin Committee, so that the use of water resources is intended for the maintenance of the lives of living beings and various economic activities. , improper use and high waste, have generated imbalance in the environment, making it necessary to develop conservation, protection and recovery measures.

Abstract: Itapecuru River. Environmental fragility. Society and nature.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Comitês de bacias hidrográficas do estado do Maranhão	14
Figura 2: Fluxograma metodológico	28
Figura 3: Localização da área de estudo	33
Figura 4: Esboço geológico da área de estudo	35
Figura 5: Formações geomorfológicas da área de estudo	38
Figura 6: Esboço pedológico da área de estudo	40
Figura 7: Uso e cobertura da terra da área de estudo em 2019	43
Figura 8: Principais afluentes da área de estudo	45
Figura 9: Variação interanual da precipitação da área de estudo	46
Figura 10: Intensidade pluviométrica da área de estudo	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classes relativa a declividade	23
Quadro 2: Classes de fragilidade pedológica	24
Quadro 3: Classes de fragilidade geológica	25
Quadro 4: Estratigrafia da área de estudo	26
Quadro 5: Classes de uso e cobertura da terra	27

LISTA DE SIGLAS

AHP *Analytic Hierarchy Process*

ANA Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

BHRI Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru

CBH Comitê de Bacia Hidrográfica

CODEVASF Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

COVID Coronavírus

CPRM Serviço Geológico do Brasil

DSG Diretoria de Serviço Geográfico do Exército

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GEE *Google Earth Engine*

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW *Inverse Distance Weigthing*

MDE Modelo Digital de Elevação

NUGEO Núcleo Geaambiental

PNRH Política Nacional de Recursos Hídricos

RNAs Rede Neurais Artificiais

REGEAMA Rede de Gestão Ambiental do Maranhão

RGB *Red Green Blue*

SEMA Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais

SIRGAS Sistema de Referência Geodésico do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SIG Sistema de Informação Geográfica

SRC Sistema de Referência

SRTM Missão Topográfica Radar *Shuttle*

USGS Serviço Geológico dos Estados Unidos

UTM *Universal Transversa de Mercator*

WGS *World Geodetic System*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 Sociedade e meio ambiente	11
2.2 Legislação dos recursos hídricos	13
2.3 Bacias hidrográficas: definição e importância	16
2.4 Abordagem sistêmica em bacias hidrográficas	17
2.5 Estudos de fragilidade conduzidos em bacias hidrográficas brasileiras	18
3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS EMPREGADOS NA PESQUISA	21
3.1 Métodos e técnicas	21
3.2 Base de dados	23
3.3 Produção de mapas	29
4 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU	32
4.1 Aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos	34
4.2 Aspectos vegetacionais, hidrográficos e climáticos	42
REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A – MANUAL TÉCNICO DE MANEJO INTEGRADO NO BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU NO ESTADO DO MARANHÃO	58

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional de algumas cidades no Brasil é marcado notoriamente pelo processo de urbanização, que se intensificou, principalmente, na segunda metade do século XX, tendo em vista que o surgimento do processo migratório campo / cidade contribuiu para a expansão dos residentes nas áreas urbanas.

Nesse sentido, a totalidade dos municípios que compõem a área que abrange o baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, contém o segundo maior número de habitantes se comparado com os demais setores da bacia, além de abastecer a população da capital São Luís (IBGE, 2010).

Feitosa e Almeida (2002) enfatizam que a ação do homem através da ocupação do solo com destinação principalmente para as atividades econômicas é uma das grandes problemáticas envolvendo o rio Itapecuru, nesse sentido, conforme Correia Filho (2011) têm-se os municípios de Aldeias Altas, Codó e Cantanhede.

Vale destacar ainda a ampliação das áreas destinadas a agricultura e pecuária na área da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (BHRI), que integra a região de expansão da fronteira agrícola, conhecida como Matopiba, que engloba os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. O desenvolvimento destas atividades, favorece a intensificação dos impactos ambientais, com destaque para o desmatamento e o assoreamento dos cursos das águas, etc.

Observa-se que nas últimas três décadas além das intervenções no âmbito do espaço urbano, há diferentes intervenções antrópicas no meio rural que também impactam na qualidade de vida da população, podendo-se elencar: cultivos agrícolas, implantação de estradas vicinais e adoção de queimadas para os plantios, ocasionam a supressão das áreas verdes (CODEVASF, 2019; MASULLO *et al.*, 2019).

Desse modo, com a ampliação dos municípios próximos as margens do rio, foram surgindo diversos problemas ambientais, sobretudo atingindo o canal principal da bacia. As ações derivadas com o crescente desmatamento, provocam o deslizamento das encostas propiciando o assoreamento da bacia (FEITOSA, 2002; ALCÂNTARA, 2004; CODEVASF, 2019; MASULLO *et al.*, 2019) e, é nesse contexto de inter-relação dos aspectos geoambientais e a ação antrópica que há a (re) criação e intensificação de fragilidade ambiental, aqui sob a adaptação da abordagem de Ross (1994) e a adaptação do estudo de Cunha *et al.* (2011).

Neste sentido, a fragilidade ambiental consiste em definir quais as áreas são mais susceptíveis e que apresentam maior potencial para a degradação ambiental. Em outras palavras, é o processo de desestabilização do equilíbrio dinâmico existente no ambiente, gerando assim o enfraquecimento da área, levando em consideração a relação constante entre os fatores ambientais e antrópicos (BRAGA *et al.*, 2017).

Os estudos referentes à fragilidade ambiental têm na contemporaneidade alçado papel de destaque, postos a deterioração dos ambientes frente as práticas econômicas exacerbadas, que prejudicam os recursos naturais (ROSS, 1994).

Destaca Silva e Conceição (2011) que as bacias hidrográficas apresentam mecanismos de restauração das funções ambientais naturalmente, mas com as grandes agressões sofridas tendem a diminuir as estruturas de autodepuração e recuperação.

Dessa maneira, as bacias hidrográficas estão susceptíveis às diversas modificações, ocasionadas tanto pela ação natural do ambiente, quanto aquelas derivadas das atividades do homem, reiterando assim, a importância do desenvolvimento de estudos relacionados com a abordagem sistêmica.

O território brasileiro é privilegiado em dispor de grande riqueza hídrica e extensos rios, deste modo, os Institutos Federais e outros órgãos, principalmente os que desenvolvem pesquisas científicas, se encarregam nos estudos referentes ao tema, buscando descobertas, propondo soluções e medidas para os problemas identificados. Conforme o exposto, cabe destacar alguns autores que desenvolveram estudos relacionados sobre o assunto nas diferentes regiões brasileiras, como as pesquisas de Sutil, Gonçalves e Vieira (2020), Souza e Rebelato (2021) e Vieira *et al.* (2021).

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru está localizada no estado do Maranhão, e apresenta diferentes tipos de características ambientais, uma delas são as variadas estruturas vegetacionais, bem como a disponibilidade de afluentes que drenam água o ano todo contribuindo para a manutenção dos seres vivos.

Desse modo, considerando que o uso dos recursos hídricos tem como finalidade à manutenção da vida dos seres vivos e ainda o desenvolvimento de variadas atividades econômicas, a utilização deste recurso de forma inadequada e o alto desperdício do mesmo, tem gerado desequilíbrio ao ambiente, fato que exige medidas de conservação, proteção e recuperação.

. Com base nesses pressupostos, alguns questionamentos foram apontados para nortear o estudo: Qual a relação entre a fragilidade ambiental e os municípios que compreendem o baixo curso? Como ocorre a espacialização dos diferentes níveis de

fragilidade ambiental levando em consideração as suas características ambientais? De que forma a rede de drenagem associada aos demais aspectos geoambientais possibilitam as características e cenários de fragilidade ambiental? De qual maneira os resultados dessa pesquisa poderão subsidiar a gestão do baixo curso?

De acordo com as exposições apresentadas, o objetivo geral é elaborar um manual técnico de subsídio a gestão integrada do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. E, como objetivos específicos:

- Identificar e delimitar os sistemas ambientais presentes na área de estudo, como subsídios para uma análise ambiental integrada, com base na literatura existente;
- Caracterizar os sistemas ambientais presentes na área de estudo, como subsídio para uma análise ambiental integrada;
- Definir os níveis de fragilidade ambiental de modo a identificar as características geoambientais e as formas de uso e cobertura da terra que supostamente se relacionam com os níveis de fragilidade;
- Relacionar os possíveis vetores de degradação ambiental com os municípios inseridos no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, como subsídio para ações de planejamento ambiental e ordenamento territorial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sociedade e meio ambiente

Para o entendimento da relação entre sociedade e natureza, é preciso considerar alguns acontecimentos históricos e atuais, sendo de fundamental importância o destaque de processos envolvendo a reprodução do espaço geográfico, sobretudo ligado ao desenvolvimento econômico. Considerando que a cobertura da terra é modificada diariamente pela população no intuito de adequar as suas necessidades, todo e qualquer espaço habitável pelo homem, está suscetível às diversas transformações.

Insere-se assim, o Antropoceno, termo utilizado pelo biólogo Stoermer em 1980 para denominar o surgimento de uma nova era geológica, entretanto, ainda bastante discutida quanto a sua veracidade por cientistas. Desse modo, o Antropoceno inicia-se durante o período de grandes modificações na superfície terrestre (grandes navegações e revoluções industriais), período pelo qual ocorreu um aumento significativo em atividades antrópicas e por consequência alterações de ecossistemas (WARD, 2020).

Eventos de grandes proporções aceleraram as alterações na superfície terrestre, destacando-se o século XVIII com a Revolução Industrial, conforme Melo, Brandão e Lima (2018, p. 39) “a agricultura começa a ser transformada pela técnica, com o plantio já alicerçado pelo uso de máquinas e pela escolha de sementes, aumentando a produtividade”. Dessa maneira, com o aumento da demanda e produção, as áreas destinadas para o cultivo foram alargando-se, bem como a necessidade de mão de obra.

Nesse sentido, aumentou a procura de pessoas para operarem as indústrias, assim contribuindo para que inicia-se o deslocamento de pessoas em busca de melhores condições de vida, e mais tarde os primeiros passos para o processo de urbanização, que permitiu o crescimento populacional em várias cidades brasileiras.

A partir desses pressupostos, com a ampliação da densidade populacional foram surgindo problemas no meio ambiente em decorrência da própria ação social. Conforme Nunes e Aquino (2018) os problemas ambientais ocorrem devido a utilização desenfreada do meio físico, superando a sua capacidade de resiliência.

Com a procura de novas áreas para a construção de habitações, muita das vezes selecionadas sem o conhecimento do meio físico, apresentam riscos para a população, principalmente de ordem ambiental, preferencialmente de origem pedológica, geológica e geomorfológica, a saber: intervenção no uso do solo e escorregamentos de terras (BAHR; CARVALHO, 2012; BELATO, SERRÃO; DIAS, 2019).

Nesse sentido, Cunha, Bacani e Ayach (2013) expõe que a ocupação do solo de forma inadequada associada em grande parte com o desconhecimento das práticas de planejamento e conservação do solo, contribuem para oriundos problemas envolvendo, por exemplo, de acordo com Ferreira, Ferreira e Gouveia (2016, p. 46) “(...) movimentação de terra para abertura de vias, arruamentos e instalação de infraestruturas, se desenvolvida sem o controle ambiental das obras, poderá resultar em grandes perdas de solo e aceleração dos processos erosivos”.

As consequências da influência antrópica no meio ambiente, tem desencadeado uma frequente preocupação entre a sociedade no intuito de desenvolver pesquisas que se encarregam em quantificar os impactos ocasionados com a ocupação territorial. Além disso, é primordial o conhecimento das características físicas existentes no local com vistas a prevenção de danos (GONÇALVES *et al.*, 2011; FERREIRA; FERREIRA; GOMES, 2016; GONÇALVES; ARAÚJO; IMAI, 2016).

Desse modo, a intervenção da sociedade sobre a natureza resulta em um processo constante de (re) descoberta, ao passo que o homem utiliza os seus recursos naturais para uma diversidade de funções (SANTOS, 1992; RODRIGUES, 1998). O desenvolvimento de pesquisas nessa temática se faz necessário, haja vista a necessidade de destacar medidas que poderão subsidiar a utilização adequada desses recursos, já que a sociedade está em constante interação com o meio físico.

Todavia, é importante que ocorra medidas e planejamento de modelos coletivos reconhecendo a necessidade do uso sustentável dos recursos naturais. Pesquisadores que demandam esforços em estudos sobre o Antropoceno, destacam que a crise ambiental com grandes manifestações nas mudanças climáticas, extinções de espécies de animais e plantas necessitam de estratégias pontuais para reverter positivamente o contexto atual (ARTAXO, 2014; VEIGA, 2019; WARD, 2020).

2.3 Legislação dos recursos hídricos

A alta demanda da sociedade pelos recursos hídricos, tem gerado impactos ambientais diversos, associados principalmente a poluição dos mananciais e ao consumo desenfreado da água. É notório que o conhecimento acerca da temática das políticas públicas e a legislação é imprescindível nos dias atuais, diante de desafios e conflitos que implicam em incertezas para as futuras gerações (FOLETO, 2018).

Nos últimos anos, o gerenciamento dos recursos hídricos tem exigido um grande esforço por parte dos gestores, pesquisadores e sociedade em geral no intuito da elaboração de medidas e ações que possam contribuir com a conservação baseada em usos sustentáveis. Nesta perspectiva, a implantação das leis que regulamentam a utilização e preservação no âmbito nacional e estadual, tornam-se instrumentos importantes para o direcionamento de alternativas baseadas na sustentabilidade (MOURA; SILVA, 2017, SOUZA; MORAES, 2016).

Com a homologação da Lei federal nº 9.433/97 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi facultada a gestão das águas com os estados brasileiros, usuários e a sociedade, buscando assegurar o gerenciamento e disponibilidade da água, adequando-se aos seus respectivos usos. Os instrumentos da PNRH são os seguintes, em ordem de incisos: Os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos e a compensação a municípios.

A mencionada lei apresenta como um de seus fundamentos “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. Com base no exposto, entende-se que essas áreas estão em constante interação com a ação antrópica, portanto, necessitam de maiores efetivações pelos gestores e a sociedade.

Dessa maneira, fez-se necessário a implementação pautadas na lei do PNRH de representantes para assegurar a gestão dos recursos hídricos de forma que englobe as diferentes esferas civis, a exemplo da Agência Nacional de Águas (ANA), os conselhos de recursos hídricos dos estados e do distrito federal e comitês de bacia hidrográfica.

Relacionado às leis que regulamentam os recursos hídricos no âmbito do estado do Maranhão, têm-se a Lei nº 8.149/04 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. Estabelece no Art. 4º e inciso II “a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do Estado”.

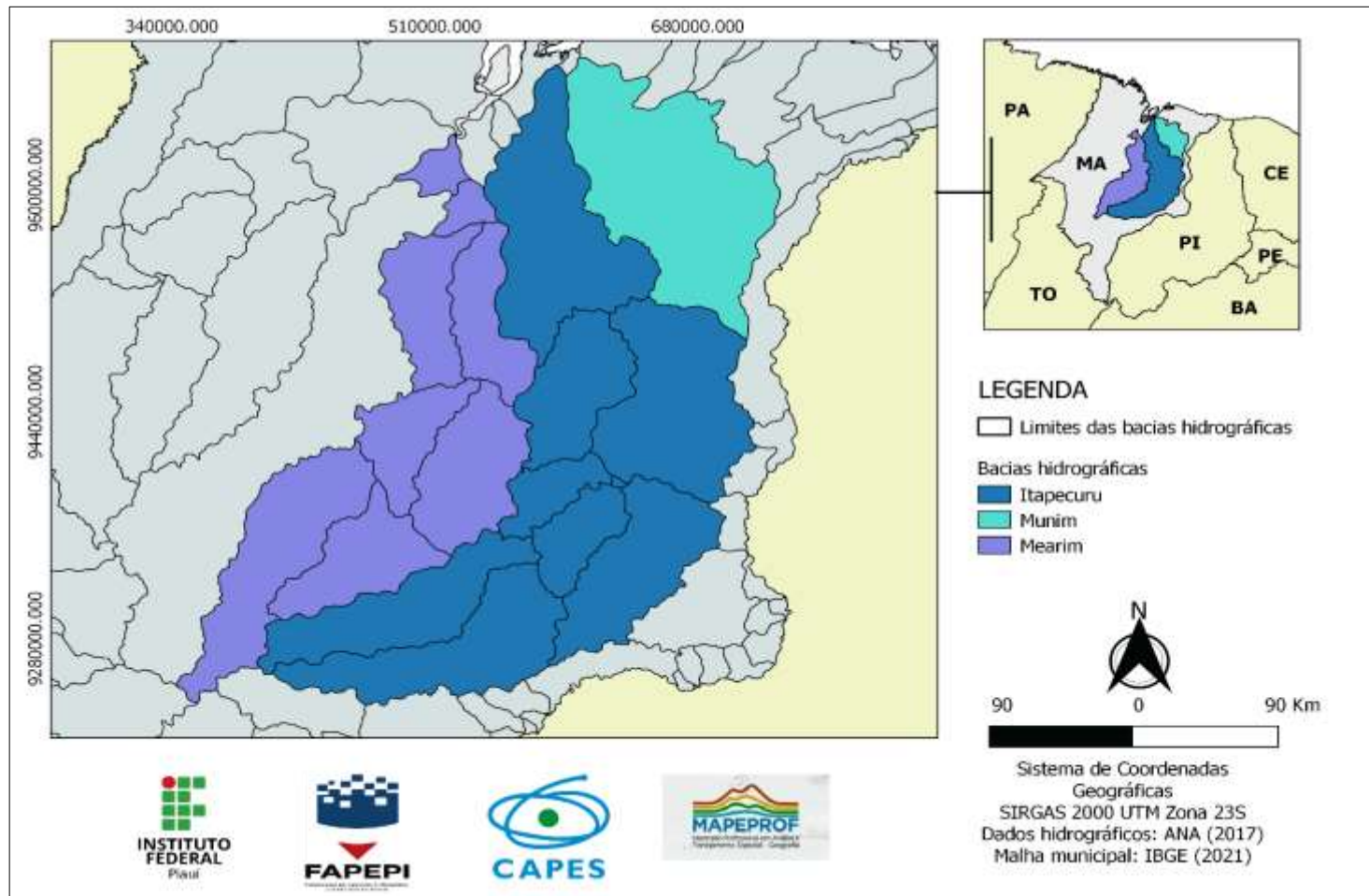
Nesse sentido, existe a necessidade de entidades competentes para gerenciar esse recurso natural, no caso do Estado do Maranhão esta função foi atribuída Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA), que visa a avaliação, organização e fiscalização para promover a preservação dos recursos naturais e o meio ambiente.

Destaca-se ainda, os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) assegurados pela Lei federal nº 9.433/97, artigo 37. Segundo a referida Lei cabe aos CBH contribuir para o gerenciamento dos recursos hídricos com a participação direta da sociedade civil, e a elaboração de propostas relativas as bacias hidrográficas (FOLETO, 2018; TRINDADE; SHEIBE, 2019).

No Estado do Maranhão, os comitês de bacias hidrográficas foram criados a partir do ano de 2013, os primeiros foram os rios Munim e Mearim (figura 1), respectivamente regidos pelas Leis Estaduais nº 9.956 e 9.957. De acordo com Santos e Leal (2013) para essa consolidação houve a mobilização de diferentes segmentos da sociedade, a exemplo da Rede de Gestão Ambiental do Maranhão – REGEAMA.

A criação do comitê de bacia hidrográfica do rio Itapecuru / MA ocorreu por meio do Decreto nº 36.580, em 10 de março de 2021. A área da bacia abrange um grande contingente populacional, desse modo, havia a necessidade de articulação entre o poder público, a comunidade e os usuários. Além dessas, a atuação de um comitê apresenta grande relevância no intuito de propor programas e projetos para utilização dos recursos hídricos de maneira sustentável.

Figura 1: Comitês de bacias hidrográficas do estado do Maranhão



Elaborado por: Pereira (2022)

2.4 Bacias hidrográficas: definição e importância

Desde os primórdios da civilização humana, sabe-se que os rios foram de grande importância para o processo de ocupação das áreas mais longínquas, além de servir como o meio de transporte para o processo de migração dos povos. As bacias hidrográficas são áreas drenadas compostas por diversos cursos das águas, e que em conjunto contribuem para o nutrimento de um canal principal (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Ao longo dos anos foram apresentados diversos conceitos de bacias hidrográficas, com variadas definições e aplicações, estando as mesmas vinculadas a diversidade de especializações. Em Villela e Mattos (1975), Suguio e Bigarella (1990), Cunha e Guerra (1998), Ross e Del Prette (1998) e Botelho (1999), podem ser analisados de forma mais aprofundada as definições e aplicações relativas ao conceito de bacia hidrográfica.

Pautando-se na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433/1997, no capítulo I do art. 1º, inciso V, expõe que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. Entende-se que essas áreas são de grande importância para os seres vivos, dessa maneira, há a necessidade da tomada de decisão em busca de medidas de planejamento ambiental e ordenamento territorial.

Desta forma, é importante o debate acerca do uso das bacias hidrográficas como unidade de planejamento ambiental, sendo que a partir destas efetivações o poder público e a sociedade civil adquirem maior capacidade de organização e direcionamento de esforços para a operacionalização nos atributos ambientais (ALBUQUERQUE, 2012).

Conforme Christofolletti (1980) as bacias hidrográficas são receptoras de todas as interferências naturais e antrópicas que ocorrem na sua área, ao passo que seu funcionamento e manutenção estão ligado com a interação das esferas naturais e sociais, uma vez que a mesma representa a relação entre a sociedade e a natureza.

Com base em Matos, Rocha e Oliveira (2018) a bacia hidrográfica é composta pela drenagem de um rio principal e seus tributários, e essas áreas se comportam a partir dos atributos físicos / ambientais e humanos. Dessa maneira, pode-se inferir que os aspectos antrópicos e os sistemas ambientais da área, estão em constante interação.

Seguindo a definição formulada por Arruda (2015) é caracterizada como uma unidade de relevo que apresenta sua delimitação através do sentido do fluxo dos cursos das águas. É possível compreender que nessas áreas possuem outros aspectos importantes

a serem verificados, principalmente no que diz respeito às características dos sistemas ambientais interligados com a dinâmica da rede hidrográfica.

A utilização dos recursos provenientes das bacias hidrográficas está notadamente relacionada ao uso comercial, industrial e / ou residencial. Diante disso, precisam ser avaliadas para o auxílio da identificação dos possíveis níveis de degradação ambiental (SANTOS; MARIANO, 2017).

Existem várias metodologias empregadas para a avaliação dos estudos ambientais e a gestão dos recursos naturais, sobretudo envolvendo a perspectiva das bacias hidrográficas. A avaliação de fragilidade ambiental é uma delas, constituindo-se uma ferramenta relevante para a identificação e mensuração dos usos intensivos da terra (VEIGA; GUANDIQUE; NARDOCCI, 2019; FERREIRA; SILVA, 2020).

As análises sobre a temática de fragilidade ambiental, ao longo dos anos, receberam novas contribuições metodológicas, evidenciado por Silva, Ferreira e Loureiro (2021) com a inserção dos mapeamentos da plataforma Mapbiomas para a representação de uso e cobertura da terra, de Souza e Rebelato (2021) incluindo o mapa de intensidade pluviométrica para a avaliação de fragilidade potencial. Vale ressaltar a importância dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), largamente usados na análise e quantificação dos níveis de fragilidades em bacias hidrográficas.

2.5 Abordagem sistêmica em bacias hidrográficas

Os estudos sobre as bacias hidrográficas na perspectiva sistêmica, tendem a ser satisfatórios, haja vista que neste enfoque é levado em consideração a reciprocidade de todos os elementos que integram e que se relacionam com uma bacia hidrográfica. Destarte, é preciso destacar que uma bacia hidrográfica é caracterizada como um sistema que possui pontos de entrada e de saída, de matéria e energia. Por isso, são áreas que estão diariamente envolvidas com as relações sociais (CHRISTOFOLETTI, 1980; MEDEIROS; CESTAR0, 2020).

Estas afirmações reforçam a importância do desenvolvimento de estudos sobre a abordagem integrada, cujo entendimento contribui para o diagnóstico crítico e eficaz da natureza. Para Bertalanffy (1977) a análise sistêmica pauta-se na possibilidade de ocorrer a relação mútua e constante dos elementos sociais e naturais.

Rodrigues (2001) argumenta sobre uma outra forma de classificação do geossistema, é de acordo com o seu estado sucessivo, sendo possível assumir ou propor hipóteses sobre sua dinâmica futura, pelo reconhecimento de unidades espaciais, característica fundamental para o planejamento. Desta maneira, a sua aplicabilidade só poderá ocorrer com a incorporação do fator antrópico (MONTEIRO, 1996).

Nota-se que a sociedade está interligada com a dinâmica das bacias, tendo em vista que representa o recurso vital para a sobrevivência dos seres vivos, além destas, o desenvolvimento das atividades econômicas, em sua grande maioria necessitam desse sistema natural, portanto, Pastorelli Junior e Ferrão (2018) afirmam que há a necessidade da gestão integrada dos componentes físicos / ambientais desse sistema.

A partir dessas características, percebe-se que com o aumento da atividade humana refletem nas consequências envolvendo os cursos das águas, visto que, resulta da adição dialética de vários elementos físicos, biológicos e antrópicos (TRICART, 1977; BERTRAND, 2004, OLIVEIRA; MARQUES NETO, 2020).

Deste modo, a partir do desenvolvimento de pesquisas pelo enfoque sistêmico, permitiram uma maior integração entre nas análises relacionadas as escalas de domínios humanos e naturais (DIAS; PEREZ FILHO, 2017; VASCONCELOS; GÓES, 2019).

Diante do exposto, o presente estudo fundamenta-se no critério geológico-geomorfológico, apresentando duas regiões bem delimitadas, a planície flúvio-marinha e a superfície sub-litorânea (ALCÂNTARA, 2004). Todavia, é importante mencionar os estudos realizados nessa perspectiva, de Alcântara (2004) sobre a caracterização do rio Itapecuru e Masullo et al. (2019) referente a dinâmica da paisagem no rio Itapecuru.

2.6 Estudos de fragilidade conduzidos em bacias hidrográficas brasileiras

O desenvolvimento da sociedade produz grandes competições pelos recursos naturais (solo e água), destruindo parte da biodiversidade natural, dessa maneira, a partir dos processos realizados, a cobertura da terra é transformada e dotada de outras características (TURNER; MEYER; SKOLE, 1994; TUCCI, 2008).

Para tanto, as bacias hidrográficas estão expostas às constantes transformações, seja por motivos naturais, ou aqueles relacionados às ações antrópicas, e, deste modo, os estudos sobre o meio físico exigem atualizações constantes.

Face ao desperdício dos recursos naturais e a degradação generalizada com perda de qualidade ambiental e de vida, nas últimas décadas tornaram-se mais urgentes as preocupações em quantificar e analisar os ambientes naturais fragilizados sob a abordagem sistêmica (ROSS, 1994; SÃO MIGUEL; MEDEIROS; GOMES, 2018).

