

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO
DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PINDARÉ-MA**

**Márcia Masson Mendes dos Santos
Engenheira Agrônoma**

2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO
DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PINDARÉ-MA**

Márcia Masson Mendes dos Santos
Orientadora: Prof. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra
Coorientadores: Prof. Dra. Edilea Dutra Pereira
Prof. Dr. Fernando António Leal Pacheco

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutora em Agronomia
(Ciência do Solo).

S237v

Santos, Márcia Masson Mendes dos

Vulnerabilidade socioambiental na evolução temporal do uso do solo da bacia hidrográfica do rio Pindaré - MA / Márcia Masson Mendes dos Santos. -- Jaboticabal, 2022

110 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Coorientadores: Edilea Pereira e Fernando Pacheco

1. uso inadequado do solo. 2. geoprocessamento. 3. Amazônia Legal. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PINDARÉ - MA

AUTORA: MÁRCIA MASSON MENDES DOS SANTOS

ORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

COORDINADORA: EDILEA DUTRA PEREIRA

COORDINADOR: FERNANDO ANTÔNIO LEAL PACHECO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. FERNANDO ANTÔNIO LEAL PACHECO (Participação Virtual)
Depto. Geociências / Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) Vila Real/Portugal

Documento assinado digitalmente

Prof. Dr. JORGE HAMILTON SOUZA DOS SANTOS (Participação Virtual)
Departamento de Geociências / Universidade Federal do Maranhão

gov.br

JORGE HAMILTON SOUZA DOS SANTOS
Data: 09/02/2023 12:02:26-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. GENE TADEU PEREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente

Prof. Dr. ANILDO MONTEIRO CALDAS (Participação Virtual)
Universidade Federal Rural de Pernambuco / Recife/PE

gov.br

ANILDO MONTEIRO CALDAS
Data: 09/02/2023 14:38:58-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 13 de dezembro de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MÁRCIA MASSON MENDES DOS SANTOS nasceu em São Luís – MA, Brasil em 11 de abril de 1991, filha de Raimundo Nonato da Silva Santos e Maria Elenir Mendes Santos. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, no Campus de São Luís (2016). Durante a graduação, teve a oportunidade de ser bolsista de iniciação científica, desenvolvendo trabalhos na área de nutrição de plantas e sendo membro do grupo de Eficiência do Uso de Nitrogênio - EUN. Foi discente do curso de mestrado do programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. Fez parte do Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas da UNESP (GENPLANT), desenvolvendo pesquisas sobre nutrição com silício em culturas. Participa do Grupo de Pesquisa em Política de Uso do Solo (PoIUS) da UNESP e trabalhou com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para aplicação no manejo e na conservação do solo e da água em bacias hidrográficas.

“Há um tempo certo para cada coisa; há um tempo certo para cada propósito debaixo do céu: Tempo para nascer e tempo para morrer; tempo para plantar e tempo para colher”.

Eclesiastes 1-3

AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu amor e direção nesta jornada que é a vida, por ter me dado força para aceitar os desafios que me são propostos.

Aos meus pais Raimundo Nonato (*in memoriam*) e Maria Elenir, que sempre me incentivaram e investiram no meu crescimento: Muito obrigada por acreditarem no meu potencial. Aos meus irmãos Elenato, Nonato, Renato e Noeli, pois sempre pude encontrar suporte nos momentos mais difíceis.

À Universidade Estadual Paulista, e em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola e Ciências Exatas - DECEEx, pela oportunidade concedida para a realização do curso.

À orientadora Teresa Cristina Tarlé Pissarra, por me orientar, pela paciência e pelo amadurecimento da minha carreira profissional.

À Coorientadora Edilea Dutra Pereira que foi fundamental para a condução e desenvolvimento deste trabalho.

Ao Coorientador Fernando Antônio Leal Pacheco, pelo apoio e ensinamentos, e por ter aceitado tornar este trabalho o melhor possível.

À Profa. Dra. Adriana Monteiro da Costa por ceder todas as fotografias inseridas na tese e pelo auxílio na discussão dos dados na visita técnica.

Aos doutorandos e amigos (Camila Vasconcelos, Jonathan Viana, Isaías Reis e Luciano Medeiros) pela amizade oferecida e pelos bons momentos de distração e diversão durante o curso.