Ressalta Ross (1994) em função da deterioração dos ambientes frente as práticas econômicas exacerbadas, é preciso levar em consideração que é necessário realizar a recuperação dessas áreas atingidas pelas atividades antrópicas. Os estudos referentes à fragilidade ambiental, surgem com grande valia, sobretudo, aos tempos atuais.

Neste sentido, a fragilidade ambiental consiste em definir quais as áreas são mais susceptíveis e que apresentam maior potencial para a degradação ambiental. Em outras palavras, é o processo de desestabilização do equilíbrio dinâmico existente no ambiente, gerando assim o enfraquecimento da área, levando em consideração a relação constante entre os fatores ambientais e antrópicos (BRAGA *et al.*, 2017).

Nas últimas décadas, o desenvolvimento de pesquisas relacionadas com os sistemas ambientais de forma integrada, tem contribuído para o diagnóstico de modificações no ambiente. Face ao exposto, as características metodológicas de vulnerabilidade ambiental, apresentam semelhanças com as de fragilidade ambiental.

Diante dessas afirmações, a vulnerabilidade ambiental é o grau de exposição ao risco que determinado ambiente esteja sujeito, levando em consideração as ocorrências naturais e antrópicas (MEDEIROS; SOUZA 2016). Apesar das metodologias de fragilidade e vulnerabilidade ambiental apresentarem semelhanças, mas contém diferenças e que precisam ser destacadas para que não sejam confundidas.

O resultado final da fragilidade ambiental é demonstrado através de dois resultados, a fragilidade potencial (aspectos naturais) e a fragilidade emergente (aspectos naturais e uso e cobertura da terra), sendo classificadas de muito fraca 1,0, fraca 2,0, média 3,0, forte 4,0 e muito forte 5,0. Na metodologia de vulnerabilidade ambiental, é

gerado como produto final apenas um único mapa contemplando as características naturais e o antrópico, além de que a classificação varia de estável 1,0 a 1,3, moderadamente estável 1,4 a 1,7, moderadamente estável vulnerável 1,8 a 2,2, moderadamente vulnerável 2,3 a 2,6 e vulnerável 2,7 a 3,0.

Nesta perspectiva, variados autores contribuíram na produção de pesquisas que auxiliaram no subsídio de planejamento do uso de áreas ambientalmente frágeis, assim difundindo métodos para a análise e replicação, podendo ser citados: Ross (1994), Crepani et al. (2001), Sporl (2007) e Santos e Ross (2012).

Dessa forma, o estudo de Ross (1994) sobre fragilidade ambiental, foram pautados no conceito de Unidade Ecodinâmica formulado por Tricart (1977), onde as Unidades Ecodinâmicas Estáveis representam a (fragilidade potencial) e as Unidades Ecodinâmicas Instáveis a (fragilidade emergente).

Para a identificação dos níveis de fragilidade, faz-se necessário a integração dos elementos naturais e antrópicos. Para a obtenção da fragilidade potencial, necessita do cruzamento de informações obtidas da declividade do relevo, solos, pluviometria e a geologia. E a determinação da fragilidade emergente, ocorre através da junção das informações adquiridas com a fragilidade potencial, em conjunto com os resultados produção do mapa de uso e ocupação da terra (ROSS, 1994).

O trabalho de Crepani et al. (2001) foi desenvolvido com base no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1997) que evidencia a importância da integração das características geoambientais, além do auxílio de imagens de satélites orbitais, e de *softwares* que possuem o Sistema de Informação Geográfica. O estudo objetivou gerar mapas de vulnerabilidade natural à perda de solo, abrangendo como área de estudo a Amazônia Legal. A partir de adaptações esta metodologia tem sido aplicada em outras regiões do Brasil.

Assim, existem mínimas diferenças entre o conceito e aplicações metodológicas de fragilidade e vulnerabilidade ambiental, já explicitadas aqui nessa pesquisa, reitera-se a importância das contribuições de Crepani et al. (2001) para o auxílio na ponderação dos pesos e escala de cores das classes das variáveis.

O estudo de Sporl (2004) baseado na utilização de Rede Neurais Artificiais (RNAs) para a elaboração de modelos de fragilidade ambiental, e a partir destes programas computacionais é possível atribuir os pesos para cada variável (declividade, solos, rochas, cobertura vegetal / uso da terra e intensidade pluviométrica). Entretanto, a

composição das variáveis selecionadas precisam ser analisadas em consideração a sinergia entre elas (SPORL, 2004; SPORL; CASTRO; LUCHIARI, 2011).

A proposta de Santos e Ross (2012) refere-se a fragilidade ambiental em áreas com diferentes níveis de urbanização, apoiando-se nos seguintes elementos: relevo, solos e níveis de urbanização. Tendo em vista que, apresentam os graus de fragilidade, variando de muito baixa a muito alta, onde através da determinação dos pesos, possibilitam ser analisados em *softwares* com ambientes do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Conforme Sporl (2007), os estudos relativos à fragilidade dos ambientes, proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações que servem de base para o zoneamento e fornecem subsídios à gestão do território e ao poder público. Desse modo, percebe-se que os estudos relacionados a esta temática têm a finalidade de identificar as áreas mais afetadas e propícias a antropização. Sporl e Ross (2004) contemplam a ideia de que a partir da identificação dos níveis de fragilidades, tornam-se eficazes para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável.

A partir das pesquisas realizadas sobre a fragilidade ambiental, é possível identificar as áreas que necessitam de melhorias na política de ordenamento territorial, podendo servir de subsídio para a tomada de decisão ao poder público (SILVA; SCHULER; FALCÃO, 2019; LINHARES *et al.*, 2020).

Verificou-se através de uma revisão de literatura sobre fragilidade ambiental em bases abertas sob a série temporal de 2010-2021, destaca-se os seguintes estudos: Cabral *et al.* (2011), Silva e Costa (2011), Gomes (2013), Vitte e Mello (2013), Santos e Oliveira (2013), Shao *et al.* (2014), Gouveia *et al.* (2015), Schiavo *et al.* (2016), Valle, Francelino e Pinheiro (2016), Silva e Bacani (2017), Guerrero *et al.* (2018), Bisognin *et al.* (2018), Alves, Martins e Scopel (2018), Abrão (2018), Santos (2018), Gouveia e Ross (2019), Lima e Lupinacci (2019), Belato, Serrão e Dias (2019), Pericato e Souza (2019), Santos e Marchioro (2020), Almeida *et al.* (2020), Santos (2020) e Vieira *et al.* (2021).

3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS EMPREGADOS NA PESQUISA

3.1 Métodos e técnicas

No que se refere aos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, foram utilizados a abordagem quali-quantitativa, levando em consideração a Análise Integrada, e a adaptação da abordagem de Ross (1994) referente à fragilidade ambiental, sendo justificada pela sua ampla utilização em bacias hidrográficas e a possibilidade de processamento dos dados em *software* de geoprocessamento e Cunha et al. (2011) na aplicação da lógica *fuzzy* – AHP.

Para uma melhor interpretação, as fases metodológicas foram separadas em etapas hierárquicas: a) inicialmente houveram levantamentos e análises de materiais teórico-bibliográficos, conceituais, documentais e cartográficas; b) trabalhos em gabinete; c) utilização de cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG); d) interpretação de imagens orbitais; e) caracterização geoambiental da área de estudo.

Para o desenvolvimento da caracterização geoambiental da área de estudo, foram realizadas por meio de consultas em materiais teóricos/bibliográficos, bem como de órgãos oficiais, alguns deles são:

- **Solos:** Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) (1986) e (2013);
- **Geologia:** Lima e Leite (1978); Goés et al. (1990);
- **Geomorfologia:** Alcântara (2004); Correia Filho (2011);
- **Vegetação:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2012) e Mapbiomas (2022);
- **Clima:** Núcleo Geoambiental (NuGeo) 2016; Medeiros, 2001;
- **Hidrografia:** Feitosa, (2002); Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) 2019.

3.2 Base de dados

Para o processamento das informações adquiridas através dos mapas temáticos, Ross (1944) e Cunha et al. (2011) atribuiu classes e valores no intuito de identificar a fragilidade potencial e emergente, são eles: muito fraco-0,1, fraco-0,3, médio-0,5, forte-0,7 e muito forte-0,9. No tocante da atribuição de pesos as classes das variáveis ambientais, foi considerado os estudos de Ross (1994), Crepani et al. (2001), Araújo (2012), Bacani et al. (2015), Abrão (2018) e Belato, Serrão e Dias (2019). Quanto as cores dos mapas temáticos geoambientais, levou-se em consideração os estudos de EMBRAPA (1986; 2013), CPRM (2013), ANA (2017) e MapBiomas (2019), e os que deram origem aos de fragilidade potencial e emergente, baseou-se no gradiente de cores dispostos por Crepani et al. (2001). Em relação aos quadros representando os quantitativos por quilômetros quadrados (km²) de cada classe das variáveis, foram obtidos através do algoritmo “reporta camada raster de valor único” do *software* QGIS. Após extrair os dados, foram manipulados na planilha eletrônica do *microsoft excel* para obter as porcentagens. A seguir é apresentado as bases de dados utilizadas para a produção dos mapas.

Mapa de fragilidade relativa a declividade: Para a delimitação da área de estudo, no intuito de obter os limites topográficos (cotas altimétricas) e a declividade do terreno foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros, onde foi obtido através do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Desse modo, são representadas as classes de declividade, conforme Ross (1994) no Quadro 1.

Quadro 1: Classes relativa a declividade

Classes de Fragilidade	Classes de Declividade	Pesos (Fuzzy – AHP)
Muito fraca	Até 6%	0,1
Fraca	De 6 a 12%	0,3
Média	De 12 a 20%	0,5
Forte	De 20 a 30%	0,7
Muito forte	Acima de 30%	0,9

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Cunha et al. (2011)

Mapa de Fragilidade Pedológica: Quanto às informações pedológicas foram obtidas por meio de arquivos em formato *shapefiles* da EMBRAPA (1986) na escala de 1.1.000.000, extraídos a partir do *link* (http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3A solos_ma_lat_long_wgs84) e posteriormente refinadas e transformados em arquivos *raster*. Considerando o ano de publicação do arquivos, foi necessário atualizar os tipos de solos de acordo com a nova classificação da EMBRAPA (2013). Na pedologia, de acordo com Crepani et al. (2001) a ponderação das classes considerou-se a maturidade dos solos, variando de pouco frágil os solos jovens e muito frágil os solos desenvolvidos. Conforme o Quadro 2.

Quadro 2: Classes de fragilidade pedológica

Classes de Fragilidade Ambiental	Classes de Solos	Pesos (fuzzy AHP)
Muito fraca	Latossolo Amarelo	0,1
Fraca	*	*
Média	Planossolo	0,5
Forte	Argissolo vermelho-amarelo eutrófico e Argissolo acizentado	0,7
Muito forte	Gleissolo, Neossolo Quartzarênico e Neossolo flúvico	0,9

* Classe/Peso de fragilidade não definida por não ocorrer na área de estudo.

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Cunha et al. (2011)

Intensidade pluviométrica: As informações sobre os dados dos volumes pluviométricos para a geração da isoietas foram adquiridos por meio da Agência Nacional da Águas (ANA) através da plataforma Hidroweb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>), na série temporal da normal climatológica. As estações pluviométricas, foram as seguintes: Aldeias Altas (cód. 443012), Cantanhede (cód. 344004), Codó (cód. 443006), Coroatá (cód. 444001), Pedras (cód. 344008), Piritoró II (344007), Presidente Juscelino (344010) e São Luís (244006). A análise pautou-se no método de interpolação da Ponderação do Inverso da Distância (IDW), conforme Jakob e Young (2006, p.8) o método é aplicado da seguinte forma “para predizer um valor para algum local não medido, o IDW usará os

valores amostrados à sua volta, que terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto (...)'’.

Mapa de Fragilidade Geológica: Foram obtidas por meio de arquivos em formato *shapefiles* do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (2013) na escala de 1.1.000.000, obtidos a partir do *link* (https://www.nugeo.uema.br/upnugeo/meio_fisico/map_001.jpg) e posteriormente refinados e transformados em arquivos *raster* conforme a área de estudo. Na geologia, de acordo com Crepani et al. (2001) a ponderação das classes considerou-se a evolução geológica das rochas e o seu grau de coesão. O Quadro 3 representa as classes que compõem a fragilidade geológica, o Quadro 4 apresenta a estratigrafia da área de estudo.

Quadro 3: Classes de fragilidade geológica

Classes de Fragilidade Ambiental	Classes de Geologia	Descrição litológica das mesmas	Pesos (fuzzy AHP)
Muito fraco	Granito areal	Granito	0,1
Muito fraco	Suíte Rosário	Granito/grano diorito	0,1
Fraco	*		*
Médio	*		*
Forte	Formação Itapecuru	Arenito	0,7
Forte	Formação Corda	Arenito	0,7
Muito Forte	Depósitos fluviomarinheiros holocênicos	Arenito/aluvião	0,9
Muito forte	Formação Codó	Folhelhos, calcários e evaporitos	0,9
Muito forte	Depósitos aluvionares holocênicos	Aluvião	0,9
Muito forte	Depósitos coluviais holocênicos	Colúvios	0,9
Muito forte	Depósitos de pântanos e mangues holocênicos	Lamas arenosas	0,9

Muito forte	Cobertura dedrito-laterítica neo-pleistocênica	Argilo-arenosos	0,9
Muito forte	Cobertura dedrito-laterítica paleogênica	Argilito	0,9
Muito forte	Formação Motuca	Folhelhos	0,9

* Classe/Peso de fragilidade não definida por não ocorrer na área de estudo.

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Cunha et al. (2011)

Quadro 4: Estratigrafia da área de estudo

PERÍODO	ESTRUTURA GEOLÓGICA
Quaternário	Cobertura dedrito-laterítica neo-pleistocênica
Quaternário	Cobertura dedrito-laterítica paleogênica
Quaternário	Depósitos aluvionares holocênicos
Quaternário	Depósitos coluviais holocênicos
Quaternário	Depósitos de pântanos e mangues holocênicos
Quaternário	Depósitos flúvio-marinhos holocênicos
Cretáceo	Itapecuru
Jurássico	Codó
Jurássico	Corda
Permiano	Motuca

Fonte: Adaptado de Góes et al. (1995)

Mapa de uso e cobertura da terra: A elaboração deste foi através do Projeto Mapbiomas (coleção 5) por meio do complemento “MapBiomas *Collection*” instalado no QGIS e elaborado por Motta (2019), além do auxílio do *Google Earth Engine* para verificação das classes. De acordo com o Mapbiomas (2022) o projeto utiliza a classificação *pixel a pixel* da coleção de imagens de 30 metros das satélites *Landsat*, sendo processados no *Google Earth Engine* através de algoritmos (*machine learning*). Quanto ao ano de referência para a análise, foi utilizado a série de 2019. Apesar de Ross (1994) considerar o mapeamento de uso e cobertura da terra através de outras técnicas, a presente

proposta é aceita por diversos pesquisadores, dentre eles: Araújo, Andrade e Dobbss (2020) e Silva, Ferreira e Loureiro (2021). O Quadro 5 representa os diferentes tipos de uso da terra e os graus de proteção.

Quadro 5: Classes de uso e cobertura da terra

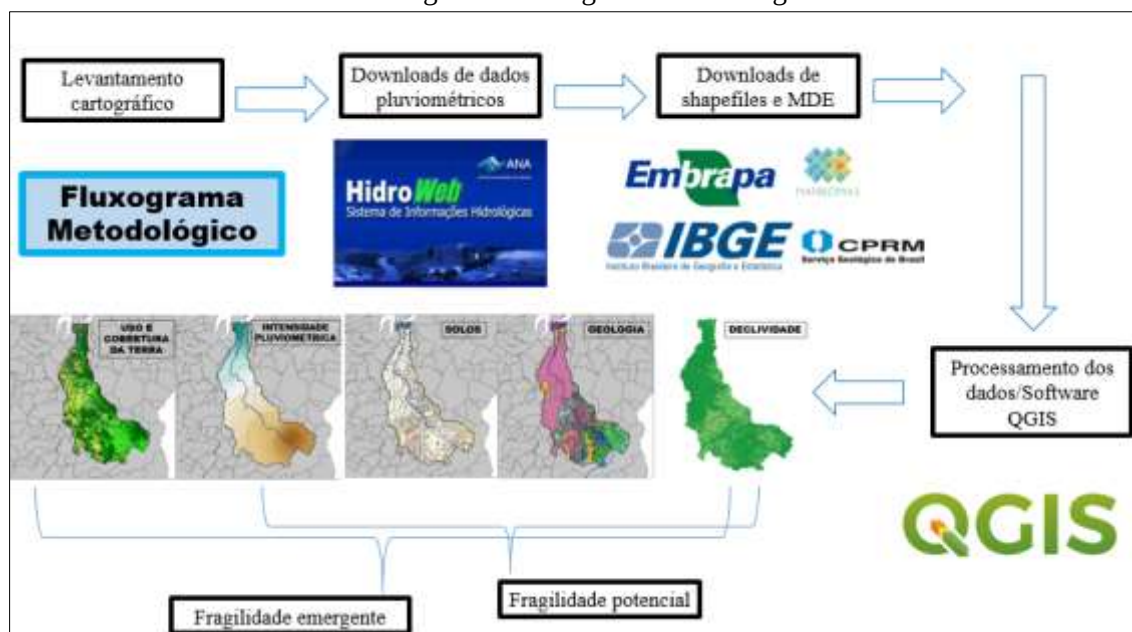
Classes de Fragilidade Ambiental	Classes de uso e cobertura da terra	Pesos (fuzzy AHP)
Muito fraco	Formação Florestal	0,1
Fraco	Formação Savânica	0,3
Fraco	Mangue	0,3
Médio	*	*
Muito Forte	Formação campestre	0,9
Muito forte	Cana	0,9
Muito forte	Infraestrutura urbana	0,9
Muito forte	Outras áreas não vegetadas	0,9
Muito forte	Outras lavouras temporárias	0,9
Muito forte	Pastagem	0,9
Muito forte	Soja	0,9

* Classe/Peso de fragilidade não definida por não ocorrer na área de estudo.

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Cunha et al. (2011)

Os mapas temáticos foram gerados pelo sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), sob o Sistema de Referência Geodésico do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). Por conseguinte, para gerar os dados coletados e produzir os mapas, foram utilizados o *software* QGIS na versão 3.12.0 com GRASS na versão 7.8.2. Na figura 1 é ilustrado o fluxograma metodológico.

Figura 2: Fluxograma metodológico



Fonte: Pereira (2022)

3.3 Produção dos mapas

Mapa de fragilidade relativa a declividade: Após baixar as imagens do MDE e inserir no QGIS, fez-se necessário definir o Sistema de Referência (SRC) do projeto, utilizando a opção de (“*raster*”, “projeções” e “definir projeção”) localizado na tela inicial do *software*. Para a área de estudo, necessitou de 08 cenas do SRTM, sendo necessário inserir a *shapefile* com o contorno da área de interesse, desse modo, seguiu-se os passos (“caixa de ferramenta de processamento”, “criar camada pela extensão” e “usar a extensão na tela”). Depois de executar essas tarefas, foi preciso reclassificar as classes de declividade com base em Ross (1994), seguindo (“caixa de ferramenta de processamento”, “r.reclass”, “camada raster de entrada – inserir raster de declividade”, “regras de reclassificação – inserir um arquivo em formato txt com as informações das classes de declividade”. Quanto as cores do mapa, utilizou-se a renderização da banda falsa-cor, adequando o gradiente de cores no intuito de classificar as áreas mais baixas com cores claras e as altas com cores escuras.

Mapa de Fragilidade Pedológica: Depois da etapa de aquisição da *shapefile*, as mesmas estavam no SRC de origem WGS-84, havendo a necessidade de reprojeção para o sistema de referência SIRGAS 2000, utilizando a opção de (“vetor”, “gerenciar dados”, “reprojetar camada” e “SRC destino”). Nesse sentido, a *shapefile* da EMBRAPA estava abrangendo todo o território do Maranhão, sendo de fundamental importância a adequação a área de estudo. Portanto, com a inserção da *shapefile* da BHRI, foi utilizado as ferramentas (“caixa de ferramenta de processamento” e “recortar o vetor pela camada de máscara”). É essencial mencionar que a *shapefile* continha diversas simbologias, para tanto, fez-se uso do valor renomeado de “legenda”, aplicando as opções (“propriedades”, “simbologia”, “valor”, “legenda” e “desmarcando a caixa com a classe de água”). Após esses procedimentos, partiu-se para a atribuição dos pesos de cada classe, criando um novo campo, utilizando (“abrir tabela de atributos”, “alternar modo de edição”, “novo campo – renomear com o nome de peso, o “tipo” é o número decimal real e atribuir o “comprimento” e “precisão” dos números (pesos)”. Dessa forma, para a modelagem final da fragilidade pedológica, foi necessário converter o *shapefile* em *raster*, aplicando (“caixa de ferramenta de processamento”, “converter vetor para *raster*”, “campo a usar para o valor *burn-in* – foi selecionado a coluna criada na tabela de atributos para atribuir os pesos das classes”, “unidades de tamanho de saída – unidades georreferenciadas” e “resolução horizontal e vertical – 30,000000”).

Mapa de fragilidade pluviométrica: Em posse dos dados pluviométricos das estações da ANA, utilizou-se a planilha eletrônica da *microsoft excel* para manipulação e organização dos dados, criando colunas com os nomes de (“latitude”, “longitude”, “precipitação_anual” e “estação”). Feito isto, foi necessário organizar e selecionar os dados para a planilha eletrônica, no intuito de facilitar a leitura e interpolação no *software* QGIS. Para a realização da interpolação no QGIS, é preciso seguir as tarefas com uso dos dados da planilha (“gerenciador de fonte de dados”, “texto delimitado”, “formato do arquivo – CSV”, “definição de geometria – coordenadas de ponto, campo x é a longitude e campo y é a latitude”. Nesse sentido, ao inserir a *shapefile* da BHRI é essencial que os dados pluviométricos estivessem no mesmo SRC, para isso (“configurar SRC” e “definir o SRC do projeto a partir da camada”). Quanto a interpolação, seguiu-se as etapas (“caixa de ferramenta de processamento”, “interpolação IDW”, “camada vetorial – dados de precipitação”, atributo da interpolação – precipitação anual” e “usar a extensão da camada”). Para atribuir as cores, fez-se necessário (“simbologia”, renderização da banda – falsa-cor” e “gradiente de cores”).

Mapa de fragilidade geológica: Depois da etapa de aquisição da *shapefile*, as mesmas estavam no SRC de origem WGS-84, havendo a necessidade de reprojeção para o sistema de referência SIRGAS 2000, utilizando a opção de (“vetor”, “gerenciar dados”, “reprojetar camada” e “SRC destino”). Nesse sentido, a *shapefile* da CPRM estava abrangendo todo o território do Maranhão, sendo de fundamental importância a adequação a área de estudo. Portanto, com a inserção da *shapefile* da BHRI, foi utilizado as ferramentas (“caixa de ferramenta de processamento” e “recortar o vetor pela camada de máscara”). É essencial mencionar que a *shapefile* continha diversas simbologias, para tanto, fez-se uso do valor renomeado de “nm_unidade”, aplicando as opções (“propriedades”, “simbologia”, “valor”, “nm_unidade” e “desmarcando a caixa com a classe de corpo d’água continental”). Após esses procedimentos, partiu-se para a atribuição dos pesos de cada classe, criando um novo campo, utilizando (“abrir tabela de atributos”, “alternar modo de edição”, “novo campo – renomear com o nome de peso, o “tipo” é o número decimal real e atribuir o “comprimento” e “precisão” dos números (pesos)”. Dessa forma, para a modelagem final da fragilidade geológica, foi necessário converter o *shapefile* em *raster*, aplicando (“caixa de ferramenta de processamento”, “converter vetor para *raster*”, “campo a usar para o valor *burn-in* – foi selecionado a coluna criada na tabela de atributos para atribuir os pesos das classes”, “unidades de

tamanho de saída – unidades georreferenciadas” e “resolução horizontal e vertical – 30,000000”.

Mapa de uso e cobertura da terra: Para a produção desse mapa, houveram a necessidade de instalação de um complemento afim de obter os dados de uso e cobertura da terra, seguindo (“complementos”, “gerenciar e instalar complementos” e “MapBiomias Collection”). Após a instalação do complemento, fez-se necessário selecionar o ano de 2019 para aquisição dos dados, as mesmas estavam abrangendo todo o território brasileiro, sendo de fundamental importância a adequação a área de estudo. Portanto, com a inserção da *shapefile* da BHRI, foi utilizado as ferramentas (“raster”, “extrair” e “recortar raster pela extensão de máscara”). Todos os dados estavam no SRC de origem WGS-84, havendo a necessidade de reprojeção para o sistema de referência SIRGAS 2000, utilizando a opção de (“vetor”, “gerenciar dados”, “reprojetar camada” e “SRC destino”). Finalizando essas etapas, os dados foram transferidos na banda simples de cinza, desse modo, o projeto Mapbiomas disponibiliza para *download* (https://mapbiomas.s3.amazonaws.com/downloads/Colecction%206/MapBiomias_Col5_classes_colors.qml) as paletas de cores em *Red Blue Green* (RGB) e os nomes de suas respectivas classes, seguindo (“propriedades do *raster*”, “estilo” e “carregar estilo”). No intuito de maiores precisões para o mapeamento, buscou-se comparar as informações de uso e cobertura que estão disponibilizadas na plataforma do *Google Earth Engine*. Para o cômputo da fragilidade, foi preciso separar as classes em (“áreas com ação antrópica – peso 0,9”, “áreas com poucas ações antrópicas – peso 0,3” e “área florestal – peso 0,1). Feito isto, seguiu-se as etapas (“reclassificar por tabela”, “adicionando 03 linhas, já que a área de estudo apresentou apenas 3 pesos distintos”, “atribuir os pesos na tabela” e “parâmetros avançados – min <= valor <= max”).

Nesse contexto, nos parágrafos seguintes é destacado os procedimentos realizados para a produção dos mapas e análises que concederam os subsídios a identificação dos níveis de fragilidade ambiental potencial e emergente.

Para a modelagem das informações adquiridas dos mapas temáticos, Ross (1944) e Cunha et al. (2011) atribuíram classes e valores no intuito de identificar a fragilidade potencial e emergente. Diante das postulações, através da análise multicritério (FITZ, 2008) e do método de álgebra de mapas (CORDEIRO *et al.*, 1996), permitiu classificar as variáveis da fragilidade. Desse modo, para a combinação dos mapas intermediários de

fragilidade ambiental, fez-se necessário a aplicação da lógica Fuzzy – (Processo Analítico Hierárquico – AHP) (CÂMARA *et al.*, 2001).

Desta maneira, para produzir os mapas de fragilidade potencial e emergente, necessitou do uso da calculadora *raster* do QGIS, sendo preciso aplicar duas equações, conforme o estudo de Lisboa *et al.* (2017):

$$\text{Fragilidade Potencial (F.P)} = (S+D+G)/3 \text{ (Equação 1)}$$

Onde: S = Solos, D = Declividade e G = Geologia

$$\text{Fragilidade Emergente (F.E)} = (F.P + U.C)/2 \text{ (Equação 2)}$$

Onde: F.P = Fragilidade Potencial e U.C. = Uso e cobertura da terra

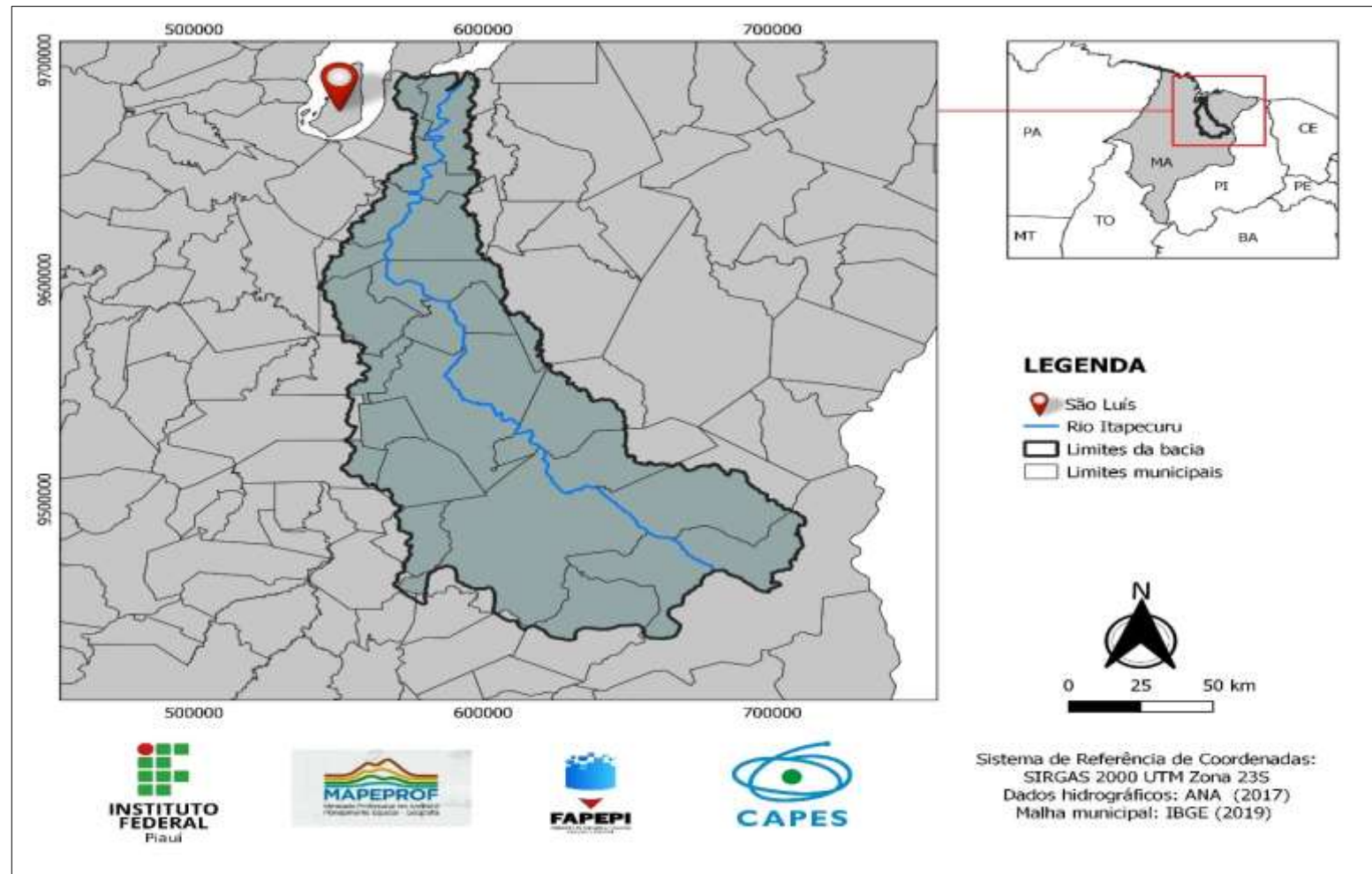
4. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU

A Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (BHRI) localiza-se no estado do Maranhão (figura 3), e nasce na confluência das serras da Crueiras, Itapecuru e Alpercatas e desemboca na baía do Arraial. A BHRI limita-se ao norte com a baía de São Marcos, a sul e leste pela bacia hidrográfica do rio Parnaíba e a oeste com a bacia hidrográfica do rio Mearim. Apresenta três regiões fisiográficas, o alto, médio e baixo curso. Na fisiografia do baixo curso, inicia-se a partir do 3º distrito do município de Caxias / MA e percorre até a sua foz (BARRADAS, 1996; IBANEZ, 1997; ALCÂNTARA, 2004; CODEVASF, 2019).

Os estudos na perspectiva geoambiental, necessitam da análise holística compreendendo a interação do quadro natural, abordando à geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia, hidrografia e fitoecologia. As investigações sobre os aspectos físicos / ambientais permitem distintas investigações que subsidiam principalmente as atividades no que tange a construção civil, além da preocupação com o planejamento urbano, ambiental e de ordenamento territorial (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2005; CORDEIRO; GARCEZ; BASTOS, 2015; ZHU et al., 2019; MILESI; CHURKINA, 2020; PEREIRA; NUNES; SOUSA, 2022).

Face o exposto, considerando a importância da caracterização geoambiental para as análises que associam a interação do quadro ambiental e o antrópico, levando em consideração a escala espacial, destaca-se (CHRISTOFOLETTI, 1999; BERTRAND, 2004, CLAUDINO-SALES, 2004, CUNHA, 2011; SUERTEGARAY, 2018).

Figura 3: Localização da área de estudo



Elaborado por: Pereira (2022)

4.1 Aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos

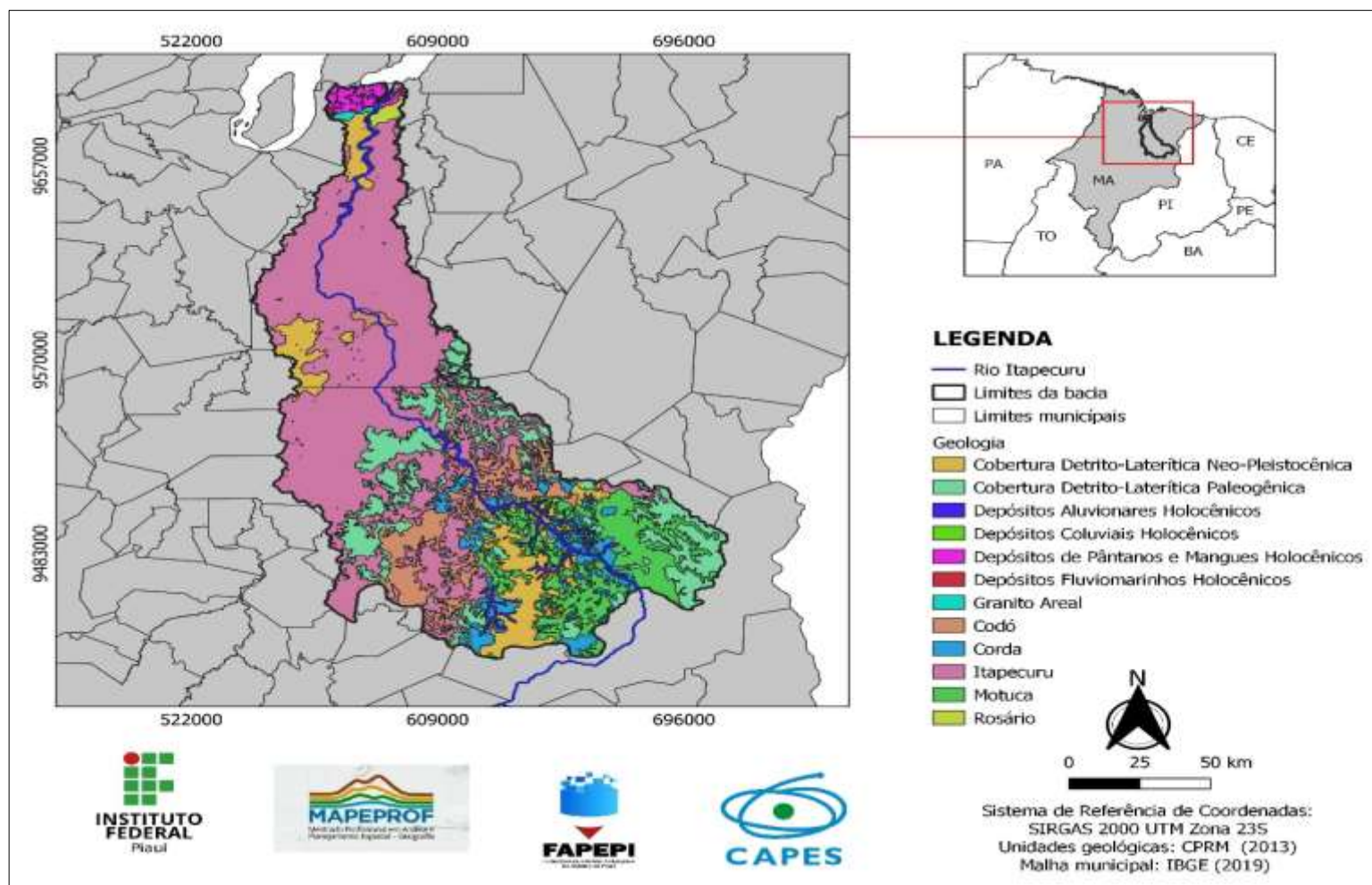
No contexto geológico, a área de estudo está sustentada na Plataforma Sul-Americana, e pela bacia sedimentar do Parnaíba (LIMA, BRANDÃO, 2010). Conforme Pereira, Nunes e Sousa (2022, p. 8) “(...) devido a intercalação de materiais físicos-naturais, propiciou a criação de diversos grupos e formações geológicas oriundas de ambientes distintos”. Nesse sentido, os grupos e as formações geológicas são variadas, sendo representadas por: Formação Motuca, Formação Corda, Formação Codó, Formação Itapecuru, Suíte Rosário, Granito Areal, Depósitos Fluvio-marinhos Holocênicos, Depósitos Aluvionares Holocênicos, Depósitos Colúviais Holocênicos, Depósitos de Pântanos e Mangues Holocênicos, Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica e Cobertura Detrito-Laterítica Neo-Pleistocênica.

Conforme Cavalcante (2005, p. 12) a cobertura detrito-laterítica neo-pleistocênica é caracterizada por “(...) sedimentos argilo-arenosos de cor amarelada, parcial a totalmente pedogeneizados, gerados por processos alúvio-colúviais, (...) constituem extensas superfícies de aplainamentos encimadas por uma crosta ferruginosa”. Desse modo, essa cobertura localiza-se na porção norte, noroeste e norte da bacia. A cobertura detrito-laterítica paleogênica possui um perfil de material laterítico completo, com horizontes do tipo argilosos e mosqueados. Tem predominância no trecho sudeste e central da bacia (COSTA; ANGÉLICA; AVELAR, 1985).

É importante destacar que as formações relacionadas ao Holoceno, contribuem de forma bastante significativa para as pesquisas relacionadas com as dinâmicas climáticas. Dito isto, os depósitos aluvionares holocênicos estão inseridos ao longo do rio principal da bacia, apresentam materiais do tipo cristalino dotado de grandes quantidades de areia grossa. (LIMA; LUPINACCI, 2019), na Figura 4 é ilustrada o esboço das formações geológicas da área de estudo.

Segundo Lira (2014) a análise interpretativa de depósitos de materiais colúviais e aluviais, contribuem significativamente para elaboração de propostas de manejo de uso do solo, reiterando também que solos aluviais apresentam grande fertilidade e os colúviais são de baixa fertilidade. Nesse sentido, os depósitos colúviais holocênicos localizados na porção sul da bacia, geralmente tem idade menos recente que os depósitos aluviais, com sedimentos argilosos e areia de origem recente (LIRA, 2014).

Figura 4: Esboço geológico da área de estudo



Elaborado por: Pereira (2022)

Os depósitos de pântanos e mangues holocênicos, de acordo com Lima et al. (2006, p. 4) “(...) estão sob a influência das marés, com desenvolvimento de manguezais. São depósitos atuais constituídos, predominantemente, de sedimentos argilo-siltitosos, ricos em material orgânico”. Desse modo, os depósitos estão concentrados ao norte da bacia, mais especificamente na foz da bacia, onde o rio Itapecuru inicia o seu trajeto de encontro com o mar na Baía do Arraial.

Nos depósitos fluviomarinheiros holocênicos, também possuem concentração na área ao norte da bacia, Veiga Júnior (2000, p. 22) destaca que os depósitos “(...) sofrem influência dos rios e das marés. São constituídos de areais finos, esbranquiçadas quartzosas, texturalmente maduras”. Percebe-se que os depósitos da escala de tempo geológico do holoceno, como já destacado, contribuem para variadas finalidades como por exemplo o auxílio na prática de manejo do solo.

O granito areal é caracterizado, de acordo com Pastana (1995, p. 31) “(...) por rochas composicionalmente ácidas, com textura granular / inequigranular hipidiomórfica. Petrograficamente, foram caracterizadas monzogranitos e sienogranitos. Nesse sentido, o granito areal está localizado na porção norte da bacia.

De acordo com Gorayeb (1999, p. 573) a suíte Rosário “é composta por um conjunto de múltiplos plutons tonalíticos, granodioríticos e graníticos, cálcio-alcálicos, com assinaturas de granitos”. Assim sendo, é importante considerar a localização espacial, sendo ela concentrada no trecho norte da bacia.

A formação Itapecuru, conforme Medeiros et al. (2014, p. 1248) “é caracterizada por níveis de arenitos finos a muito finos, intercalados a lamitos e eventuais níveis de calcário, depositados em ambientes fluviais, flúvio-deltaicos e lagunares (...). Essa formação ocupa grande parte da área da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, principalmente nas proximidades do vale do rio.

Em relação à formação Codó, Gonçalves et al (2006, p. 1) “consiste em sistema deposicional do tipo lacustre, cujos depósitos incluem evaporitos, folhelhos betuminoso, argilito laminado e calcários organizados em ciclos de arrasamento ascendente”. C 38 base nessas informações, a formação Codó engloba o trecho sudoeste da bacia.

A formação corda está localizada na porção sul da bacia, sendo caracterizada pela composição de arenitos do tipo cremes, amarronzados com grãos de alta esfericidade, apresentando estratigraficação cruzada laminar (LIMA; LEITE, 1978). A formação motuca localiza-se na porção sul, apresentando siltititos, evaporitos em sua estrutura

(CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005), complementa Arcanjo (2001, p. 34) que “os arenitos, que comparecem em proporções reduzidas, são avermelhados, de granulação fina, grãos subarredondados a arredondados e com matriz essencialmente argilosa.

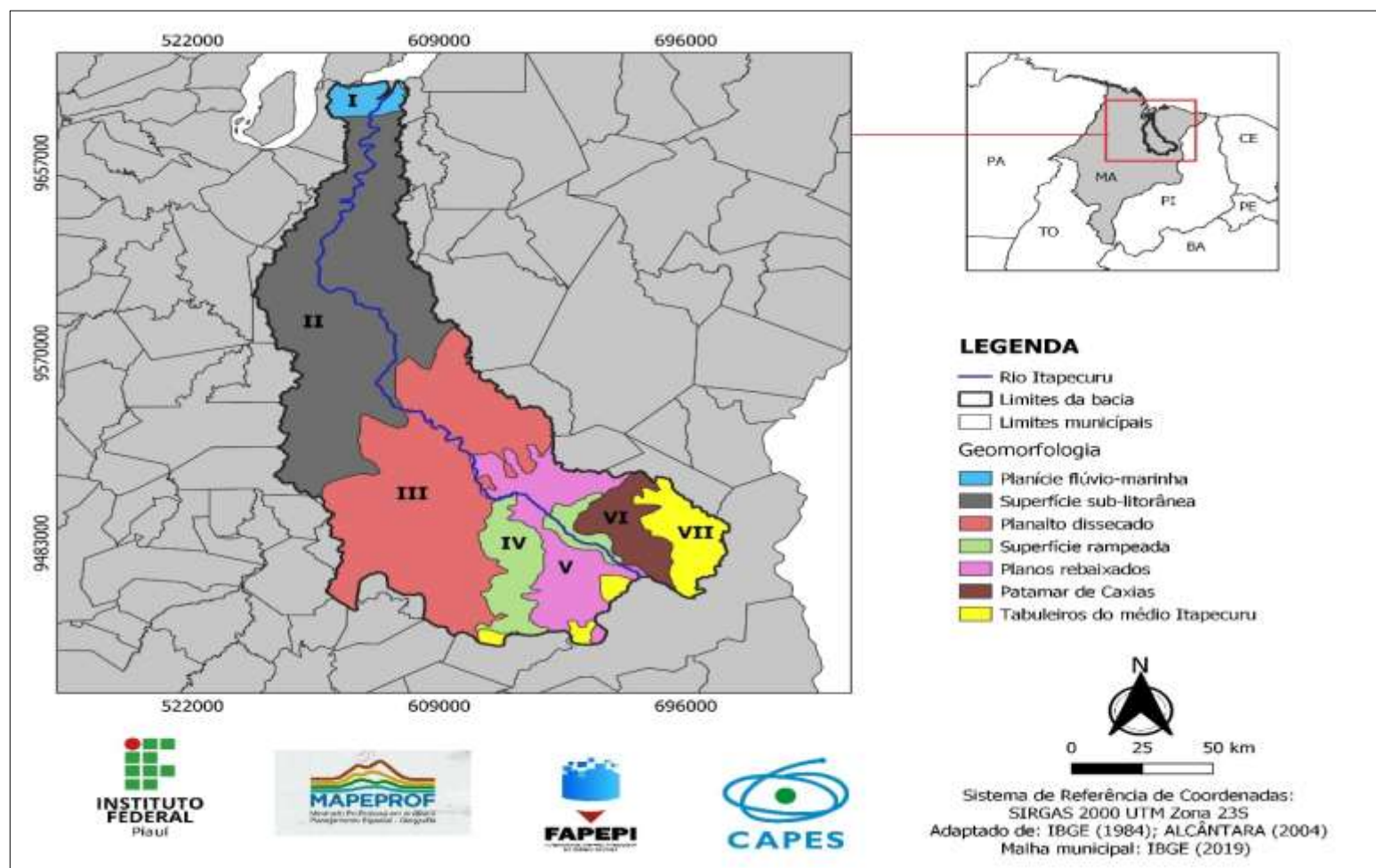
A bacia hidrográfica do rio Itapecuru está representada por diferentes eras e períodos, com predomínio da bacia sedimentar do Parnaíba. O baixo curso comporta 7 unidades geomorfológicas, são elas: planície flúvio-marinha, superfície sub-litorânea, planalto dissecado, superfície rampeada, planos rebaixados, patamar de Caxias e tabuleiros do médio Itapecuru (ALCÂNTARA, 2004; CODEVASF, 2019).

A planície flúvio-marinha está localizada junto à foz da bacia, sendo caracterizada por ser uma superfície plana com altitudes menores que 10 metros, contendo materiais flúviomarinhos, locais propícios para o desenvolvimento de solos gleissolos. A superfície sub-litorânea localizada na porção noroeste e nordeste da bacia, em altitudes que variam de 70 a 100 metros (ALCÂNTARA, 2004; CODEVASF, 2019).

O planalto dissecado encontra-se no trecho oeste da bacia, sendo constituído por colinas e morros, com altitudes inferiores a 200 metros, dotada de solos do tipo argissolos vermelho-amarelo. A superfície rampeada está inserida em altitudes que variam de 120 a 150 metros, e os solos neossolo fazem parte da sua estrutura (ALCÂNTARA, 2004).

Os planos rebaixados estão presentes na parte central da bacia, prevalecendo as cotas altimétricas entre 130 até 150 metros, e cobertos em grande maioria pelo solo latossolo. O Patamar de Caxias está localizado no trecho leste da bacia, sendo caracterizado por ser de terreno plano, com colinas e morros rampeados. Por fim, os tabuleiros do médio Itapecuru, apesar de conter uma pequena parte na fisiografia do baixo curso, localizam-se na parte sul da bacia, com predominância de topos dissecados e colinas (IBGE, 1997; ALCÂNTARA, 2004; CORREIA FILHO, 2011). A figura 5 representa as formações geomorfológicas da área de estudo.

Figura 5: Formações geomorfológicas da área de estudo



Elaborado por: Pereira (2022)

De acordo com Alcântara (2004) as características pedológicas do baixo curso apresentam diferenças na textura dos horizontes arenosos e argilosos, podendo ser atribuídos a baixa declividade do terreno. Sendo eles: latossolo amarelo, planossolo, argissolo vermelho-amarelo eutrófico, argissolo acinzentado, gleissolo, neossolo quartzarênico, neossolo flúvico, neossolo vermelho-amarelo (EMBRAPA, 1986; 2013; ALCÂNTARA, 2004).

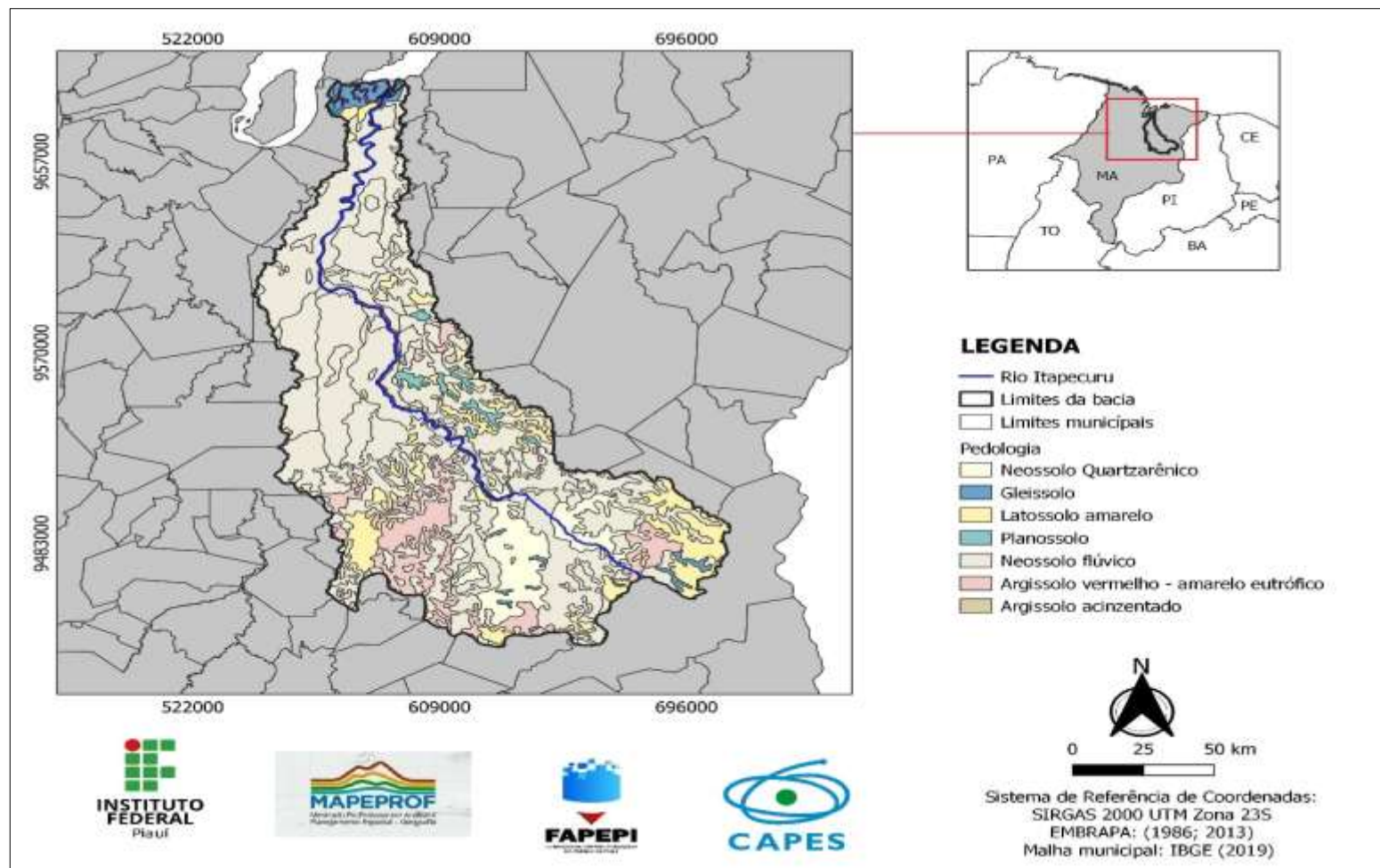
O latossolo amarelo tem predominância na parte sudeste, e uma minoria distribuída entre a região sudoeste, leste e norte da bacia. O mesmo apresenta associação com a geologia da cobertura dedrito-laterítica e granito areal, e com ocorrência nos tabuleiros do médio Itapecuru, possuindo a coloração amarelada, com grande umidade e textura argilosa. O planossolo localiza-se na parte central da bacia, sendo caracterizado por apresentar horizonte B plânico, além de ser mal drenado devido o lençol freático ser elevado, com características geológicas da formação Itapecuru e com ocorrências em áreas do planalto dissecado (JACOMINE *et al.*, 1986; EMBRAPA, 2006; IBGE, 2007).

O argissolo vermelho-amarelo eutrófico localiza-se no trecho sudoeste da bacia, composto de textura média / argilosa, com características geológicas da formação Codó e com ocorrência em áreas do planalto dissecado. Já o argissolo acinzentado está localizado na porção sul da bacia, sendo caracterizado pelas cores acinzentadas, e constituído de material com pouca argila, e com associação geológica da formação motuca, com ocorrência em áreas dos tabuleiros do médio Itapecuru (JACOMINE *et al.*, 1986; EMBRAPA, 2006; IBGE, 2007).

A classe de solo gleissolos tem predomínio na porção norte da bacia, contribuindo para o desenvolvimento dos mangues, e conforme IBGE (2007, p. 284) “são solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.)”, em sua grande maioria apresentam a cor acinzentada, e estão associados a geologia dos depósitos de pântanos e mangues holocênicos, e com ocorrências em áreas da planície flúvio-marinha.