Ao Grupo de Pesquisa em Política de Uso do Solo (PolUS), em especial a Andrea Passos, Gislaine Costa, Laís, Renata Cristina e Rafael Parras, pelo compartilhamento de conhecimentos, fundamental para o crescimento profissional.

À igreja Assembleia de Deus Madureira, em especial ao grupo Jovens Unidos em Cristo (JUC), que foi a minha família em Jaboticabal, me auxiliando e me fortalecendo em Cristo, em especial Danielle, Elaine, Kathy e Jeniani.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, e aos que me acompanharam ao longo desta jornada, o meu muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento-001.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Vulnerabilidade socioambiental	2
2.1.1 Vulnerabilidade socioambiental da bacia hidrográfica do Rio Pindaré	4
2.2 Gestão ambiental de bacia hidrográfica.....	7
3 OBJETIVOS	9
3.1 Objetivo geral.....	9
3.2 Objetivos específicos	9
4 MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 Caracterização da área de estudo	10
4.2 Metodologias.....	13
4.2.1 Vulnerabilidade ambiental.....	13
4.2.2 Geologia	14
4.2.3 Solo.....	15
4.2.4 Topografia	16
4.2.5 Drenagem e Sub-bacias	17
4.2.6 Uso do Solo.....	17
4.2.7 Unidade de Conservação e áreas indígenas.....	18
4.2.8 Área de Preservação Permanente	18
4.2.10 Vulnerabilidade ambiental.....	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5.1 Atributos ambientais	23
5.2 Usos do solo	30

5.3 Floresta amazônica na Bacia do Rio Pindaré	30
5.4 Silvicultura na Bacia do Rio Pindaré	35
5.5 Agricultura na Bacia do Rio Pindaré	40
5.6 Pastagem na Bacia do Rio Pindaré	41
5.7 Fragilidade potencial ambiental.....	43
5.8 Vulnerabilidade ambiental.....	46
5.9 Vulnerabilidade socioambiental	52
5.10 Participação em audiências públicas.....	70
6. CONCLUSÃO.....	73
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
8 REFERÊNCIAS	75
ANEXO 1.....	83
ANEXO 2.....	88

VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO DO SOLO DA BACIA DO PINDARÉ

RESUMO - A Bacia do Rio Pindaré com uma área 40.482 km² é muito importante por estar localizada na maior floresta do mundo, a Amazônia. A falta de planejamento do uso e ocupação do solo pode levar a alterações do ecossistema causando grandes prejuízos sociais e ambientais para a população atual e a futuras gerações. Para análise ambiental do uso e ocupação do solo foram elaborados mapas de diversos temas para contextualizar a ocupação do uso do solo. Os dados utilizados foram dados secundários provenientes dos órgãos oficiais, associado às técnicas de geoprocessamento. Para análise social foi elaborado um questionário socioambiental e foi distribuído para a população da área. Pode-se perceber a partir dos mapas e questionários respondidos que a Bacia do Pindaré sofreu uma sensível modificação tendo como resultado, no uso áreas de pastagem, um aumento de 26% para 40% e houve uma redução no uso vegetação florestal. Com os resultados obtidos foi possível diagnosticar a situação do uso e ocupação das áreas e identificar as sub-bacias mais vulneráveis (71622, 71623, 71625 e 71629).

Palavras-chave: uso inadequado do solo; geoprocessamento; Amazônia Legal.

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL VULNERABILITY IN TEMPORAL EVOLUTION OF LAND USE IN PINDARÉ RIVER BASIN

ABSTRACT - The Pindaré River has an area of 40,482 km² and it is very important because its location, which is in the largest forest in the world: Amazon. The lack of plan to land use and its occupation, which can lead to changes in the ecosystem. It also causes social and environmental damage to current population and future generations. Besides that, environmental analysis of land use and occupation were prepared to contextualize, through maps of different themes. Data used were secondary datas from official governments, which were associated with geoprocessing techniques. For social analysis, a socio-environmental questionnaire was prepared and distributed to population of these areas. It can be seen on maps and questionnaires answered for them. So, Pindaré river underwent a significant change, which results in an increases of pasture areas from 26% to 40%. Also, there was reduction of forest vegetation. Therefore, the results obtained was possible to diagnose the situation of use and occupation of these areas and identified the most vulnerable sub-river basins (71622, 71623, 71625 and 71629).