O neossolo quartzarênico é encontrado na parte sul da bacia, apresentando material do tipo quartzo, e a sua grande maioria composta de areia fina e grossa, sendo caracterizado geologicamente pela cobertura dedrito-laterítica neo-pleistocênica, formação corda e com ocorrências em áreas do planalto dissecado (JACOMINE *et al.*, 1986; EMBRAPA, 2006; IBGE, 2007). O neossolo flúvico ocorre numa pequena porção do trecho sul, e a grande maioria na região oeste, noroeste e norte da bacia, estando associado a geologia da formação Itapecuru, depósitos aluvionares holocênicos, depósitos coluviais holocênicos e com ocorrência na unidade geomorfológica da superfície sub-litorânea (JACOMINE *et al.*, 1986; EMBRAPA, 2006; IBGE, 2007). Na Figura 6 é ilustrado o esboço pedológico da área de estudo.

Figura 6: Esboço pedológico da área de estudo



Elaborado por: Pereira (2022)

4.2 Aspectos vegetacionais, hidrográficos e climatológicos

As fitofisionomias da bacia, em decorrência das condições edafoclimáticas e da área de transição entre o Cerrado, pré-amazônico e a caatinga, apresentam variações nas formações vegetais (BARRADAS, 1996; ALCÂNTARA, 2004; CODEVASF, 2019).

De acordo com o levantamento cartográfico, também verificado por Codevasf (2019) são predominantes as coberturas vegetais oriundas da zona de transição, prevalecendo as formações vegetais florestais, savânica, além das vegetações modificadas para criação de pastagens, agricultura e manguezais resultantes da acumulação flúvio-marinhas.

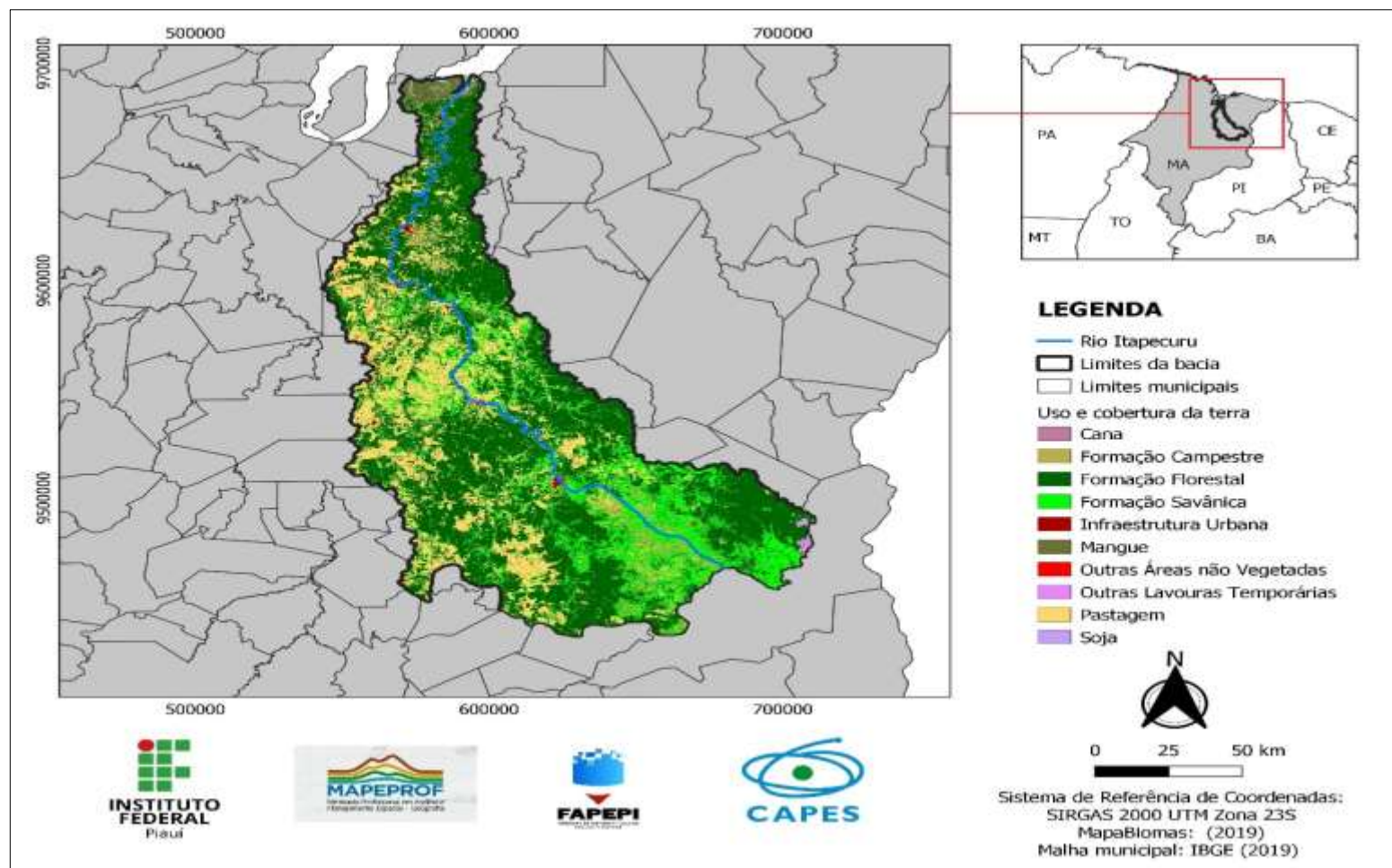
De acordo com os dados do mapbiomas para o ano de 2019, representando pela Figura 4, há a predominância das classes de formação florestal de forma bem distribuída ao longo da bacia, enquanto a formação savânica apresenta predomínio na porção sul e central bacia, já a classe de pastagem tem distribuição de sudoeste a noroeste. A formação campestre tem ocorrência predominante na região sul/norte, a classe de cana e soja estão localizadas com prevalência na porção sul da bacia. A infraestrutura urbana tem predominância na área de localização dos municípios que estão inseridos na bacia.

Conforme IBGE (2012, p. 49) a formação florestal “caracteriza-se pelo adensamento de árvores altas, com redução da quantidade de luz que chega ao solo, o que limita o desenvolvimento das sinúsias herbácea e arbustiva”.

Nesse sentido, esse tipo de formação apresenta limitação para o surgimento de um conjunto de plantas com estruturas homogêneas (DU RIETZ, 1954). Enquanto a formação savânica é dotada de vegetação arbórea e arbustiva, geralmente com copas amplas e esgalhamento baixo (IBGE, 2012; EMBRAPA, 2016).

A classe de mangue corresponde a comunidade que desenvolve-se em ambiente que contenham água salgada situada principalmente na desembocadura de rios (IBGE, 2012). De acordo com Mapbiomas (2022) a infraestrutura urbana e áreas não vegetadas, são caracterizadas pela escassez de vegetação, a exemplo de uma ciclovia asfaltada. As classes de soja, cana e lavouras temporárias, correspondem aos plantios praticados ao longo da bacia. A Figura 7 ilustra a cobertura vegetal da área de estudo.

Figura 7: Uso e cobertura da terra da área de estudo em 2019



Elaborado por: Pereira (2022)

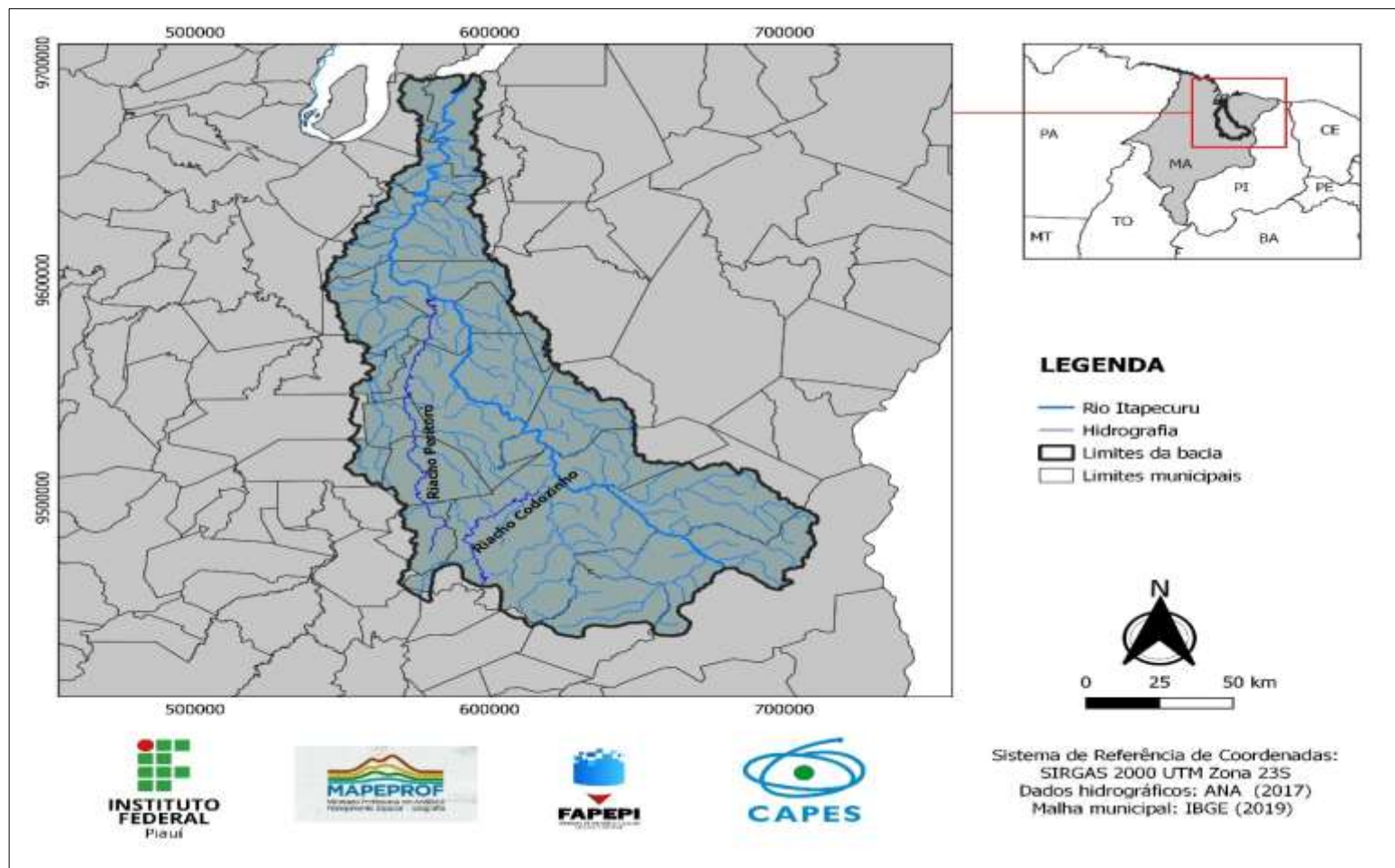
Quanto aos aspectos hidrográficos, a BHRI é detentora de grande reserva hídrica, inserindo-se na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental, sendo considerada uma bacia hidrográfica estadual, e atualmente apresenta um total de 1.423 nascentes em toda a bacia, sendo possível observar uma grande concentração de nascentes por toda a composição do baixo curso (BARRADAS, 1996; ALCÂNTARA, 2004; CODEVASF, 2019).

Em relação ao arranjo dos cursos das águas existentes na bacia, de acordo com o estudo desenvolvido pela Codevasf (2019) é constatado o predomínio do padrão de drenagem dendrítico, o mesmo é influenciado pelo conjunto de processos endógenos e exógenos, devido as diferentes unidades geológicas existentes na bacia, e assim contribuem para que haja o predomínio desse tipo de drenagem (PENTEADO, 1974; CHRISTOFOLETTI, 1980;1981; CUNHA, 2001; CODEVASF, 2019).

O baixo curso compreende vários tributários que disponibilizam água para diversos municípios, entre os afluentes permanentes (Figura 8) mais importantes, têm-se: Riacho Peritoró e Codozinho. Nota-se que a medida que o rio percorre para a sua foz, a largura média vai aumentando, chegando aproximadamente a 180 metros, e, é nesse trecho que o rio começa a receber a influência marinha, bem como se tornando mais piscoso (MEDEIROS, 2001; CODEVASF, 2019).

O rio Itapecuru bem como os seus afluentes são de grande importância para atender a demanda da sociedade, conforme estudos desenvolvidos por Feitosa, 2002; Silva; Conceição, 2011; Araújo, 2012; Rocha Paula *et al.*, 2021; Pereira; Nunes; Sousa, 2022. Em estudo desenvolvido por Codevasf (2019) necessário a preservação, pois no estudo de Codevasf (2019) constatou-se grandes quantidades de cargas sólidas que contribuem para o assoreamento do rio, o que acarreta em distintos problemas atingindo também a fauna e a flora.

Figura 8: Principais afluentes da área de estudo

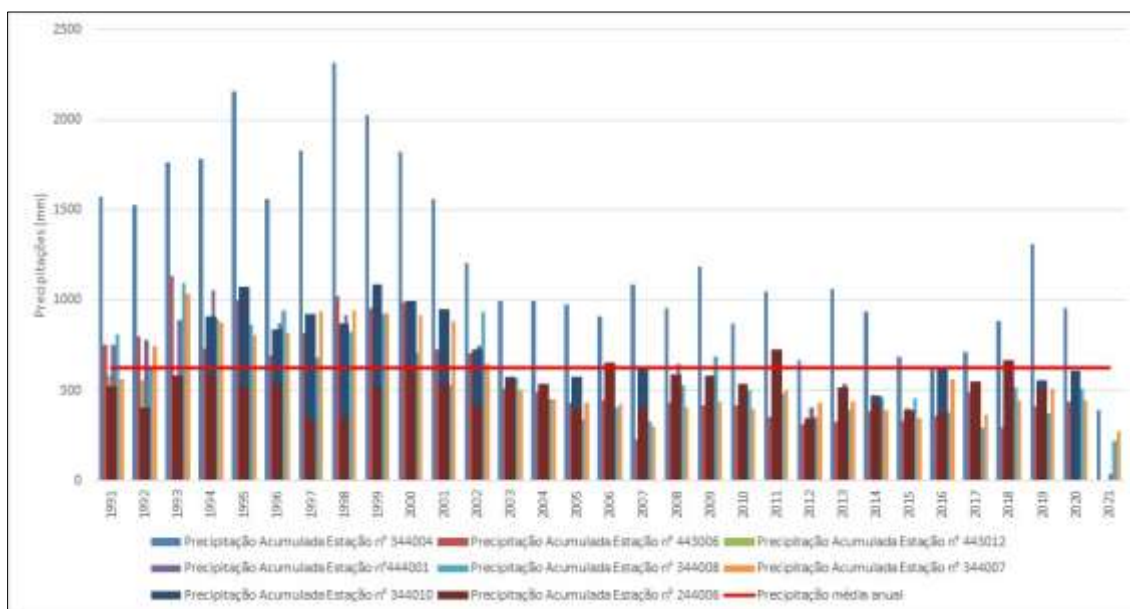


Elaborado por: Pereira (2022)

A bacia situa-se em uma zona de transição climática, entre o clima semiárido do Nordeste e o úmido equatorial da região amazônica. Seguindo a classificação climática de Thorntwaite (1948), o início do baixo curso até aproximadamente o município de Timbiras fazem parte do clima Subúmido que é caracterizado por precipitações altas, mas com distribuição irregular durante o ano (MEDEIROS, 2001; ALCÂNTARA, 2004; NUGEO, 2016; CODEVASF, 2019).

O Clima úmido também é atuante na bacia, abrangendo a partir do município de Timbiras até a foz do rio Itapeturu, apresentando a maior abrangência espacial dos índices pluviométricos (ALCÂNTARA, 2004; NUGEO, 2016; CODEVASF, 2019). Na Figura 9 é representado o gráfico dos dados de precipitações interanual, e na Figura 10 ilustra a intensidade pluviométrica da bacia considerando a normal climatológica.

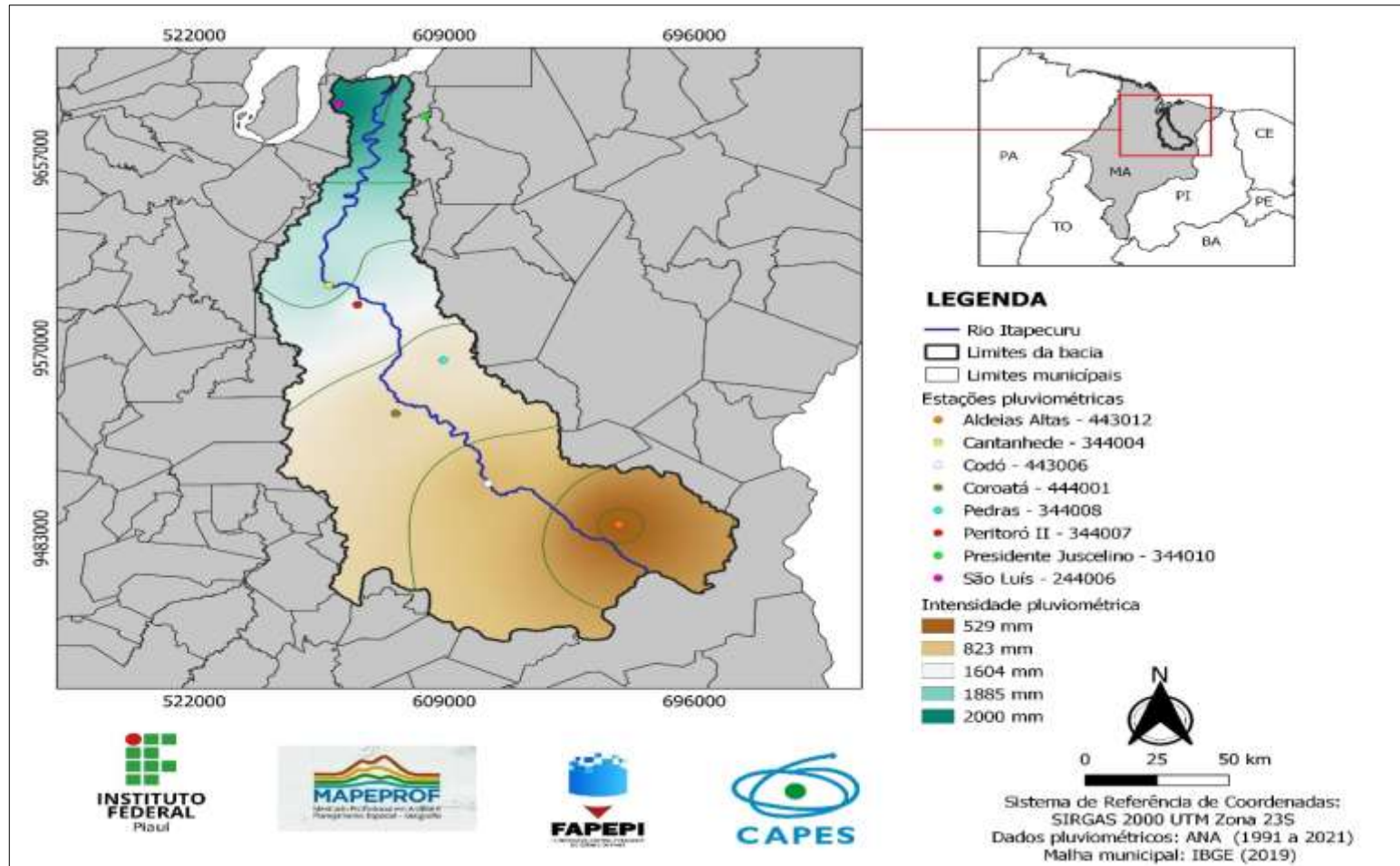
Figura 9: Variação interanual da precipitação da área de estudo



Pereira (2022)

Conforme a figura 9, os maiores volumes pluviométricos estão concentrados nas estações cuja localização se aproxima da foz do rio. A diferença da intensidade pluviométrica durante o ano, é evidenciado pela variação da precipitação sendo que de novembro a maio tem-se os meses mais chuvosos da área de estudo, já de junho a outubro, tem-se os meses com menores volumes de chuva. Quanto a temperatura média anual, esta tem variação de 26°C a 27°C, sendo que o período mais frio de junho a agosto e o mais quente de outubro a novembro (ALCÂNTARA, 2004).

Figura 10: Intensidade pluviométrica da área de estudo



Elaborado por: Pereira (2022)

Com base na Figura 10, foi verificado que a partir do percurso do rio (direção sul / norte) a intensidade pluviométrica vai aumentando com variância entre 565 a 2.000 milímetros / ano. Além desses dados, de acordo com Codevasf (2019, p. 59) foi verificado que “(...) apesar do gradativo aumento nos totais pluviométricos, verifica-se uma maior irregularidade das precipitações, caracterizando um regime mais torrencial, ou seja, no médio / baixo curso o escoamento superficial é mais pronunciado (...)”. Nesse sentido, Alcântara (2004) complementa que por conta dessas irregularidades pluviométricas que há período seco e outro chuvoso.

Com os dados obtidos através desse relatório acadêmico, foram elaboradas as sugestões de manejo realizadas com base nas informações da análise de fragilidade ambiental, as informações sobre as atividades socioeconômicas desenvolvidas na região, e a integração das características naturais e antrópicas. A partir dessas verificações de forma integrada, foi disposto o manual técnico de manejo integrado no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, C. M. R.; BACANI, V. M. Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 619-645, 2018.
- ALBUQUERQUE, A. R. C. Bacia hidrográfica: unidade de planejamento ambiental. **Revista Geonorte**, v.4, n.4, p.201 – 209, 2012.
- ALCÂNTARA, E.H. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 11, p. 97-113, 2004.
- ALMEIDA, J.L.A.; SILVA, V.A.R.; SANTOS, J.S.; SANTOS, J.R.N.; ARAÚJO, M.L.S.; PYLES, M.V.; SILVA, F.B. O Cenário de Fragilidade Ambiental do Baixo Curso do Rio Mearim. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.1, p. 102-120, 2020.
- ALVES, W.S.; MARTINS, A.P.; SCOPEL, I. Fragilidade ambiental: subsídio ao planejamento e à gestão da bacia do ribeirão da Laje (GO), Brasil. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 22, n. 34, p. 01-17, 2018.
- ARCANJO, J.B.A. **Programa levantamento geológicos básicos do Brasil**. Curimatá. Folha SC.23-Z-A. Corrente. Folha SC. 23-Y-B (Parcial) e Xique-Xique. Folha SC.23-Z-B (Parcial) – Escala 1:250.000. Estados da Bahia e do Piauí/ organizado por João Batista Alves Arcanjo e Pedro de Alcântara Braz Filho. Brasília: CPRM, 2001.
- ARAÚJO, F. A. S. **Geomorfologia aplicada à fragilidade e ao zoneamento ambiental de Caxias/MA**. 2012. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós - Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus Presidente Prudente, 2012.
- ARAÚJO, K.V.; ANDRADE, A.M.; DOBBSS, L.B. Análise da fragilidade potencial e emergente do município de Canaã dos Carajás, sudeste do Estado do Pará. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v.24, n. 28, p. 1-30, 2020.
- ARRUDA, G. Bacias hidrográficas, história ambiental e temporalidades. **Revista de História Regional**, v.20, n.2, p. 209-231, 2015.
- ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?. **Revista USP**, n. 103, p. 13-24, 2014.
- BACANI, V. M., SAKAMOTO, A. Y., LUCHIARI, A., & QUÉNOL, H. Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 119-135, 2015.
- BAHR, G.C.; CARVALHO, S.M. Identificação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do arroio uvaranal, como subsídio ao projeto de expansão urbana de Telêmaco Borba – PR. **RAÍE GA**, v. 26, p.157-181, 2012.
- BANDEIRA, I.C.N (org.). **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.

BARRADAS, M. N. **Rio Itapecuru: uma proposta de preservação**. Caxias, COMEPI, 1996.

BELATO, L.S.; SERRÃO, S.L.C.; DIAS, R.P. Diagnostico da fragilidade ambiental na bacia do submédio Tocantins: UHE Tucuruí. **Natural Resources**, v.9, n.1, p.28-37, 2019.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1977.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço metodológico. **Revista Ra'E GA**, n. 8, p. 141-152, 2004.

BISOGNIN, R.P.; ZIANI, P.; BAGGIOTTO, C.; FERNANDES, G.; CRUZ, R.C. Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica à Montante do Reservatório de Ernestina/RS. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 22, n.14, p. 01-12, 2018.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999.

BRAGA, C. C.; CABRAL, J. B. P.; LOPES, S. M. F.; BATISTA, D. F. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do reservatório da UHE Caçu – Goiás. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 81-98, 2017.

BRASIL. **Lei Federal n. 9433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.

CABRAL, J. B. P., ROCHA, I. R., MARTINS, A. P., ASSUNÇÃO, H. F. E BECEGATO, V. A. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando tecnicas de geoprocessamento. **GeoFocus**, n. 11, p. 51-69, 2011.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F.R.; BARBOSA, C.; ALMEIDA FILHO, R.; BONISCH, S. **Técnicas de Inferência Geográfica**. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação, 2001.

CAPUTO, M.V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V.M.M. da. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Parnaíba. **FUNDAÇÃO PALEONTOLÓGICA PHOENIX: ARACAJU – SE**, n.81, p. 1-6, 2005.

CAVALCANTE, L.M. **Zoneamento geológico e geomorfológico de uma área entre Assis Brasil e Brasília – Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. D.; AZEVEDO, L. G. DE; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORESZANO, T. G.; DUARTE, V. **Sensoriamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

_____. **Geomorfologia fluvial** – São Paulo: Edgard Blücher: FAPESP, 1981

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blücher, 1999.

CLAUDINO-SALES, V. Geografia, Sistemas e Análise Ambiental: Abordagem Crítica. **GEOUSP: espaço e Tempo**, v. 8, n. 2, p. 125-141, 2004.

CODEVASF. **Plano Nascente Itapecuru**: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Brasília: Codevasf, 2019.

CORDEIRO, J.P.S.; AMARAL, S.; FREITAS, U.M.; CÂMARA, G. Álgebra de Geo-Campos e Suas Aplicações. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996. **Anais**, São José dos Campos, INPE, 1996.

CORDEIRO; GARCEZ, D. S.; BASTOS, F. H. A influência dos componentes geoambientais e das intervenções antropogênicas nos movimentos de massa na sub-bacia hidrográfica do rio Pirapora, Maranguape-Ceará. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 0, p. 135-154, 2015.

CORREIA FILHO, F.L. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Cantanhede. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

_____. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Codó. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

_____. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Aldeias Altas. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

COSTA, M.L.; ANGÉLICA, R.S.; AVELAR, J.O.G. **de Outeiro e Mosqueiro: exemplos de evolução laterítica imatura**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., 1985, Belém. Anais... Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, p. 479-494, 1985.

CUNHA, E.R.; BACANI, V.M.; AYACH, L.R. Geoprocessamento aplicado à análise da fragilidade ambiental. **Revista da ANPEGE**, v. 9, n. 12, p. 89-105, 2013.

CUNHA, S.B. **Geomorfologia fluvial**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

CUNHA, R.C.; DUPAS, F.A.; PONS, N.A.D.; TUNDISI, J.G. Análise da influência das variáveis ambientais. Utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do feijão, São Carlos – SP. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

DIAS, R. L.; PEREZ FILHO, A. Novas considerações sobre geossistemas e organizações espaciais em Geografia. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 3, p. 409-421, 2017.

DU RIETZ, G. E. **Vegetation analysis in relation to homogeneousness and size of sample areas**. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE BOTANIQUE, 8., Paris. Comptes rendus des séances et rapports et communications déposés lors du congrès. Paris, 1954.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro, 1986.

_____. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/ SOLOS. **Mapa de solos de Caxias**. Recife, 2006.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2013.

_____. **Conservação da biodiversidade do estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016.

FERREIRA, P.S.; SILVA, C.A. O método AHP e a Álgebra de Mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul / Brasil), proposições para a gestão do território. **Confins: revue franco-brésilienne de géographie**, v. 46, 2020.

FERREIRA, N.H.; FERREIRA, C.A.B.V.; GOUVEIA, I.C.M.C. Mapa de fragilidade ambiental como auxílio para o planejamento urbano e gestão de recursos hídricos. **Fórum ambiental**, v.12, n. 3, p. 44-58, 2016.

FEITOSA, A. C.; ALMEIDA, E. P. A degradação ambiental do rio Itapecuru a sede do município de Codó. **Cadernos de pesquisa**, v. 13, n. 1, p. 31-45, 2002.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FOLETO, E.M. O contexto dos instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. **Geoambiente on-line**, n.30, p. 39-59, 2018.

GÓES, A.M. **Formação Poti (carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba**. 171f. Tese – Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1995.

GONÇALVES, S.R.A.; ARAÚJO, R.R.; IMAI, N.N. Mapeamento do grau de fragilidade com processo analítico hierárquico e operadores fuzzy gama na detecção áreas de fragilidade ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62, p. 327-337, 2016.

GONÇALVES, D.F.; ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; MENDES, A.C. Argilominerais da formação Codó (aptiano superior), bacia de Grajaú, Nordeste, Brasil. **Latin American Journal of sedimentology and basin analysis**, v.13, n.1, p. 59-75, 2006.

GONÇALVES, G.G.G.; DANIEL, O.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A.C.T.; ARAI, F.K. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, v. 41, n. 4, p. 797 - 808, 2011.

GOMES, R.L. Avaliação da fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Almada-Bahia. **Boletim de geografia**, v. 31, n. 3, p. 41-53, 2013.

GORAYEB, P.S.S.; GAUDETTE, H.; MOURA, C.A.V.; ABREU, F.A.M. Geologia e geocronologia da suíte Rosário, Nordeste do Brasil, e sua contextualização geotectônica. **Revista Brasileira de Geociências**, v.29, n.4, p. 571-578, 1999.

GOUVEIA, I.C.M.C.; ROSS, J.L.S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevô. **Revista do Departamento de Geografia**, v.37, p. 123-136, 2019.

GOUVEIA, R.G.L.; GALVANIN, E.A.S.; NEVES, S.M.A.S.; NEVES, R.J. Análise da fragilidade ambiental na bacia do rio Queima-Pé, Tangará da Serra, MT. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, p. 131-140, 2015.

GUERRERO, J.V.R.; LOLLO, J.A.; MOSCHINI, L.E.; LORANDI, R. Carta de Fragilidade Ambiental como instrumento de planejamento e conservação de unidades aquíferas: o caso da bacia do rio Clarinho, SP. **Caderno de Geografia**, v.28, n.53, p. 385-403, 2018.

IBANEZ, M. S. R. **Limnologia do Rio Itapecuru, Maranhão, Brasil**. São Luís, 1997.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Zoneamento geoambiental do Estado do Maranhão**: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador. IBGE, 1997.

_____. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências. IBGE, 2007.

_____. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

_____. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências. IBGE, 2012.

IMESC. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos Cartográficos. **Relatório técnico de Geologia, Geomorfologia e Hidrogeologia do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) – Etapa Bioma Amazônico**. Jorge Hamilton Souza dos Santos; Paulo Henrique de Aragão Catunda; Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias (coordenadores). São Luís: IMESC, 2019.

JACOMINE, P. K. T. (Coord.). **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/SUDENE-DRN, 1986.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso do método de interpolação espacial das análises sociodemográficas. *IN: Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, Caxambu-MG: ABEP, p. 1-22, 2006.

LIMA, E.A.M.; LEITE, J.F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba: integração geológico-metalogenética**. Relatório final, etapa III. Belém: DNPM/CPRM, 1978.

LIMA, K.C.; LUPINACCI, C.M. Fragilidades e potencialidades dos compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Bom Sucesso – semiárido da Bahia/Brasil. **Revista Equador**, v. 8, n.2, p. 503-520, 2019.

LIMA, E.A.; BRANDÃO, R.L. **Geologia**. In: PFALTZGRAFF, P.A.S.; TORRES, F.M.; BRANDÃO, R.L. (Orgs.). Geodiversidade do estado do Piauí. Recife: CPRM, 2010.

LIMA, E.S.; FONTES, A.L.; SANTOS, M.A.; CORREIA, A.L.F. Caracterização sedimentar e morfodinâmica do litoral norte, do estado de Sergipe, municípios de Pacatuba e Brejo Grande - Contribuição Ao Ordenamento Territorial. **IV Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology**, 1, 1 – 9, 2006.

LINHARES, J.M.S.; SILVA, D.P.L.; BASTOS, W.R.; BATISTA, J.F. Mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial do Meio Físico da Área Urbana do Município de Lábrea – Sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 4, p. 651-664, 2020.

LIRA, D.R. **Evolução geomorfológica e paleoambiental das bacias do riacho Potanl e G-8 no sub-médio São Francisco**. 234 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014.

LISBOA, G.P.; MOREAU, M.S.; GOMES, R.L.; MORAES, M.E.B. Avaliação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Una (estado da Bahia) como subsídio para o planejamento e a gestão territorial. **Geografia - Unesp**, v. 42, n. 2, p. 225-242, 2017.

MARANHÃO. **Lei nº 8.149 de 15 de julho de 2004**. Dispõe sobre a política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos hídricos, e dá outras providências. Maranhão, 2004.

_____. **Decreto nº 36.580, de 10 de março de 2021**. Institui o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. Maranhão, 2021.

_____. **Lei nº 9.956, de 21 de novembro de 2013**. Dispõe sobre a criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Munim. Maranhão, 2013.

_____. **Lei nº 9.957, de 21 de novembro de 2013**. Dispõe sobre a criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim. Maranhão, 2013.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias. Série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**: Versão 5.

MASULLO, Y.A.G.; SOARES, L.S.; CASTRO, C.E.; PINHEIRO, E.A.L. Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.03, p. 1054-1073, 2019.

MATOS, A.S.; ROCHA, C.R.; OLIVEIRA, M.A. Bacias hidrográficas e gestão dos recursos hídricos: o caso da região hidrográfica Atlântico Leste. **GEOPAUTA**, v.2, n.2, p.5-16, 2018.

MEDEIROS, R. **Rio Itapecuru: águas que correm entre pedras**. São Luís, 2001.

MEDEIROS, C. N.; SOUZA, M. J. N. Metodologia para mapeamento da vulnerabilidade socioambiental: caso do município de Caucaia, estado do Ceará. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 1. 2016.

MEDEIROS, J. F. DE; CESTARO, L. A. O emprego de técnicas estatísticas para a compartimentação geoambiental da Serra de Martins-RN. **Sociedade & Natureza**, v. 32, n. 29, p. 404-415, 2020.

MELO, M.P.; BRANDÃO, A.D.; LIMA, J.D. Relação entre sociedade e natureza e desdobramentos do agronegócio na contemporaneidade. **Revista geográfica acadêmica**, v.12, n.1, p. 36-49, 2018.

MILESI, C.; CHURKINA, G. Measuring and monitoring urban impacts on climate change from space. **Remote sensing**, v.12, p. 1-25, 2020.

MONTEIRO, C. A. F. Os Geossistemas como Elemento de Integração na Síntese Geográfica e Fator de Promoção Interdisciplinar na Compreensão do ambiente. **Revista de Ciências Humanas**, v.14, n.19, p.67-101, 1996.

MOURA, M.R.F.; SILVA, S.R. Lei das águas e a gestão dos recursos hídricos no Brasil: contribuições para o debate. **Fórum ambiental**, v. 13, n.03, p. 15-24, 2017.

NASCIMENTO, F.R.; SAMPAIO, J.L.F. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da casa da geografia de Sobral**, v.6/7, n.1, p. 167-179, 2004/2005.

NÚCLEO GEOAMBIENTAL (NUGEO). Centro de Ciências Agrárias (CCA). **Bacias hidrográficas e climatológicas no Maranhão**. São Luís, 2016.

NUNES, H.K.B.; AQUINO, C.M.S. A temática ambiental em áreas urbanas: o Rio Poti como objeto de estudo em Teresina/Piauí. **Geoambiente On-line**. Goiás, n. 31, p. 38-59, 2018.

OLIVEIRA, C. S.; MARQUES NETO, R. Gênese da teoria dos geossistemas: uma discussão comparativa das escolas russo-soviética e francesa. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 47, n. 1, p. 06-20, 2020.

PASTANA, J. M. N. **Turiaçu/Pinheiro, folhas SA.23-V-D/SA.23-Y-B: Estados do Pará e Maranhão**. Brasília, CPRM, 205p. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil), 1995.

PASTORELLI JUNIOR, J.H.; FERRÃO, A.M.A. Aspectos de gestão integrada de bacias hidrográficas: O caso da área urbana da microbacia hidrográfica do córrego Água Boa do município de Dourados (MS), Brasil. **Cidades**, n. 37, p. 1-23, 2018.

PENTEADO, M.M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974.

PEREIRA, P.B.; NUNES, H.K.B.; SOUSA, A.S. Caracterização geoambiental do município de Caxias, Maranhão/Brasil. **Revista Geografia em Atos**, v.6, p. 1-19, 2022.

ROCHA PAULA, L.; AGUIAR CESAR, K.K.F.; BATISTA, A.K.R.; SIQUEIRA, F.F.F.S.; SILVA, L.; LIMEIRA FILHO, D. FERREIRA, M.F.R.; ALMEIDA, M.A.G.; NUNES, L.A.G.; SOARES, J.P.; AZEVEDO, C.A.S.; SILVA, F.L. Análise físico-química da qualidade da água do rio Itapecuru no município de Caxias-MA. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. 1-16, 2021.

RODRIGUES, A.M. **Produção e Consumo do e no espaço: problemática ambiental urbana**. São Paulo: Ed. Hucitec, 1998.

RODRIGUES, C. A Teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 14, p. 69-77, 2001.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.8, p.63-74, 1994.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: Âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 12, p. 89-121, 1998.

SHAO, H.; LIU, M.; SHAO, Q.; SUN, X.; WU, J.; XIANG, Z. YANG, W. Research on eco-environmental vulnerability evaluation of the Anning River Basin in the upper reaches of the Yangtze River. **Environ Earth Sci**, v. 72, p. 1555–1568, 2014.

SANTOS, M. A redescoberta da Natureza. **Estudos Avançados**, v.6 n.14, p. 95-106, 1992.

SANTOS, F. A. Fragilidade ambiental no município de Castelo do Piauí, Nordeste do Estado do Piauí. **Revista Formação (ONLINE)**, v. 25, n. 45, p. 51-66, 2018.

SANTOS, I.O.; MARIANO, G. Sistema de informação geográfica e caracterização fisiográfica automática da bacia hidrográfica do rio Tatuoca. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.3, p.866-879, 2017.

SANTOS, J.O.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, v.8, n.10, p.127-144, 2012.

SANTOS, L.C.A.; LEAL, A.C. Gerenciamento de recursos hídricos no estado do Maranhão – Brasil. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.13, p. 39-65, 2013.

SANTOS, J.G.; OLIVEIRA, L.A. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão São Bento da ressaca, município de Frutal – MG. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.15, p. 02-23, 2013.

SÃO MIGUEL, A. E.; MEDEIROS, R. B.; GOMES, W. M. Emprego do Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na avaliação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão São Pedro, Santa Rita do Pardo/MS. **Revista Cerrados**, v. 16, n. 02, p. 31-50, 2018.

SCHIAVO, B.N.V.; HENTZ, A.M.K.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 464–474, 2016.

SILVA, L.F.; BACANI, V.M. Análise da Fragilidade Ambiental e das Áreas de Preservação Permanente da Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo, Município de Aquidauana-MS. **Caderno de Geografia**, v.27, n.49, 2017.

SILVA, G.A.; COSTA, R.A. Paisagem e fragilidade ambiental natural da bacia hidrográfica do ribeirão São Ilureno, Ituiutaba/Prata – MG. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 39, p. 151 – 166, 2011.

SILVA, D. J. D.; CONCEIÇÃO, G. M. Rio Itapecuru: Caracterização Geoambiental e Socioambiental, Município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Scientia Plena**, v. 7, n.1, p. 1-26, 2011.

SILVA, A.N.; SCHULER, C.A.B.; FALCÃO, N.A.M. Mapeamento e Análise da Fragilidade Ambiental do Município de Paripueira-AL. **Anuário do instituto de geociências**, v. 42, p. 155-162, 2019.

SILVA, K.N.; FERREIRA, E.C; LOUREIRO, G.E.. Fragilidade Ambiental da Sub-Região Hidrográfica Itacaiúnas (SRHI). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. 1-21, 2021.

SOUSA, C.S.; KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L.; LOPES, E.C.S.; TEIXEIRA, S.G.; OLIVEIRA, J.K.M.; MOURA, E.M.; Leão M.H.B. **Mapa Geológico e Recursos Minerais do Estado do Maranhão**. In: Klein, E.L. & Sousa, C.S. (organizadores) Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG, Escala 1:750.000. Belém: CPRM, 2012.

SOUZA, E.G.S.; REBELATO, M.G. Avaliação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Baixo Mogi com uso da geotecnologia. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 411-426, 2021.

SOUZA, J.S.; MORAES, B.S. Análise das Políticas Públicas Implementadas para a Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 2, p. 913-919, 2016.

SPORL, C. CASTRO, E.G.; LUCHIARI, A. Aplicação de redes neurais artificiais na construção de modelos de fragilidade ambiental. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 21, p.113-135, 2011.

SPORL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 2007. 72 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo – USP.

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 8, n. 1, p. 39-49, 2004.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura**. Porto Alegre: ComPasso, 2018.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1990.

SUTIL, S. C.; GONÇALVES, J.A.C.; VIEIRA, E. M. Análise comparativa da fragilidade ambiental da bacia do rio Piracicaba a partir da aplicação de dois modelos metodológicos: suporte para o estabelecimento e proposição de Corredores Ecológicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.6, p. 3060-3077, 2020.

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

TRINDADE, L.L.; SHEIBE, L.F. Gestão das águas: limitações e contribuições na atuação dos comitês de bacias hidrográficas brasileiros. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, p. 1-20, 2019.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Revista**, v. 38, n. 1, p. 55, 1948.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**, v.22, n.63, p.1-16, 2008.

TURNER, B.L.; MEYER, W.B.; SKOLE, D. Global land-use/land-cover change: towards an integrated study. **Ambio**, Londres, v.23, n.1, p.91-95, 1994.

UEMA. Universidade Estadual do Maranhão. Núcleo Geoambiental (NUGEO). Centro de Ciências Agrárias (CCA). **Bacias hidrográficas e climatológicas no Maranhão**. São Luís, 2016.

VALLE, I.C.; FRANCELINO, M.R.; PINHEIRO, H.S.K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n.2, p. 295-308, 2016.

VASCONCELOS, C.S.; GÓES, L.M. Mapeamento do uso e ocupação das terras no município de Caém-Bahia. **Revista Geopauta**, v. 3, n.2, p.30-41, 2019.

VEIGA, J. E. **O Antropoceno e a ciência do sistema Terra**. São Paulo: Editora 34, 2019.

VEIGA, D.P.B.; GUANDIQUE, M.E.G.; NARDOCCI, A.C. Land use and water quality in watersheds in the State of São Paulo, based on GIS and SWAT data. **Revista Ambiente e Água**, v. 14, n. 5, p. 2325, 2019.

VEIGA JÚNIOR, J. P. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Luís NE/SE, Folhas SA.23-X e SA.23-Z**. Estados do Maranhão e Piauí. Escala 1:500.000. / Organizado por José Pessoa Veiga Júnior. – Brasília: CPRM, 2000.

VIEIRA, R.S., FERREIRA, E.P., FERREIRA, ROLIM NETO, F.C., OLIVEIRA, E. M., BRAGA, S. E. Fragilidade ambiental emergente da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce – ES, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.3, p. 1253-1267, 2021.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAW-Hill do Brasil, 1975.

VITTE, A.C.; MELLO, J.P. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Verde, região Nordeste do estado de São Paulo, Brasil. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n. 35, p. 192-222, 2013.

WARD, R. **ANTROPOCENO: Abordagem Histórica para Efetiva Mudança de Consciência, Novo Pacto Social e uma Nova Ética Baseada em Economia de Recursos Naturais. Especialização (Relações Internacionais) – Programa de Pós-Graduação em Relações Internacionais**. Universidade de Brasília, 2020.

ZHU, Z.; ZHOU, Y.; SETO, K.C.; STOKES, E.C.; DENG, C.; PICKETT, S.T.A.; TAUBENBOCK, H. Understanding an urbanizing planet: strategic directions for remote. **Sensing remote sensing of environment**, v.228, p. 164-182, 2019.



**INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ANÁLISE E PLANEJAMENTO ESPACIAL**

**MANUAL TÉCNICO DE MANEJO INTEGRADO NO BAIXO CURSO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU NO ESTADO DO
MARANHÃO**

PATRICIA BARBOSA PEREIRA

Teresina/PI, 09 de fevereiro de 2023

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO	4
2 BACIAS HIDROGRÁFICAS: DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA	5
3 LEGISLAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	7
4 FRAGILIDADE AMBIENTAL DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU	11
4.1 Breve caracterização da área	11
4.2 Fragilidade ambiental	14
5 SUGESTÕES DE MANEJO	27
REFERÊNCIAS	33
GLOSSÁRIO	38

APRESENTAÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (BHRI) situada no estado do Maranhão é dividida em três áreas diferentes e com características próprias, são elas: o alto, o médio e o baixo curso. A região escolhida para esse manual técnico foi o baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (BHRI), localizando-se a partir do 3º distrito do município de Caxias / MA percorrendo até a foz da bacia, na Baía do Arraial.

A totalidade dos municípios que compõem a área que abrange o baixo curso do rio Itapecuru, contém o segundo maior número de habitantes se comparado com as demais áreas da bacia, contabilizando aproximadamente 1,2 milhões de habitantes, conforme dados estimados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizado no ano de 2016.

Nesse viés, com o aumento populacional contribuiu para diferentes formas de modificações na cobertura da terra e desencadeamento de problemas socioambientais no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (BHRI), apresentando como destinação principal à construção de moradias, as atividades econômicas, sendo uma delas a ampliação de áreas destinadas a agricultura / pecuária.

Assim, esse manual técnico é uma iniciativa do Programa de Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial – Geografia (MAPEPROF) vinculado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) com auxílio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), visando subsidiar a gestão integrada do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, por meio da identificação e sugestão de **manejo**¹ para áreas com alterações ocasionadas tanto pela ação natural do ambiente, quanto aquelas oriundas das atividades do homem.

O desenvolvimento de materiais baseados na constante relação sociedade / natureza surgem com grande valia, principalmente aos tempos atuais, cuja a degradação dos ambientes frente as práticas econômicas exacerbadas, prejudicam os recursos naturais.

Dessa maneira, esse material pretende auxiliar o poder público, a população, os pesquisadores e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, de modo que o uso dos recursos hídricos tem destinação à própria manutenção da vida dos seres vivos e variadas atividades econômicas, a utilização de forma inadequada e o alto desperdício, tem gerado desequilíbrio no ambiente, fazendo-se necessário a elaboração de medidas de conservação, proteção e recuperação.

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil foi intensificado, principalmente, a partir de 1950, com o desenvolvimento da construção civil e fábricas. Desse modo, a sociedade em busca de melhores condições de vida, acelerou o processo de migração entre campo / cidade, contribuindo para o crescimento populacional e a intensificação dos problemas ambientais.

A sociedade foi contribuindo para a formação de diferentes usos na cobertura da terra, sendo elas ligadas especialmente à construção civil, as atividades econômicas relacionadas com o setor primário, transformando grande parte da cobertura vegetal em áreas agricultáveis, com destaque para a região da fronteira agrícola mecanizada que ocorre no estado do Maranhão (abrangendo a bacia do rio Itapecuru), Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA).

A composição do baixo curso do rio Itapecuru abrange várias sedes municipais, assim, é útil evidenciar que no seu entorno (meio rural) também há transformações que direta ou indiretamente afetam os cursos da água, como a adoção de queimadas na vegetação com destinação aos cultivos agrícolas.

Conforme essas atividades exercidas pela ação humana, foi possível acelerar os problemas ambientais que atingem o canal principal da bacia e seus **afluentes**². Por exemplo, as atividades derivadas do crescente desmatamento oriundo em sua grande maioria para a agricultura / pecuária, contribuem para o deslizamento das encostas propiciando o acúmulo de areia no leito da bacia, causando o desequilíbrio no **ecossistema**³.

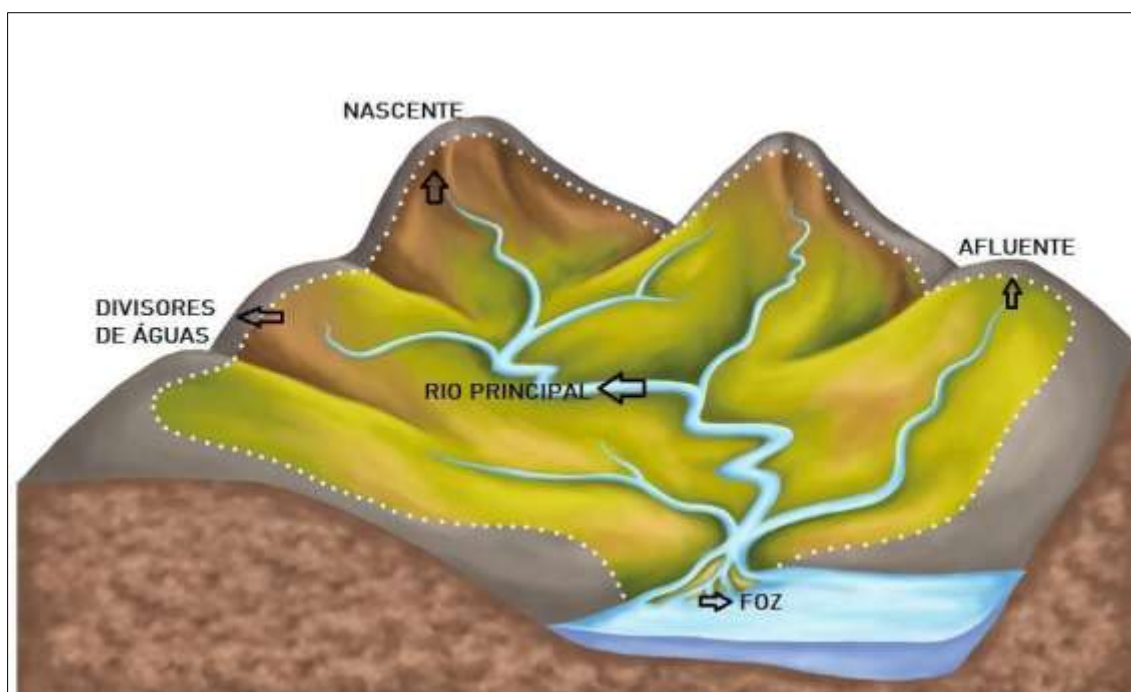
Desse modo, considerando que o uso dos recursos hídricos tem destinação à própria manutenção da vida dos seres vivos e variadas atividades econômicas, a utilização de forma inadequada e o alto desperdício, tem gerado desequilíbrio no ambiente. O uso do mesmo, implica em medidas de conservação, proteção e recuperação.

Assim, esse manual técnico busca subsidiar a gestão integrada do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, por meio da identificação de fragilidade ambiental e elaboração de sugestão de manejo para áreas com alterações ocasionadas tanto pela ação natural do ambiente, quanto aquelas oriundas das atividades do homem.

2 BACIAS HIDROGRÁFICAS: DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA

Desde o início da civilização humana, sabe-se que os rios foram de grande importância para o processo de ocupação das áreas mais distantes, além de servir como o meio de transporte para o processo de deslocamento dos povos, atrelado a essas características, o rio Itapecuru contribuiu como via de acesso para a formação dos primeiros núcleos populacionais do Maranhão. Christofolletti (1980) define as bacias hidrográficas como áreas compostas por diversos afluentes, e que em conjunto contribuem para o nutrimento de um rio principal. A figura 1 ilustra os principais elementos que contém em uma bacia hidrográfica.

Figura 1: Elementos de uma bacia hidrográfica



Fonte: Mendonça (s.d.)

A definição de bacias hidrográficas disposta pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) na qual contribui para orientar a gestão de águas no Brasil, em sua Lei nº 9.433/1997, é caracterizada como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Dessa forma, reforça a ideia de que essas áreas são de grande importância para os seres vivos, dessa maneira, há a necessidade da tomada de decisão em busca de medidas que consistem no uso sustentável.

A própria PNRH aponta que as bacias hidrográficas enquanto unidade territorial, necessitam de articulação entre as esferas nacionais, regionais, estaduais e dos seus

usuários, corroborando com a necessidade de possíveis efetivações relacionadas ao planejamento ambiental. A partir das informações provenientes do planejamento ambiental e com encaminhamentos específicos, os gestores ambientais adquirem maior capacidade de direcionamento para articular as ações envolvendo essas regiões.

Embora as bacias hidrográficas sejam caracterizadas por áreas naturais drenadas pelos cursos da água e por ser *habitat*⁴ de seres vivos, também recebem influência dos seres humanos por meio de suas ações. Nesse sentido, é relevante o desenvolvimento de estratégias articuladas com os diversos setores da sociedade em busca de intervenções que reduzam as alterações ocorridas no decorrer dos anos.

Com base nessas informações, atualmente existem múltiplas formas de avaliação e identificação de problemas ambientais causados nas áreas e entornos das bacias hidrográficas, seja aqueles envolvendo uma análise que necessita de relatórios e visitas na área tomando como base todas as características da bacia, bem como os que utilizam as ferramentas de *softwares* para realizar os mapeamentos e realizar a tomada de decisão.

3 LEGISLAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A alta demanda por recursos hídricos na sociedade atual, tem requerido o desenvolvimento de ações que possam contribuir para a regulamentação de medidas sobre o uso consciente desse recurso, devendo-se a iniciativa principalmente partindo do poder público, dos indivíduos que realizam pesquisas científicas e de seus usuários em geral. Atualmente no Brasil há diferentes leis, decretos, resoluções e normas que regulamentam as águas superficiais, desse modo, no quadro 1 é apresentado alguns dos instrumentos que delineiam esse tema.

Quadro 1 – Alguns dos instrumentos legais que delineiam os recursos hídricos

Instrumentos Legais	Informações	Sugestões de aplicação para a Bacia hidrográfica do rio Itapecuru
Lei nº 6.938/1981 - Política Nacional do Meio Ambiente	Artigo 2º, inciso I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo; X - educação ambiental a todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente	Desenvolvimento de palestras e Oferta de minicursos sobre as formas de manutenção e recuperação da poluição hídrica
Constituição da República Federativa do Brasil de 1988	Artigo 225º - todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo ao poder público e à coletividade, o dever de defendê-lo e preservá-lo para as atuais e futuras gerações	Desenvolvimento de projetos que visem a preservação dos recursos hídricos
Lei federal nº 9.433/97 - Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)	Artigo 1º, inciso VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades	Desenvolvimento de palestras que evidenciem a importância da participação pública na gestão

Lei nº 9.605/1998 - Lei de Crimes Ambientais	Art. 33 - provocar, pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais, o perecimento de espécimes da fauna aquática existentes em rios, lagos, açudes, lagoas, baías ou águas jurisdicionais brasileiras: Pena - detenção, de um a três anos, ou multa, ou ambas cumulativamente	Desenvolvimento de minicursos sobre os efeitos negativos da emissão de poluentes
Resolução nº 369/2006 - Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama)	Artigo 2º - O órgão ambiental somente poderá autorizar a intervenção ou supressão de vegetação em APP, devidamente caracterizada e motivada mediante procedimento administrativo autônomo e prévio, e atendidos os requisitos previstos nesta resolução e noutras normas federais, estaduais e municipais aplicáveis, bem como no Plano Diretor, Zoneamento Ecológico-Econômico e Plano de Manejo das Unidades de Conservação, se existentes	Desenvolvimento de palestras sobre as áreas de preservação permanente e sua ligação com os recursos hídricos

Fonte: Organizado por Pereira (2022)

Após a homologação de um dos principais instrumentos que orienta a gestão das águas, o PNRH, surgiu a necessidade da implementação de representantes das esferas civis para assegurar o monitoramento dos recursos hídricos, nesse contexto foi criado a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que tem o papel de regular os usos. No quadro 2, é apresentado uma síntese dos serviços ofertados para os gestores e o público em geral.

Quadro 2 – Alguns dos serviços ofertados pela ANA

Serviços	Descrição	Endereço eletrônico
Capacitação para a Gestão das Águas	Cursos de capacitação na temática dos recursos hídricos na modalidade de Ensino à distância (EAD) com certificação gratuita.	https://capacitacao.ead.unesp.br/index.php/inscricoes-abertas

Portal HidroWeb	Contém dados sobre os níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos, a partir de estações pluviométricas e fluviométricas instaladas em diferentes pontos das bacias hidrográficas	http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao
Programa produtos de água	Destinado para incentivar o produtor rural a criar ações que ajudem na gestão das águas, contando com o apoio técnico e financeiro para implementação de práticas conservacionistas.	https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua/como-participar-1
Publicações	Apresenta diversos conteúdos que podem nortear sobre fiscalização, avaliação e demais características dos recursos hídricos	https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/publicacoes

Fonte: ANA (2022)

Relacionadas as leis que regulamentam os recursos hídricos no âmbito do estado do Maranhão, têm-se a Lei nº 8.149/04 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. Estabelece no Art. 4º e inciso II “a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do Estado”.

Portanto, existe a necessidade de entidades competentes para gerenciar esse recurso natural no âmbito estadual, inserindo-se assim a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA), que visa a avaliação, organização e fiscalização para promover a preservação dos recursos naturais e o meio ambiente. Atualmente desenvolve serviços importantes para a gestão dos recursos hídricos e a sociedade, merecendo destaque: boletins de alerta de inundação em parceria com os dados da ANA, mapas interativos das unidades de conservação, boletins de queimadas e suporte aos comitês de bacias hidrográficas.

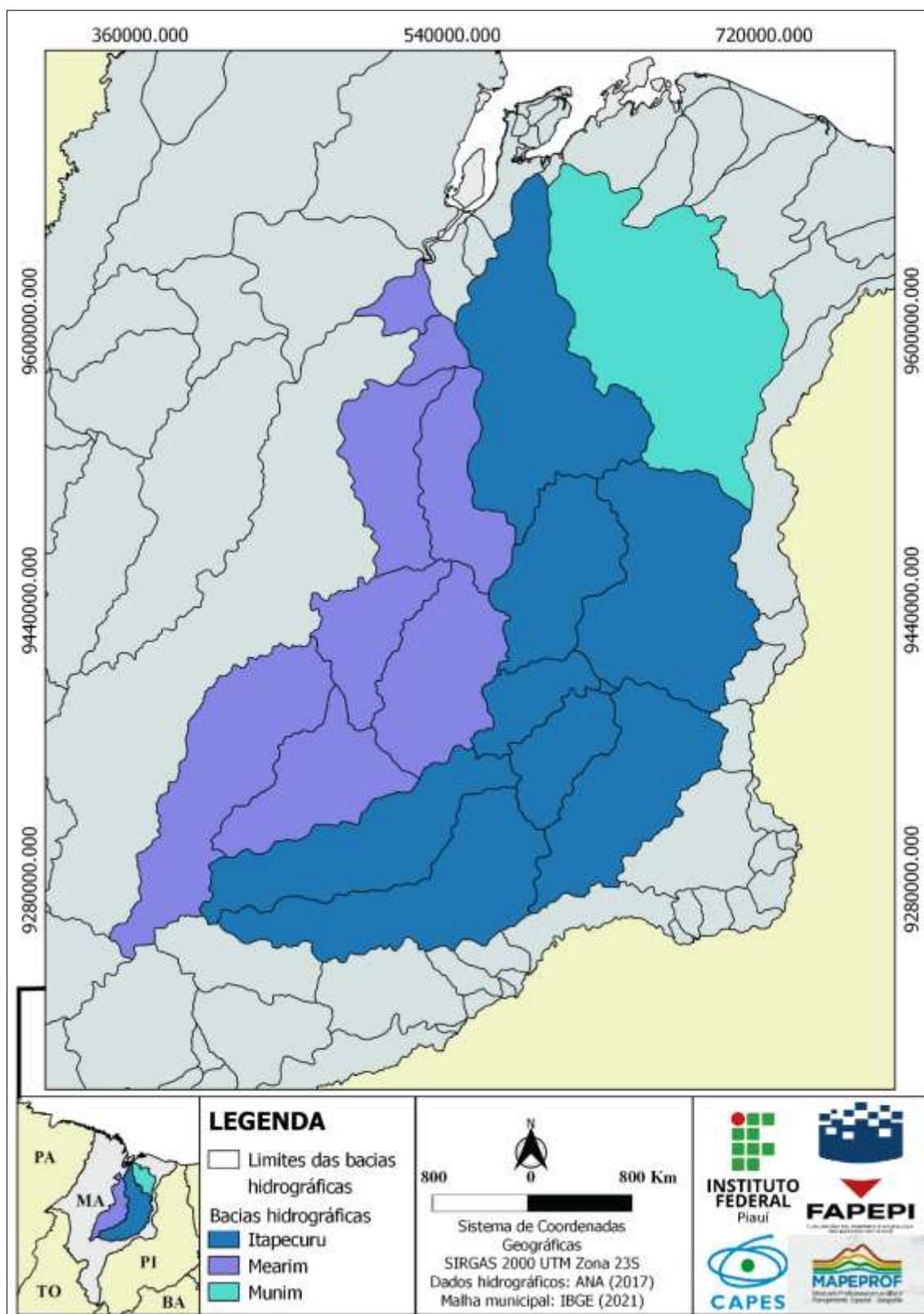
Os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) assegurados pela Lei federal nº 9.433/97, artigo 37, evidencia que tem como objetivo contribuir para o gerenciamento dos recursos hídricos com a participação direta da sociedade civil, e a elaboração de propostas relativas as bacias hidrográficas (FOLETO, 2018; TRINDADE; SHEIBE, 2019).

No Estado do Maranhão, os comitês de bacias hidrográficas (figura 2) foram criados a partir do ano de 2013, os primeiros foram os rios Munim e Mearim, respectivamente regidos pelas Leis Estaduais nº 9.956 e 9.957. De acordo com Santos e

Leal (2013) para essa consolidação houve a mobilização de diferentes segmentos da sociedade, a exemplo da Rede de Gestão Ambiental do Maranhão – REGEAMA.

A criação do comitê de bacia hidrográfica do rio Itapecuru / MA ocorreu por meio do Decreto nº 36.580, em 10 de março de 2021. A área da bacia abrange um grande contingente populacional, desse modo, havia a necessidade de articulação entre o poder público, a comunidade e os usuários. Além dessas, a atuação de um comitê apresenta grande relevância no intuito de propor programas e projetos para utilização dos recursos hídricos de maneira sustentável.

Figura 2: Comitês de bacia hidrográfica do estado do Maranhão



Elaboração: Pereira (2022)

4 FRAGILIDADE AMBIENTAL DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU

4.1 Breve caracterização da área

O baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (BHRI) localiza-se no estado do Maranhão (figura 3), e nasce na junção das serras da Crueiras, Itapecuru e Alpercatas e desemboca na baía do Arraial. A BHRI limita-se ao norte com a baía de São Marcos, a sul e leste pela bacia hidrográfica do rio Parnaíba e a oeste com a bacia hidrográfica do rio Mearim. Apresenta três regiões *fisiográficas*⁵, o alto, médio e baixo curso. A fisiografia do baixo curso, inicia-se a partir do 3º distrito do município de Caxias / MA e percorre até a sua *foz*⁶ (BARRADAS, 1996; IBANEZ, 1997; ALCÂNTARA, 2004; CODEVASF, 2019). No quadro 3, é apresentado as características ambientais presentes no baixo curso da BHRI.

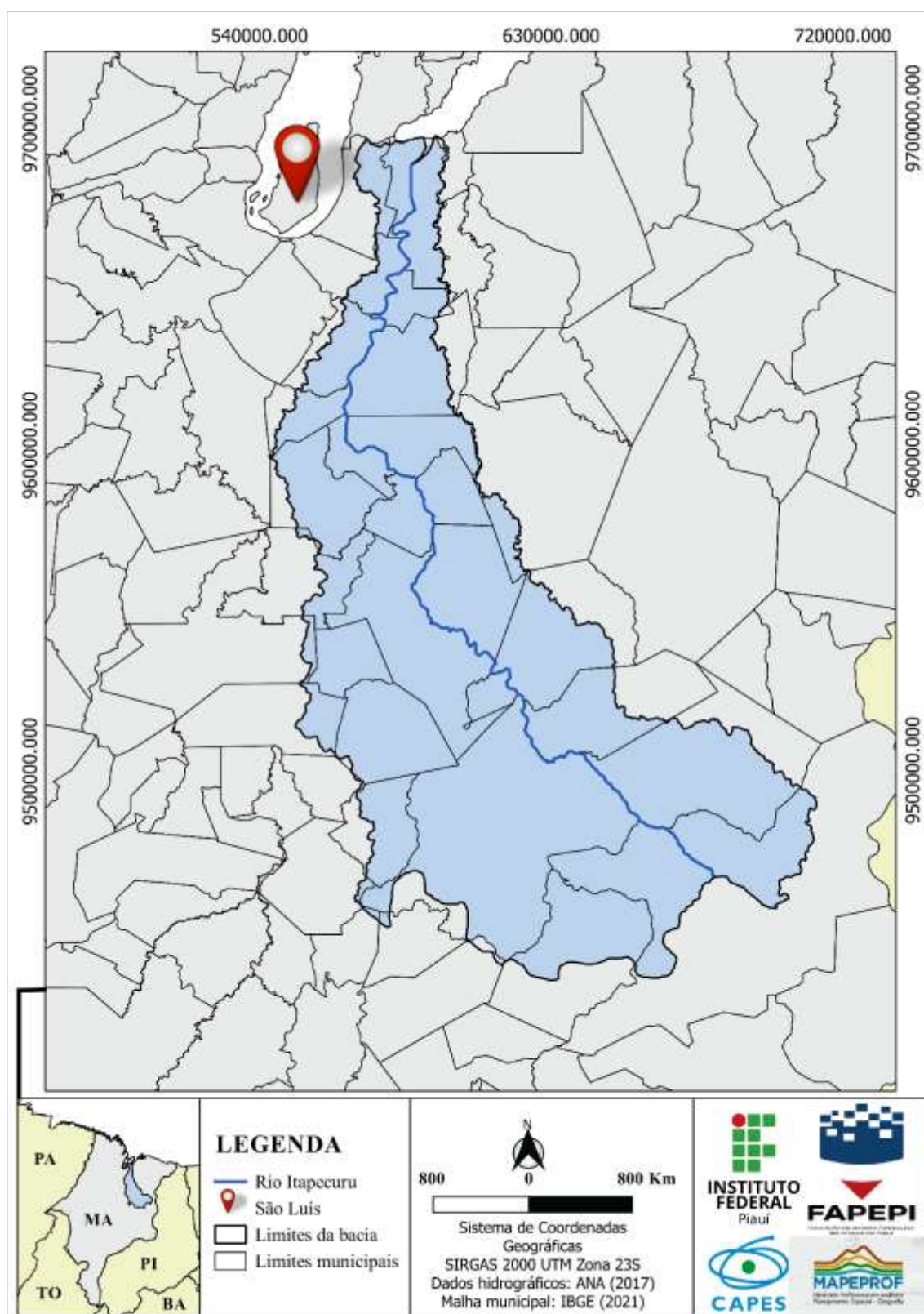
Quadro 3: Características ambientais do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Geologia	Geomorfologia	Solos	Uso e cobertura da terra	Clima
<i>Cobertura Dedrito-Laterítica Neo-Pleistocênica</i> ⁷	<i>Planície flúvio-marinha</i> ¹⁹	<i>Latossolo amarelo</i> ²⁶	<i>Formação campestre</i> ³⁴	<i>Clima subúmido</i> ³⁶
<i>Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica</i> ⁸	<i>Superfície sublitorânea</i> ²⁰	<i>Planossolo</i> ²⁷	Formação florestal	
<i>Depósitos Aluvionares Holocênicos</i> ⁹	<i>Planalto dissecado</i> ²¹	<i>Argissolo vermelho-amarelo eutrófico</i> ²⁸	<i>Formação savânica</i> ³⁵	
<i>Depósitos Coluviais Holocênicos</i> ¹⁰	<i>Superfície rampeada</i> ²²	<i>Argissolo acinzentado</i> ²⁹	Lavouras temporárias	
<i>Depósitos de Pântanos e Mangues Holocênicos</i> ¹¹	<i>Planos rebaixados</i> ²³	<i>Gleissolo</i> ³⁰	Mangue	
<i>Depósitos Fluviomarinhos Holocênicos</i> ¹²	<i>Patamar de Caxias</i> ²⁴	<i>Neossolo quartzarênico</i> ³¹	Plantações de cana	
<i>Granito Areal</i> ¹³	<i>Tabuleiros do médio Itapecuru</i> ²⁵	<i>Neossolo flúvico</i> ³²	Pastagem	
<i>Formação Codó</i> ¹⁴		<i>Neossolo vermelho-amarelo</i> ³³	Plantações de soja	

<i>Formação Corda¹⁵</i>			Outras áreas não vegetadas	
<i>Formação Itapecuru¹⁶</i>				
<i>Formação Motuca¹⁷</i>				
<i>Suíte Rosário¹⁸</i>				

Fonte: EMBRAPA (1986; 2013), ALCANTÁRA (2004), CPRM (2013), NUGEO (2016) e
MAPBIOMAS (2019)

Figura 3: Localização do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Elaboração: Pereira (2022)

4.2 Fragilidade ambiental

A intervenção da sociedade sobre a natureza resulta em um processo constante de redescoberta, ao passo que o homem utiliza os recursos naturais para uma diversidade de funções (SANTOS, 1992; RODRIGUES, 1998; LIRA; FRANCISCO; FEIDEN, 2022). Evidencia-se assim, a importância do desenvolvimento de pesquisas que versam sobre os aspectos ambientais e antrópico, na figura 4 é ilustrada a fragilidade geológica.

O esboço geológico da área de estudo, destaca-se que a maioria das classes serem oriundas do **quaternário**³⁷, o período geológico mais recente, há prevalência de estruturas rochosas com pouca resistência aos agentes modificadores internos e externos, por exemplo, a ação natural das chuvas, o vento e os seres humanos.

A própria estrutura natural do ambiente, contribui para o baixo grau de resistência das rochas, sendo caracterizada por **índices pluviométricos**³⁸ significativos e com relevo plano e suave ondulado. No quadro 4 é apresentado o quantitativo de distribuição da fragilidade geológica.

Quadro 4: Quantitativo da fragilidade geológica do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

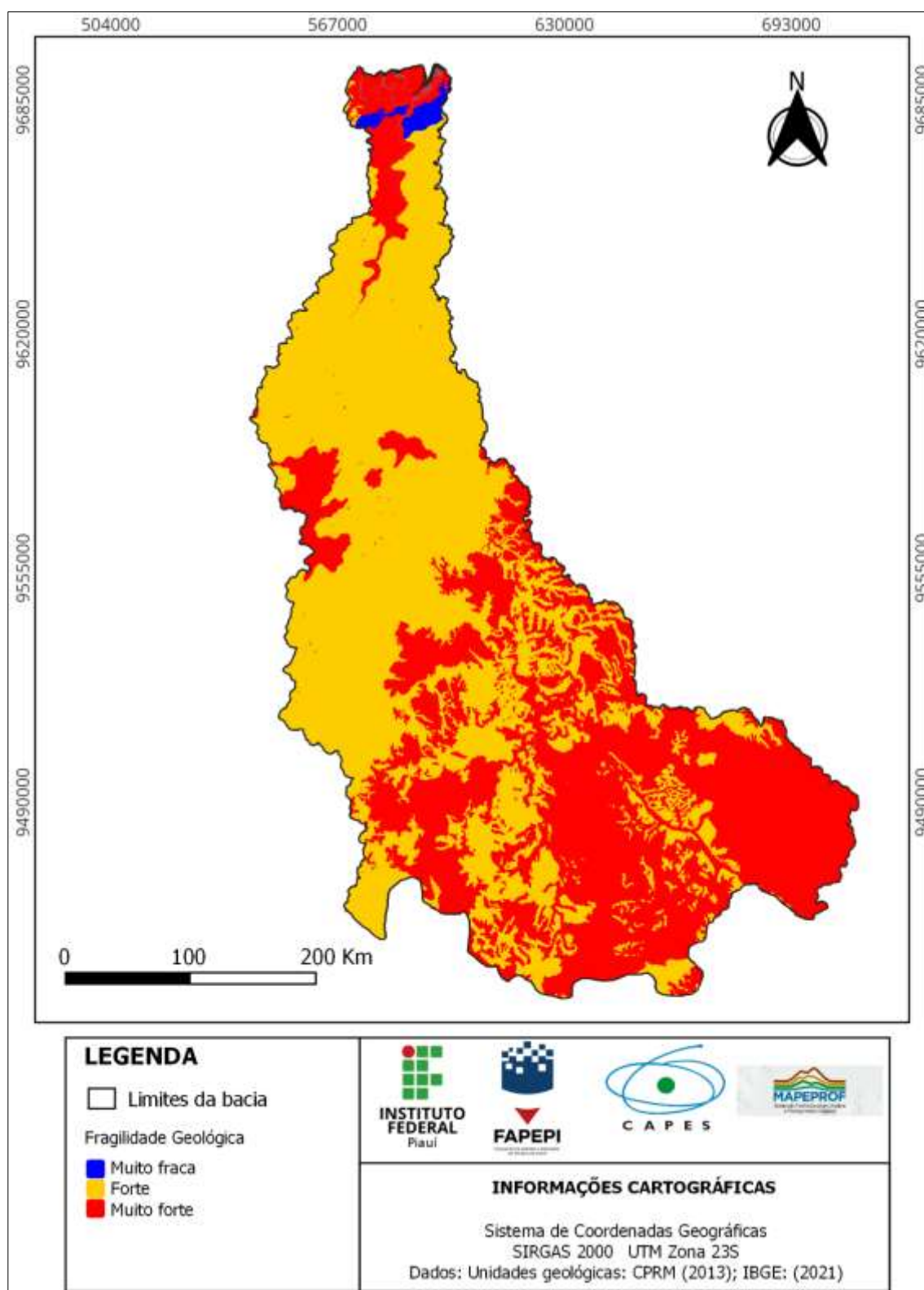
Classes	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Muito fraca	115,89	1%
Forte	9.729,38	54%
Muito forte	8.153,55	45%

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Conforme representação do quadro 4, verifica-se que a fragilidade forte prevalece, seguido de muito forte e muito fraco. A fragilidade forte situa-se na parte noroeste, nordeste, sudoeste e pequenas áreas no centro da bacia, abrangendo os municípios de Santa Rita, Itapecuru Mirim, Cantanhede, Alto Alegre do Maranhão, Peritoró, Codó, Timbiras, Capinzal do Norte e São João do Sóter.

Na fragilidade muito forte concentra-se na região sudeste, sul, norte e pequenas porções no leste e noroeste da bacia, situando-se nos municípios de Rosário, Santa Rita, São Mateus do Maranhão, Timbiras, Coroatá, Codó, Aldeias Altas e São João do Sóter. Por fim, a fragilidade muito fraca localiza-se na porção norte da bacia e abrange o município de Rosário, próximo a foz da bacia.

Figura 4: Fragilidade geológica do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Elaboração: Pereira (2022)

Analisando a figura 4, as rochas com menor grau de resistência as alterações naturais e aquelas realizadas pelo homem, concentram-se na parte centro-sul da bacia. Os estudos sobre as características rochosas de uma determinada região, permite a identificação da degradação dos sedimentos, os impactos negativos sofridos e, principalmente, se a localidade possui altos níveis de permeabilidade com destinação para a extração de águas subterrâneas, na BHRI, o município de Rosário apresenta rochas cristalinas, das quais dificultam a penetração nos lençóis freáticos.

A composição física dos solos do baixo curso da BHRI apresenta solos jovens e pouco desenvolvidos, com grande composição de areia e argila. Na figura 5 é demonstrada a espacialização da fragilidade *pedológica*³⁹ e o quadro 5 o quantitativo da fragilidade pedológica.

Quadro 5: Quantitativo da fragilidade pedológica do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Classes	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Muito fraca	1.867,88	10%
Média	294,04	1%
Forte	1.613,37	9%
Muito forte	14.223,53	80%

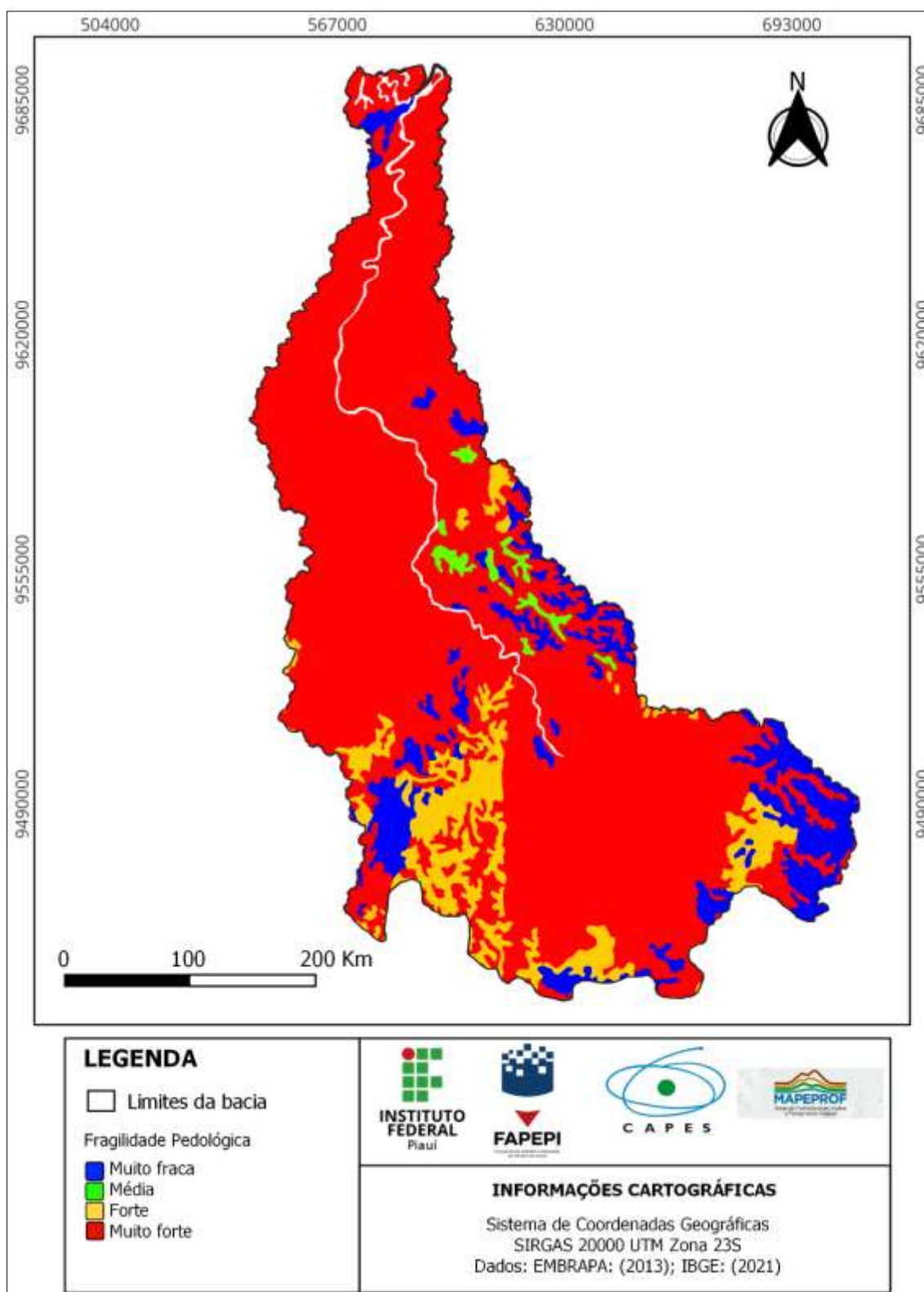
Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Observando o quadro 5, constata-se a predominância da classe muito forte, devido a própria composição dos solos, seguido da fragilidade muito fraca, forte e média. Reitera-se que os solos existentes na bacia são propícios para cultivos de pastagens e plantações da agricultura, a exemplo da soja e outras lavouras temporárias (EMBRAPA, 2013; ALCÂNTARA, 2004).

A fragilidade muito forte localiza-se na parte sul, oeste, noroeste, norte e nordeste, abrangendo os municípios de Codó, Aldeias Altas, Peritoró, Coroatá, Alto Alegre do Maranhão, São Mateus do Maranhão, Matões do Norte, Cantanhede, Miranda do Norte, Itapecuru Mirim e Santa Rita. A fragilidade muito fraca situa-se na porção sudeste, sul, sudoeste, oeste e uma pequena parcela na região norte da bacia, contemplando os municípios de Aldeias Altas, Capinzal do Norte, Timbiras, Cantanhede e Rosário.

Na fragilidade forte encontra-se no lado sudeste, sudoeste, oeste e uma quantidade menor no nordeste da bacia, compreendendo os municípios de São João do Sóter, Codó, Peritoró e Pirapemas. A fragilidade média abrange a menor área da bacia, concentrando-se na parte oeste, abrangendo os municípios de Coroatá e Timbiras.

Figura 5: Fragilidade pedológica do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Elaborado por: Pereira (2022)

Considerando a figura 5, os solos variam de desenvolvidos a pouco desenvolvidos, prevalecendo os solos com menos resistência aos agentes modificadores. O reconhecimento da variação pedológica de uma área apresenta inúmeras funcionalidades para a sociedade, como por exemplo, destinado a construção civil e as plantações agrícolas.

Na figura 6 é apresentado a espacialização da fragilidade relativa à declividade, no quadro 6, o quantitativo das classes de declividade. A predominância da classe de fragilidade “muito fraca”, sendo justificado em decorrência do baixo curso apresentar as menores *cotas altimétricas*⁴⁰ de todo o curso da BHRI, em decorrência de apresentar relevo de *planície*⁴¹, com base em Crepani *et al.* (2001) nessa região a velocidade dos cursos das águas e a capacidade de transporte são reduzidos se comparado com as demais áreas (CREPANI *et al.*, 2001).

Quadro 6: Quantitativo da fragilidade relativa a declividade do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Classes	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Muito fraca	13.154,78	73%
Fraca	2.979,61	17%
Média	1.392,72	8%
Forte	437,36	2%

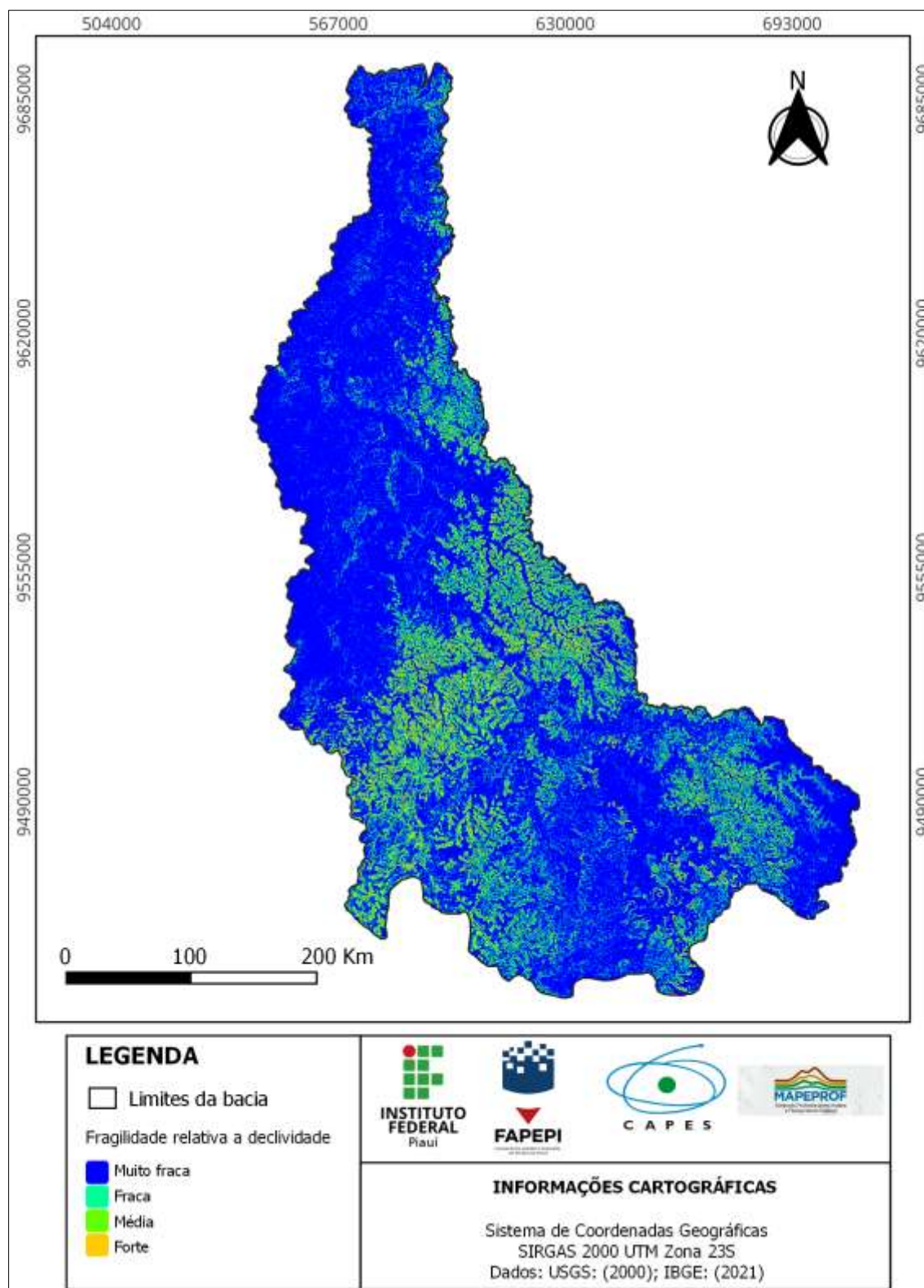
Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A fragilidade muito fraca localiza-se por toda a área da bacia, concentrando-se, principalmente, na região centro-oeste, abrangendo os municípios de Pirapemas, Cantanhede, Miranda do Norte, Itapecuru Mirim, Santa Rita e Rosário. Na fragilidade fraca abrange parte do centro-sul, contemplando os municípios de São João do Sóter, Codó e Peritoró.

Em relação à fragilidade média, situa-se na porção nordeste, sudeste, sul, sudoeste da bacia, incluindo os municípios de Aldeias Altas, São João do Sóter, Codó, Peritoró, Timbras, Pirapemas e Cantanhede. Para finalizar, a fragilidade forte localiza-se no centro da bacia, contendo os municípios de Peritoró, Coroatá e Timbiras.

Avaliando os resultados obtidos com a fragilidade relativa a *declividade*⁴², pode-se identificar áreas com as menores cotas altimétricas e que possuem tendência a sofrerem com fortes enxurradas e aquelas propícias a inundação. Além dessas considerações, a partir de dados da declividade aliados a outros dados de *morfometria*⁴³ da bacia, pode-se verificar diversas variáveis que contribuem para o funcionamento da bacia, por exemplo, o padrão e direcionamento do escoamento dos cursos das águas.

Figura 6: Fragilidade relativa a declividade do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Elaborado por: Pereira (2022)

Depois dos resultados de fragilidade geológica, pedológica e declividade, fez-se a integração de todas as informações e resultou na fragilidade potencial, que significa (verificação da degradação natural de uma área).

A fragilidade potencial é o resultado integrado dos mapas de geologia, solos e declividade. De acordo com o quadro 7 sobre o quantitativo da fragilidade potencial e a representação da fragilidade potencial através da figura 7, há uma variação dos graus de fragilidade, mas apresentam predominância nas classes média, com 76% de ocupação da bacia, seguida da forte, com 14% e fraca, com quantitativo de 10%.

Quadro 7: Quantitativo da fragilidade potencial do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

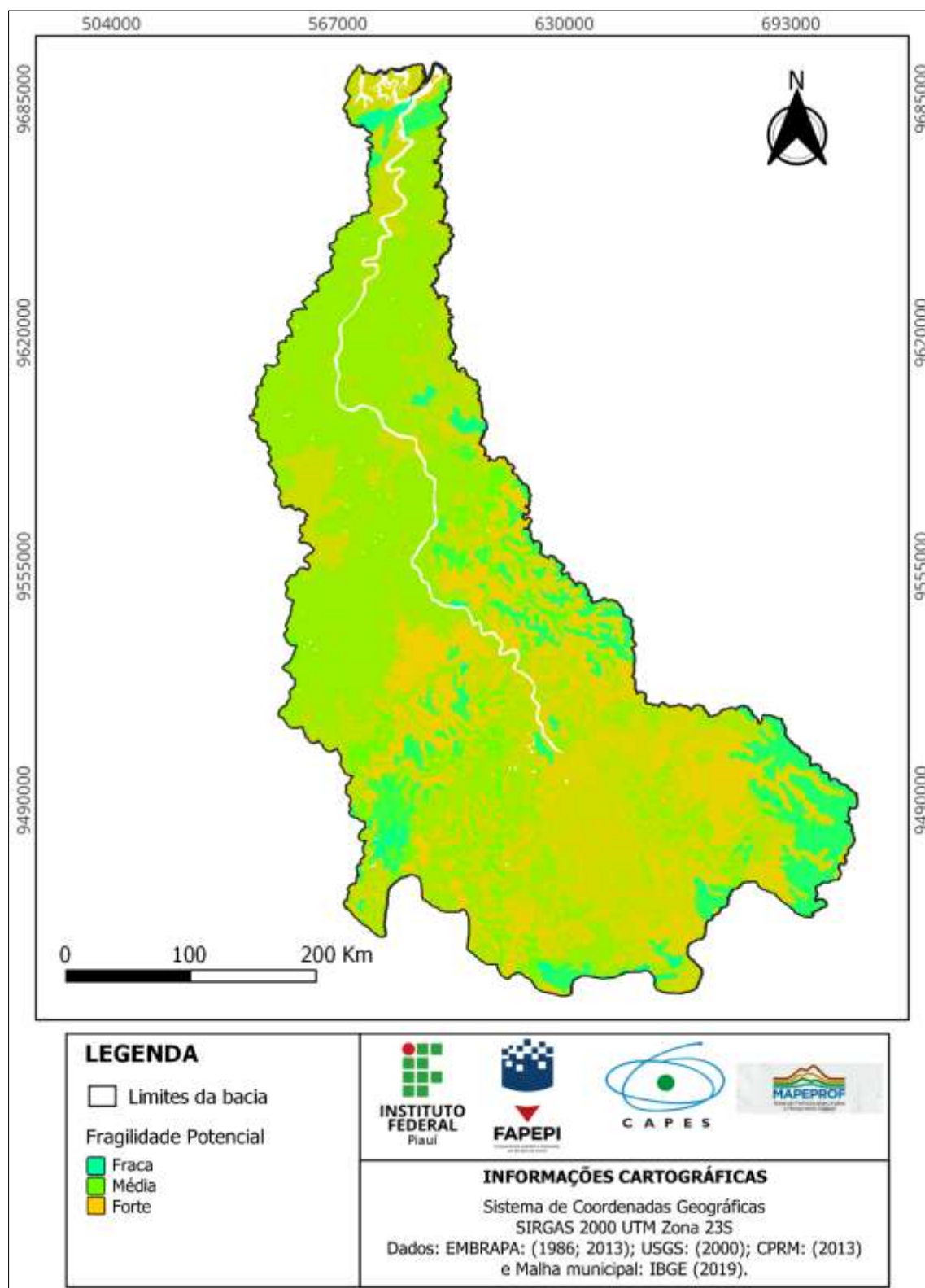
Classes	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Fraca	1.747,52	10%
Média	13.389,13	76%
Forte	2.393,89	14%

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Os resultados estão associados com a geologia da área, sendo grande parte composta por estruturas rochosas com resistência baixa aos processos naturais e atividades antrópicas. As rochas compostas de **arenitos**⁴⁴, ocupam grande parte da área da BHRI, principalmente nas proximidades do vale do rio, assim contribuindo para a fragilidade média. Seguido dos depósitos **aluvionares**⁴⁵ e **coluviais**⁴⁶, contribuindo para os níveis mais altos de fragilidade.

Verifica-se também os tipos de solos da região, caracterizados pela composição **argilosa**⁴⁷ e arenosa. A maioria compreende areia fina e grossa, contribuindo para a fragilidade média. Os graus de declividade da BHRI também contribuíram para os resultados, relacionados em 73% na classe muito fraca, correspondendo aos relevos do tipo plano e suave ondulado.

Figura 7: Fragilidade potencial do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Elaborado por: Pereira (2022)

A fragilidade média compreende grande parte de todo o baixo curso, mas com predominância na porção noroeste e nordeste, abrangendo os municípios de Peritoró, Miranda do Norte, Itapecuru Mirim e Santa Rita. A fragilidade forte localiza-se na região centro-sul da bacia, contendo os municípios de Codó, Aldeias Altas e Timbiras. Por fim, a fragilidade fraca encontra-se na parte norte, sudeste e sudoeste da bacia, abrangendo os municípios de Aldeias Altas, Capinzal do Norte e Rosário.

Os recursos naturais existentes na BHRI, são bastante utilizados para fins econômicos, Feitosa e Almeida (2002) enfatizam que a ação do homem através da utilização dos recursos naturais com destinação principalmente para as atividades econômicas é uma das grandes problemáticas envolvendo o rio Itapecuru, nesse sentido, conforme Correia Filho (2011) têm-se como exemplo os municípios de Aldeias Altas, Codó e Cantanhede.

Para relacionar a análise entre características naturais e distintos usos da cobertura da terra pelo homem, na figura 8: é exibido a fragilidade de uso e cobertura da terra; e quadro 8: o quantitativo dessas classes.

Quadro 8: Quantitativo da fragilidade de uso e cobertura da terra do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru em 2019

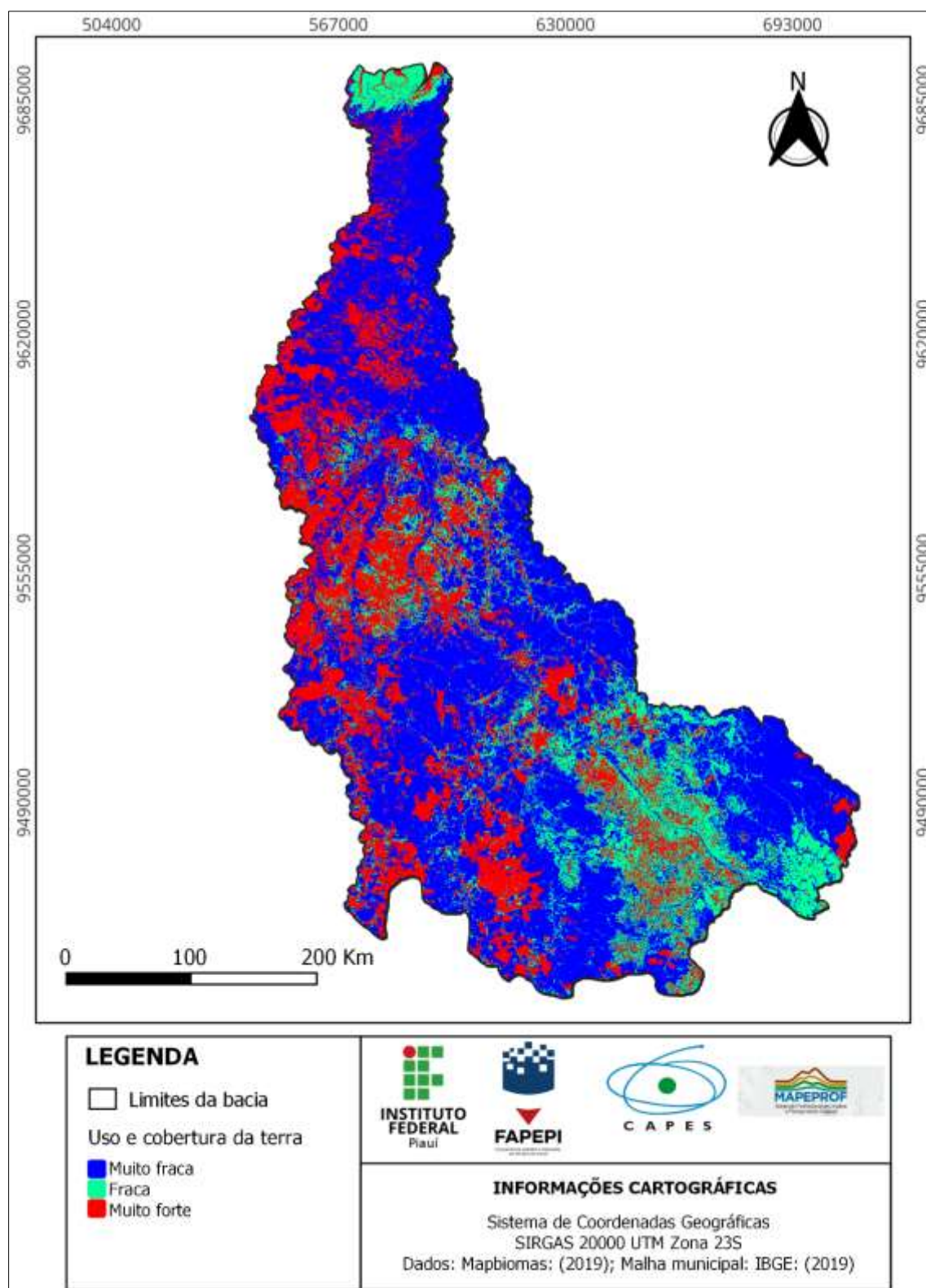
Classes	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Muito fraca	10.071,27	56%
Fraca	3.213,60	18%
Muito forte	4.713,95	26%

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

De acordo com o levantamento cartográfico, também verificado por Codevasf (2019) são predominantes as coberturas vegetais oriundas da **zona de transição**⁴⁸, prevalecendo as formações vegetais florestais, savânica, além das vegetações modificadas para criação de pastagens, agricultura e **manguezais**⁴⁹ resultantes da acumulação flúvio-marinhas.

A fragilidade muito fraca concentra-se por todo o baixo curso, abrangendo todos os municípios, exceto o município de Rosário, devido a grande concentração de mangues. A fragilidade muito forte localiza-se no sudoeste, oeste e noroeste da bacia, contendo os municípios de Capinzal do Norte, Peritoró, Coroatá, Itapecuru Mirim e Santa Rita. A fragilidade fraca tem predominância na porção norte e sul, contemplando os municípios de Codó, Aldeias Altas e Rosário.

Figura 8: Fragilidade de uso e cobertura da terra do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru em 2019



Elaborado por: Pereira (2022)

Depois de obter os resultados de uso e cobertura das terras realizadas pela ação antrópica, insere-se análise de fragilidade emergente, que significa a soma dos resultados da fragilidade potencial e de uso e cobertura da terra. Conforme a figura 9, percebe-se a distribuição das distintas classes de fragilidade, concentrando-se principalmente, na classe “fraca”, com 64% de ocupação na bacia, a classe “forte”, com 25%, seguida da “muito fraca”, com 7% e a média, perfazendo 4%, sendo representada esse quantitativo através do quadro 9.

Quadro 9: Quantitativo da fragilidade emergente do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Classes	Área (km²)	Porcentagem (%)
Muito fraca	1.362,92	7%
Fraca	11.465,64	64%
Média	776,13	4%
Forte	4.393,09	25%

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

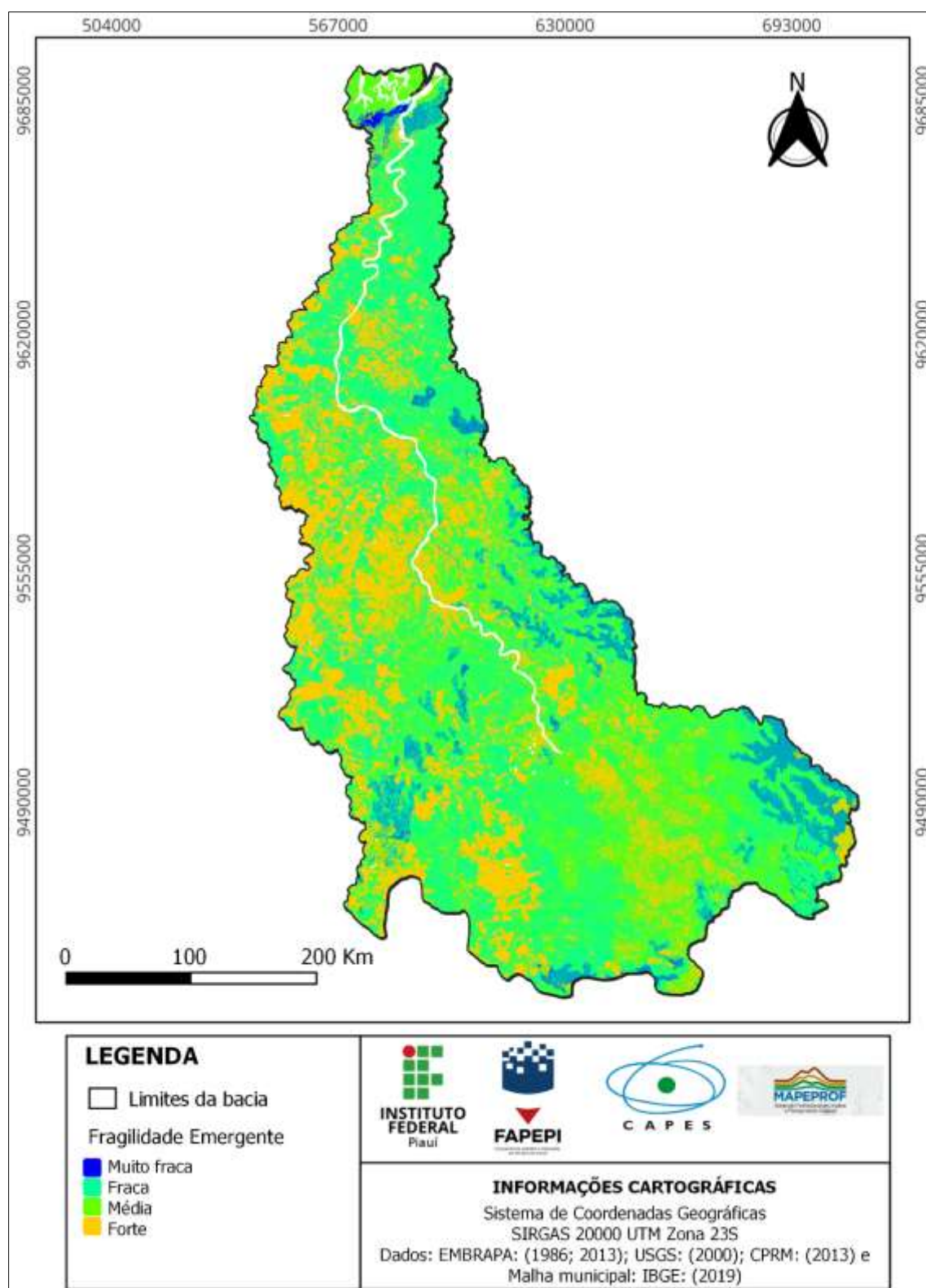
Os resultados de fragilidade emergente na sua grande maioria do tipo “fraca” vinculam-se com o alto grau de proteção da cobertura vegetal do tipo formação florestal e formação savânica com baixo uso antrópico. A análise integrada permitiu verificar que a forma e atuação das características ambientais e as atividades antrópicas, podem impactar e influenciar na modificação do ambiente.

A fragilidade fraca concentra-se por toda a bacia, mas principalmente na porção centro / norte, abrangendo os municípios de Codó, Aldeias Altas, Timbiras, Cantanhede, Itapecuru Mirim, Santa Rita e Rosário. A fragilidade forte abrange a região sul, oeste e noroeste, compreendendo os municípios de Codó, Peritoró, Coroatá, Cantanhede, Miranda do Norte e Itapecuru Mirim.

Em relação à fragilidade muito fraca tem abrangência na parte norte, leste e sudoeste, contendo os municípios de Aldeias Altas, Timbiras, Itapecuru Mirim e Rosário. Por fim, a fragilidade média localiza-se na porção norte / sul, compreendendo os municípios de Aldeias Altas, Peritoró e Rosário.

Apesar de extensas áreas de vegetação nativa na área de estudo, a mesma necessita de manejo adequado. Com a ampliação das áreas destinadas à construção civil, agricultura e pecuária na área da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru (BHRI), que integra a região de expansão da fronteira agrícola, conhecida como Matopiba, que engloba os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. O desenvolvimento destas atividades, favorecem a intensificação dos impactos ambientais, com destaque para o desmatamento e o assoreamento dos cursos das águas, etc.

Figura 9: Fragilidade emergente no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Elaborado por: Pereira (2022)

Conforme os resultados obtidos através desse manual técnico, bem como os de Alcântara (2004), Feitosa (2002), Codevasf (2019), Masullo *et al.* (2019) e Pereira e Moraes (2022), é constatado que a BHRI necessita de esforços para a sua preservação e conservação. Além desse recurso hídrico servir para abastecer cerca de 1,2 milhões de habitantes, é utilizado para diversas atividades econômicas, como por exemplo a irrigação de plantações de soja.

É importante que medidas de planejamento ambiental e territorial sejam implantadas no baixo curso da bacia, priorizando as áreas de maior fragilidade e mais sujeitas aos impactos negativos de atividades humanas. No próximo capítulo serão expostas as sugestões de manejo com base nos resultados obtidos com as análises de fragilidade, levando em consideração as atividades socioeconômicas e a dinâmica ambiental da bacia, implicando nas suas potencialidades e limitações.

5 SUGESTÕES DE MANEJO

Neste capítulo serão discutidas as sugestões de manejo realizadas com base nas informações da análise de fragilidade ambiental, as informações sobre as atividades socioeconômicas desenvolvidas na região, e a integração das características naturais e antrópicas. A partir dessas verificações de forma integrada, foi possível identificar as áreas que mais necessitam de medidas de gestão. Conforme o exposto, no quadro 10 é apresentado os municípios que apresentam as estruturas ambientais mais frágeis e sujeitas aos diversos *impactos negativos*⁵⁰.

Quadro 10: Resistência das estruturas ambientais do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Resistência as modificações naturais e antrópicas	Estrutura ambiental	Municípios
Muito fraca	Rochas	Rosário, Santa Rita, São Matheus do Maranhão, Timbiras, Coroatá, Codó, Aldeias Altas e São João do Sóter
Fraca	Rochas	Santa Rita, Itapecuru Mirim, Cantanhede, Alto Alegre do Maranhão, Peritoró, Codó, Timbiras, Capinzal do Norte e São João do Sóter.
Muito fraca	Solos	Codó, Aldeias Altas, Peritoró, Coroatá, Alto Alegre do Maranhão, São Mateus do Maranhão, Matões do Norte, Cantanhede, Miranda do Norte, Itapecuru Mirim e Santa Rita
Fraca	Solos	São João do Sóter, Codó, Peritoró e Pirapemas

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O quadro 10 menciona as estruturas com tendência a sofrerem de maneira mais intensa as modificações naturais. Essas rochas possuem pouca resistência no seu material, sendo composta em grande parte por areia, em decorrência da sua decomposição, os solos também são dotados desse arcabouço.

Sobre as afirmativas do parágrafo anterior, verifica-se que a espacialidade da maioria dos municípios que contém as estruturas rochosas com pouca resistência, são os mesmos para os solos, exceto nos municípios de Rosário, Timbiras, Capinzal do Norte, Matões do Norte, Miranda do Norte e Pirapemas que contém rochas ou solos resistentes.

Considerando a análise envolvendo os usos da terra pela sociedade, entende-se que a região do baixo curso da BHRI compreende grande densidade populacional, relacionado a perspectiva histórica, social, ambiental e econômica. Masullo *et al.* (2019) e dados do IBGE (2010) a população inserida no baixo curso do rio Itapecuru representa quase 500 mil habitantes, estando subdivididos em área urbana e rural, sendo estes localizados na área da bacia e em seu entorno. No quadro 11 é ilustrado essas informações.

Quadro 11: Nomes dos municípios e percentuais de abrangência

Municípios	Percentuais (%)
Aldeias Altas	9,6
Alto Alegre do Maranhão	3,2
Bacabal	0,5
Bacabeira	0,8
Cantanhede	6,4
Capinzal do Norte	2,3
Codó	6,3
Coroatá	18,2
Itapecuru Mirim	9,2
Lima Campos	0,1
Matões do Norte	5,5
Miranda do Norte	2
Peritoró	6,3
Pirapemas	5,7
Rosário	5,2
Santa Rita	3,6
São Luís Gonzaga do Maranhão	2
São João do Sóter	1,3
São Matheus	2,3

Timbiras	8,1
Vargem Grande	1,4
TOTAL	100

Fonte: Adaptado de Masullo et al. (2019)

Analisando o quadro 11, nota-se que os municípios de Coroatá, Aldeias Altas Itapecuru Mirim e Timbiras, contém os maiores percentuais de abrangência da bacia, enquanto os municípios de Lima Campos, Bacabal, Bacabeira e Vargem Grande são responsáveis pelos menores quantitativos de ocupação no baixo curso da BHRI.

Verifica-se que há uma grande ocupação na área que compreende a região, reiterando assim a importância do manancial para a sobrevivência da população, bem como no auxílio para o desenvolvimento de atividades econômicas que serão citadas posteriormente. No quadro 12 é postulado a resistência da vegetação ao usos antrópicos.

Quadro 12: Resistência da vegetação as modificações antrópicas no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Resistência as modificações antrópicas	Estrutura ambiental	Municípios
Muito fraca	Vegetação	São João do Sóter, Codó, Capinzal do Norte, Peritoró, Coroatá, Alto Alegre, São Matheus do Maranhão, Matões do Norte, Cantanhede, Miranda do Norte, Itapecuru Mirim e Santa Rita

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Verificando o quadro 11 que contém os percentuais de abrangência dos municípios na bacia e comparando com o quadro 12, percebe-se que os municípios de maiores percentuais, são aqueles que os usos da terra predominam a infraestrutura urbana e atividades relacionadas com a pecuária e agricultura, em decorrência reflete a pouca resistência da vegetação as atividades antrópicas.

Nesse sentido, a área que compreende o baixo curso da bacia do rio Itapecuru é dotada de distintas atividades econômicas desenvolvidas. O quadro 13 apresenta as principais atividades econômicas desenvolvidas nessa área.

Quadro 13 – Principais atividades econômicas desenvolvidas no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Atividades desenvolvidas	Setor Econômico	Características
Produção de soja, milho, sorgo e feijão	Primário	A agricultura mecanizada é uma das principais atividades realizadas na fronteira agrícola do MATOPIBA.
Criação de bovinos de cortes	Primário	Revestimento do solo em plantação de pastagens
Agricultura familiar	Primário	Lavouras de subsistência para sustento próprio
Pesca	Primário	Praticados de forma artesanal e comercial contando com uma Associação dos Distribuidores de Pescado e Marisco de São Luís/MA (ADPEMASL)
Extração vegetal	Primário	Coco-babaçu
Mineração	Primário	Produção de telhas, tijolos, cimento, lajotas, extração de britas, areia lavada, gás natural e xisto
Produção industrial	Secundário	Fabricação de Sabão, velas, produtos de limpeza e aromatizantes
Produção têxtil	Secundário	Vestuário e calçados

Fonte: Adaptado de CODEVASF (2019)

Conforme os dados do quadro 13, a maior parte das atividades econômicas desenvolvidas abrangem o setor primário, necessitando em grande parte da matéria-prima (recursos naturais), visto em parágrafos anteriores que os mesmos necessitam de medidas consistentes para a sua mitigação.

As plantações de soja, milho, sorgo e feijão, estão distribuídas principalmente na parte sul da bacia, abrangendo os municípios de Aldeias Altas e Caxias (este faz parte do médio curso). A criação de bovinos de corte é facilitada devido as extensas áreas destinadas as pastagens, têm-se as localidades de São João do Sóter, Codó, Peritoró, Coroatá e Cantanhede. Em relação à agricultura familiar, apresenta-se pela grande

maioria da área do baixo curso da bacia, na qual destina-se ao sustento próprio e caracteriza-se pelas atividades de lavouras temporárias, vista em toda a BHRI.

A atividade pesqueira é uma das práticas bastante realizadas no baixo curso, sobretudo nas proximidades de São Luís / MA, a exemplo dos municípios de Itapecuru Mirim, Santa Rita e Rosário. A produção industrial localiza-se nos municípios de Codó e Bacabal, já a produção têxtil destaca-se a cidade de Bacabal. A extração vegetal abrange os municípios de Bacabal, Codó e Coroatá. Por fim, as atividades mineradoras têm-se Codó, Capinzal do Norte, Bacabal e Rosário.

A maioria dos impactos ambientais negativos oriundos das atividades econômicas, destacam-se o revestimento da cobertura vegetal em pastagem e para a agricultura. Além da extração mineral, que tende a contribuir com a variação da qualidade da água bem como a sua contaminação. Quanto à produção industrial, também é causadora da poluição nos corpos hídricos, bem como das suas características ambientais.

Após a avaliação da fragilidade ambiental, identificando as áreas ambientais com diferentes resistências às mudanças naturais e antrópicas, os quantitativos dessas áreas e a identificação dos usos da terra com grandes interferências nas atividades econômicas desenvolvidas. Faz-se necessário mencionar as propostas de manejo relacionando as características citadas anteriormente e interligando com as atividades econômicas realizadas no baixo curso, buscando subsidiar ações por parte do poder público e população local.

Relacionado a agricultura, é uma atividade caracterizada por alta fragilidade devido ao uso intenso dos solos e principalmente a supressão da cobertura vegetal. Como propostas para minimizar esses problemas, destaca-se: conhecimento e aplicação das formas adequadas para o plantio, sem necessariamente utilizar a prática das queimadas; adubação adequada; escolha de área adequada para os plantios e o devido cuidado no uso de agrotóxicos para evitar possíveis a contaminação dos recursos naturais.

A criação de bovinos, é dotada de fragilidade do tipo média, por isso, também exerce forte influência no aumento dos impactos ambientais negativos para a área da bacia. Os problemas decorrentes estão relacionados com o revestimento de cobertura vegetal para pastagens, além do pisoteio no solo. As possíveis propostas para essas questões são: substituição da parte da pastagem por ração, sal e outros grãos e capacitação ofertados por meio de incentivo e parcerias com as Instituições de Ensino Superior (IES).

O extrativismo vegetal é caracterizado como fragilidade alta, devido a remoção da vegetação e impactos na biodiversidade. Como propostas têm-se o desenvolvimento de parcerias com as IES e treinamento para o manuseio de técnicas menos agressivas para os recursos naturais. A atividade mineradora representa alta fragilidade, devido a exploração dos recursos naturais e contribui para o assoreamento e poluição nos cursos das águas. As propostas que segue referem-se na busca de parcerias com as IES e recuperação de áreas degradadas.

A prática pesqueira apresenta como propostas o aumento da fiscalização das atividades por conta de poder público e parcerias com as IES. Na atividade industrial, os impactos são diversos, por isso, é caracterizado pela fragilidade alta, com problemas decorrentes, principalmente, a poluição nos cursos d'água e exploração dos recursos naturais de forma intensa. Possíveis propostas referenciam o aumento da fiscalização por conta do poder público e desenvolvimento de capacitações dos funcionários.

Após a exposição das propostas de manejo, no quadro 14 expõe a síntese das propostas destinadas a subsidiar a gestão integrada do baixo curso da BHRI, contendo os problemas, as propostas e os resultados.

Quadro 14: Propostas de manejo das atividades econômicas do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

Atividades desenvolvidas	Fragilidade no ambiente	Problemas decorrentes	Propostas	Resultados esperados
Agricultura	Alta	Uso dos solos; supressão da cobertura vegetal; potencialização para erosão e assoreamento dos recursos hídricos.	Utilização de técnicas agrícolas sustentáveis (compostagem e rotação de culturas) e desenvolvimento de cursos voltados para os agricultores.	Conhecimento das formas adequadas para o plantio, redução dos processos erosivos e conservação dos recursos naturais
Criação de bovinos de cortes	Média	Pisoteio no solo e revestimento da cobertura vegetal em pastagem.	Capacitação para os criadores e incentivo/parcerias com as Instituições	Redução do processo de compactação e

			de Ensino Superior (IES)	impermeabilização dos solos
Extração vegetal	Alta	Remoção da vegetação e impactos na biodiversidade	Incentivo/parcerias com as IES e monitoramento dos recursos naturais no intuito de verificar a sua disponibilidade	Conservação dos recursos hídricos e cobertura vegetal e ampliação dos conhecimentos
Mineração	Alta	Exploração dos recursos naturais; assoreamento e poluição nos cursos d'águas	Incentivo/parcerias com as IES e recuperação de áreas degradadas	Conservação dos recursos naturais
Pesca	Alta	Redução/extinção de espécies	Fiscalização das atividades e Incentivo/parcerias com as IES	Conservação das espécies
Produção industrial	Alta	Poluição nos cursos d'águas; exploração dos recursos naturais	Fiscalização; capacitação dos trabalhadores	Mitigação dos impactos ambientais

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Considerando o quadro 14, as propostas foram realizadas pensando na integração entre a sociedade e a natureza, a maioria das atividades econômicas já expostas no quadro 13 também, requerem matéria-prima oriunda dos recursos naturais. Apesar da população urbana representar a maioria na área do baixo curso da BHRI, a população rural ainda é bastante expressiva pela qual desenvolvem atividades extrativas, *pecuária extensiva*⁵¹, além da pesca desenvolvida pelas comunidades de moradores e comunidades tradicionais (ALCÂNTARA, 2004; CODEVASF, 2019).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Brasília: ANA, 2013.
- ALBUQUERQUE, A. R. C. Bacia hidrográfica: unidade de planejamento ambiental. **Revista Geonorte**, v.4, n.4, p.201 – 209, 2012.
- ALCÂNTARA, E.H. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 11, p. 97-113, 2004.
- ARAÚJO, F. A. S. **Geomorfologia aplicada à fragilidade e ao zoneamento ambiental de Caxias/MA**. 2012. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós -

Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia, campus Presidente Prudente, 2012.

ARCANJO, J.B.A. **Programa levantamento geológicos básicos do Brasil**. Curimatá. Folha SC.23-Z-A. Corrente. Folha SC. 23-Y-B (Parcial) e Xique-Xique. Folha SC.23-Z-B (Parcial) – Escala 1:250.000. Estados da Bahia e do Piauí/ organizado por João Batista Alves Arcanjo e Pedro de Alcântara Braz Filho. Brasília: CPRM, 2001.

ARRUDA, G. Bacias hidrográficas, história ambiental e temporalidades. **Revista de História Regional**, v.20, n.2, p. 209-231, 2015.

BARRADAS, M. N. **Rio Itapecuru: uma proposta de preservação**. Caxias, COMEPI, 1996.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço metodológico. **Revista Ra'E GA**, n. 8, p. 141-152, 2004.

BRASIL. **Lei Federal n. 9433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.

CAPUTO, M.V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V.M.M. da. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Parnaíba. **FUNDAÇÃO PALEONTOLÓGICA PHOENIX: ARACAJU – SE**, n.81, p. 1-6, 2005.

CAVALCANTE, L.M. **Zoneamento geológico e geomorfológico de uma área entre Assis Brasil e Brasiléia – Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999.

CLAUDINO-SALES, V. Geografia, Sistemas e Análise Ambiental: Abordagem Crítica. **GEOUSP: espaço e Tempo**, v. 8, n. 2, p. 125-141, 2004.

CODEVASF. **Plano Nascente Itapecuru: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Itapecuru**. Brasília: Codevasf, 2019.

CORDEIRO; GARCEZ, D. S.; BASTOS, F. H. A influência dos componentes geoambientais e das intervenções antropogênicas nos movimentos de massa na sub-bacia hidrográfica do rio Pirapora, Maranguape-Ceará. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 0, p. 135-154, 2015.

CORREIA FILHO, F.L. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Aldeias Altas**. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

COSTA, M.L.; ANGÉLICA, R.S.; AVELAR, J.O.G. **de Outeiro e Mosqueiro: exemplos de evolução laterítica imatura**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., 1985, Belém. Anais... Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, p. 479-494, 1985.

DU RIETZ, G. E. **Vegetation analysis in relation to homogeneousness and size of sample areas**. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE BOTANIQUE, 8., Paris. Comptes rendus des séances et rapports et communications déposés lors du congrès. Paris, 1954.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro, 1986.

_____. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/ SOLOS. **Mapa de solos de Caxias**. Recife, 2006.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2013.

_____. **Conservação da biodiversidade do estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016.

FEITOSA, A. C.; ALMEIDA, E. P. A degradação ambiental do rio Itapecuru a sede do município de Codó. **Cadernos de pesquisa**, v. 13, n. 1, p. 31-45, 2002.

FOLETO, E.M. O contexto dos instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. **Geoambiente on-line**, n.30, p. 39-59, 2018.

GONÇALVES, D.F.; ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; MENDES, A.C. Argilominerais da formação Codó (aptiano superior), bacia de Grajaú, Nordeste, Brasil. **Latin American Journal of sedimentology and basin analysis**, v.13, n.1, p. 59-75, 2006.

GORAYEB, P.S.S.; GAUDETTE, H.; MOURA, C.A.V.; ABREU, F.A.M. Geologia e geocronologia da suíte Rosário, Nordeste do Brasil, e sua contextualização geotectônica. **Revista Brasileira de Geociências**, v.29, n.4, p. 571-578, 1999.

IBANEZ, M. S. R. **Limnologia do Rio Itapecuru, Maranhão, Brasil**. São Luís, 1997.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Zoneamento geoambiental do Estado do Maranhão: diretrizes gerais para a ordenação territorial**. Salvador. IBGE, 1997.

_____. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências. IBGE, 2007.

_____. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

_____. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências. IBGE, 2012.

JACOMINE, P. K. T. (Coord.). **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS/SUDENE-DRN, 1986.

LIMA, E.A.; BRANDÃO, R.L. **Geologia**. In: PFALTZGRAFF, P.A.S.; TORRES, F.M.; BRANDÃO, R.L. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife: CPRM, 2010.

LIMA, E.A.M.; LEITE, J.F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba: integração geológico-metalogenética**. Relatório final, etapa III. Belém: DNPM/CPRM, 1978.

LIMA, E.S.; FONTES, A.L.; SANTOS, M.A.; CORREIA, A.L.F. Caracterização sedimentar e morfodinâmica do litoral norte, do estado de Sergipe, municípios de

Pacatuba e Brejo Grande - Contribuição Ao Ordenamento Territorial. **IV Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology**, 1, 1 – 9, 2006.

LIMA, K.C.; LUPINACCI, C.M. Fragilidades e potencialidades dos compartimentos geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Bom Sucesso – semiárido da Bahia/Brasil. **Revista Equador**, v. 8, n.2, p. 503-520, 2019.

LIRA, D.R. **Evolução geomorfológica e paleoambiental das bacias do riacho Potanl e G-8 no sub-médio São Francisco**. 234 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass. Série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**: Versão 5.

MARANHÃO. **Lei nº 8.149 de 15 de julho de 2004**. Dispõe sobre a política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos hídricos, e dá outras providências. Maranhão, 2004.

MARANHÃO. **Lei nº 8.149 de 15 de julho de 2004**. Dispõe sobre a política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos hídricos, e dá outras providências. Maranhão, 2004.

_____. **Lei nº 9.956, de 21 de novembro de 2013**. Dispõe sobre a criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Munim. Maranhão, 2013.

_____. **Lei nº 9.957, de 21 de novembro de 2013**. Dispõe sobre a criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim. Maranhão, 2013.

_____. **Decreto nº 36.580, de 10 de março de 2021**. Institui o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. Maranhão, 2021.

MASULLO, Y.A.G.; SOARES, L.S.; CASTRO, C.E.; PINHEIRO, E.A.L. Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru – MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.03, p. 1054-1073, 2019.

MATOS, A.S.; ROCHA, C.R.; OLIVEIRA, M.A. Bacias hidrográficas e gestão dos recursos hídricos: o caso da região hidrográfica Atlântico Leste. **GEOPAUTA**, v.2, n.2, p.5-16, 2018.

MEDEIROS, R. Rio Itapecuru. In: SOUSA, I. G.; MENESES, R. L. de; VIANA, J. M. (Org.). **Cartografia Invisíveis**. Academia Caxiense de Letras, 2015.

MEDEIROS, R. **Rio Itapecuru**: águas que correm entre pedras. São Luís, 2001.

MILESI, C.; CHURKINA, G. Measuring and monitoring urban impacts on climate change from space. **Remote sensing**, v.12, p. 1-25, 2020.

MOURA, M.R.F.; SILVA, S.R. Lei das águas e a gestão dos recursos hídricos no Brasil: contribuições para o debate. **Fórum ambiental**, v. 13, n.03, p. 15-24, 2017.

NASCIMENTO, F.R.; SAMPAIO, J.L.F. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da casa da geografia de Sobral**, v.6/7, n.1, p. 167-179, 2004/2005.

NÚCLEO GEOAMBIENTAL (NUGEO). Centro de Ciências Agrárias (CCA). **Bacias hidrográficas e climatológicas no Maranhão**. São Luís, 2016.

PASTANA, J. M. N. **Turiaçu/Pinheiro, folhas SA.23-V-D/SA.23-Y-B: Estados do Pará e Maranhão**. Brasília, CPRM, 205p. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil), 1995.

PENTEADO, M.M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974.

PEREIRA, P.B.; NUNES, H.K.B.; SOUSA, A.S. Caracterização geoambiental do município de Caxias, Maranhão/Brasil. **Revista Geografia em Atos**, v.6, p. 1-19, 2022.

ROCHA PAULA, L.; AGUIAR CESAR, K.K.F.; BATISTA, A.K.R.; SIQUEIRA, F.F.F.S.; SILVA, L.; LIMEIRA FILHO, D. FERREIRA, M.F.R.; ALMEIDA, M.A.G.; NUNES, L.A.G.; SOARES, J.P.; AZEVEDO, C.A.S.; SILVA, F.L. Análise físico-química da qualidade da água do rio Itapecuru no município de Caxias-MA. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. 1-16, 2021.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.8, p.63-74, 1994.

SANTOS, I.O.; MARIANO, G. Sistema de informação geográfica e caracterização fisiográfica automática da bacia hidrográfica do rio Tatuoca. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.3, p.866-879, 2017.

SANTOS, L.C.A.; LEAL, A.C. Gerenciamento de recursos hídricos no estado do Maranhão – Brasil. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.13, p. 39-65, 2013.

SILVA, D. J. D.; CONCEIÇÃO, G. M. Rio Itapecuru: Caracterização Geoambiental e Socioambiental, Município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Scientia Plena**, v. 7, n.1, p. 1-26, 2011.

SILVA, D. J. D.; CONCEIÇÃO, G. M. Rio Itapecuru: Caracterização Geoambiental e Socioambiental, Município de Caxias, Maranhão, Brasil. **Scientia Plena**, v. 7, n.1, p. 1-26, 2011.

SOARES, L.S.; CASTRO, A.C.L.; LOPES, W.G.R.; AZEVEDO, J.W.J.; PORTO, H.L.R. Índice de qualidade de água do baixo curso do rio Itapecuru, estado do Maranhão, Brasil. **Revista Espacios**, v.37, n.14, p. 6-15, 2016).

SOUZA, J.S.; MORAES, B.S. Análise das Políticas Públicas Implementadas para a Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 2, p. 913-919, 2016.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura**. Porto Alegre: ComPasso, 2018.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Revista**, v. 38, n. 1, p. 55, 1948.

TRINDADE, L.L.; SHEIBE, L.F. Gestão das águas: limitações e contribuições na atuação dos comitês de bacias hidrográficas brasileiros. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, p. 1-20, 2019.

TROVÃO, J.R. **O processo de ocupação do território maranhense**. São Luís: IMESC, 2008.

VEIGA JÚNIOR, J. P. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Luís NE/SE, Folhas SA.23-X e SA.23-Z.** Estados do Maranhão e Piauí. Escala 1:500.000. / Organizado por José Pessoa Veiga Júnior. – Brasília: CPRM, 2000.

ZHU, Z.; ZHOU, Y.; SETO, K.C.; STOKES, E.C.; DENG, C.; PICKETT, S.T.A.; TAUBENBOCK, H. Understanding na urbanizing planet: strategic directions for remote. **Sensing remote sensing of environment**, v.228, p. 164-182, 2019.

GLOSSÁRIO

Manejo¹

Utilização dos recursos naturais de forma consciente

Afluentes²

Cursos d'águas menores que o rio principal

Ecossistema³

Conjunto de seres vivos

Habitat⁴

Local onde habita seres vivos

Fisiográficas⁵

Subdivisão de uma determinada área

Foz⁶

Local onde o rio desagua em outro corpo de água

Cobertura Dedrito-Laterítica Neo-Pleistocênica⁷

Tipo de formação geológica formada por materiais do tipo argilo-arenoso predominando a cor amarelada, sendo uma importante estrutura que possibilita a permeabilização da água, sendo geradas próximas as regiões com sedimentos nas margens ou em leitos fluviais.

Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica⁸

Tipo de formação geológica formada por solos bastante alterados que são originados principalmente em áreas úmidas, contendo hidróxidos de ferro e alumínio fazendo com que a sua cor seja avermelhada.

Depósitos Aluvionares Holocênicos⁹

Tipo de formação geológica com áreas contendo grande quantidade de areia e cascalho, inserindo-se ao longo do rio principal, sendo dotados de materiais mais resistentes e com grandes quantidades de areia grossa.

Depósitos Coluviais Holocênicos¹⁰

Tipo de formação geológica que geralmente tem idade menos recente que os depósitos aluviais, com sedimentos argilosos e areia de origem recente

Depósitos de Pântanos e Mangues Holocênicos¹¹

Tipo de formação geológica caracterizados como depósitos recentes, sedimentos argilosos (solo vermelho-escuro), e por conta da proximidade com o ambiente úmido dos cursos d'águas são ricos em materiais orgânicos.

Depósitos Fluviomarinhos Holocênicos¹²

Tipo de formação geológica que recebem a dinâmica exercida pelo rio e as marés, por esse motivo são encontrados na foz da bacia. Associados com silte, argila e material orgânico lamoso de cor escura.

Granito Areal¹³

Tipo de formação geológica composta por rochas resistentes, conhecida por ter grande teor ácido (granitos), com textura granular irregular, sendo bastante importante no setor de construção civil.

Formação Codó¹⁴

Tipo de formação geológica encontradas em ambientes lacustre e formados por evaporitos e argilito.

Formação Corda¹⁵

Tipo de formação geológica composto de arenitos da cor creme, amarronzados com grãos de alta esfericidade

Formação Itapecuru¹⁶

Tipo de formação geológica formadas por arenitos finos e muito finos, depositado nas proximidades de rios

Formação Motuca¹⁷

Tipo de formação geológica compostas por siltitos e arenitos com grãos arredondados

Suíte Rosário¹⁸

Tipo de formação geológica caracteriza-se também por abrigar um conjunto formado de materiais dos plutons tonalíticos, cálcio-alcalinos e granitos

Planície flúvio-marinha¹⁹

Tipo de formação geomorfológica com superfície plana com altitudes menores que 10 metros, contendo materiais oriundos do contato entre o rio e o mar

Superfície sub-litorânea²⁰

Tipo de formação geomorfológica com superfícies planas que variam de 70 a 100 metros

Planalto dissecado²¹

Tipo de formação geomorfológica com superfície rampeada com colinas e morros que variam de 130 a 150 metros

Superfície rampeada²²

Tipo de formação geomorfológica que está inserida em altitudes que variam de 120 a 150 metros

Planos rebaixados²³

Tipo de formação geomorfológica que prevalece as cotas altimétricas entre 130 a 140 metros

Patamar de Caxias²⁴

Tipo de formação geomorfológica que caracteriza-se por terrenos planos, com colinas e morros rampeados

Tabuleiros do médio Itapecuru²⁵

Tipo de formação geomorfológica com relevo que predomina topos dissecados e colinas

Latossolo amarelo²⁶

Tipo de solo com cor amarelada, com grande umidade e textura argilosa

Planossolo²⁷

Tipo de solo mal drenado devido à proximidade do lençol freático

Argissolo vermelho-amarelo eutrófico²⁸

Tipo de solo composto de textura média/argilosa

Argissolo acinzentado²⁹

Tipo de solo caracterizado pelas cores acinzentadas e constituído de material com pouca argila

Gleissolo³⁰

Tipo de solo encontrado próximo a áreas de mangues, bem como áreas alagadas ou sujeitas a alamento

Neossolo quartzarênico³¹

Tipo de solo composto de areia fina e grossa e do mineral quartzo

Neossolo flúvico³²

Tipo de solo constituído por sedimentos oriundos dos rios

Formação campestre³⁴

Tipo de vegetação que predomina plantas rasteiras e algumas plantas de vegetação densa

Formação savânica³⁵

Tipo de vegetação bastante variada quanto a sua estrutura, contendo árvores tortuosas, arbustos e gramíneas

Clima subúmido³⁶

Tipo de clima caracterizado por chuvas abundantes, mas com distribuição irregulares durante o ano

Quaternário³⁷

Era geológica com grandes transformações climáticas

Índices pluviométricos³⁸

Quantidade de chuva por metro quadrado (m²)

Pedológica³⁹

Refere-se ao solo

Cotas altimétricas⁴⁰

Altura do relevo ou terreno

Planície⁴¹

Unidade de relevo com superfícies planas

Declividade⁴²

Inclinação da superfície terrestre

Morfometria⁴³

Estudo das formas dos objetos

Arenitos⁴⁴

Predomínio de areia

Aluvionares⁴⁵

Depósitos de matéria orgânica deixado por superfícies alagadas

Coluviais⁴⁶

Formados por fragmentos de rochas

Argilosa⁴⁷

Grande quantidade de argila

Zona de transição⁴⁸

Área que possuem o encontro de dois ou mais tipos de vegetação

Manguezais⁴⁹

Área que contém mangues

Impactos negativos⁵⁰

Qualquer atividade que causa modificações desfavoráveis para o ambiente

Pecuária extensiva⁵¹

Criação de gado em áreas de grande pasto