Keywords: inappropriate land use; geoprocessing; Legal Amazon.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos de monitoramento, um total de 24,6 mil km² da Floresta Amazônica do Maranhão foi desmatado, o que representa 33% do total de áreas desmatadas e dentre estas áreas está a Bacia do Pindaré (Celerato et al, 2017). Desta forma levando a vulnerabilidade social e ambiental da região através da pressão antrópica com diversos usos (pastagem, agricultura, área artificial, silvicultura) ocasionando a redução da captação de água em rios da bacia.

Nesta perspectiva o termo “vulnerabilidade socioambiental” está relacionado às formas de uso, a intensidade em que se dará esse uso e a estrutura do ambiente. A noção de vulnerabilidade socioambiental é resultado de estruturas socioeconômicas que produzem simultaneamente condições de vida precárias e ambientes deteriorados (De Andrade et al., 2019; Freitas et al, 2012).

A falta de planejamento ambiental ocasiona a vulnerabilidade ambiental devido as diversas perdas ecológicas como: solo, água, bioma, fauna e flora devido ao mau uso do solo, levando a população do bioma amazônico a estar expostas a riscos ambientais e consequentemente a níveis significativos de desagregação social.

Uma forma de diminuir a vulnerabilidade ambiental é utilizando a cobertura vegetal florestal de áreas garantindo o equilíbrio hídrico e sedimentológico da bacia hidrográfica, pois contribui para o aumento da infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial e, consequentemente, os processos erosivos (Criado, 2012) principalmente em áreas que possuem fragilidade ambiental.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a vulnerabilidade socioambiental para determinar indicadores das áreas mais vulneráveis e das áreas menos vulneráveis da bacia hidrográfica do rio Pindaré na Amazônia Legal no Estado do Maranhão, Brasil, visando fornecer dados para o planejamento e a gestão sustentável das terras, em áreas rurais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Vulnerabilidade socioambiental

Os ecossistemas são formados pelo conjunto de comunidades que habitam e interagem em um determinado espaço geográfico. As ações realizadas nestes ambientes são complexas e apresentam um processo dinâmico na relação entre as comunidades bióticas e abióticas, o que forma a biodiversidade de cada ecossistema (Peixoto et al., 2016).

Com o aumento expressivo da população humana e consequente uso consuntivo dos recursos naturais, é necessário desenvolver ações socioeconômicas com vistas ao uso racional e sustentável dos recursos (Pacheco et al., 2018), e definir métricas que indiquem a causalidade e que possam ser utilizadas pelo poder público para a tomada de decisão, no que tange a garantir a sustentabilidade do meio (Valle Junior et al., 2015a; Valera et al., 2017; IPCC, 2018; Caldas et al., 2018).

A Organização das Nações Unidas (ONU), por meio de discussões na Assembléia Geral, estabeleceu, em 2015, 17 metas globais para os próximos 15 anos, chamadas de Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essas metas deverão contribuir para um papel importante na manutenção e conservação dos ecossistemas, uma vez que consideram um novo paradigma de formas de uso e de preservação dos recursos naturais da Terra (MEA, 2005; Pissarra et al., 2019).

Nesta perspectiva, o termo “vulnerabilidade socioambiental” indica um estado de fraqueza social e ambiental relacionado às formas de uso da terra, à intensidade em que se dará esse uso e à estrutura física do ambiente. A noção de vulnerabilidade socioambiental é relatada pelas instituições internacionais, como algumas agências das Nações Unidas (FAO, 2022) e o Banco Mundial. Como resultado de estruturas socioeconômicas, a vulnerabilidade está condicionada às condições de vida precárias e ambientes deteriorados (Andrade et al., 2019; Freitas et al., 2012; Esteves, 2011) e pode ser relatada como a coexistência ou sobreposição espacial entre grupos populacionais muito pobres e com alta privação (vulnerabilidade social) e áreas de risco ou degradação ambiental (vulnerabilidade

ambiental). O processo de desenvolvimento depende de estruturas socioeconômicas que produzem condições de vida humana.

A pesquisa realizada sobre os sistemas sociais e ambientais é complexa, tendo em vista que envolve o comportamento do indivíduo e do grupo de indivíduos em uma comunidade na gestão das atividades antropogênicas e dos processos ecológicos do ambiente. Em uma região limitada ocorrem interações complexas entre os sistemas econômicos e ambientais e se faz necessária uma análise holística ao paradigma da sustentabilidade (Szewrański e Kazak, 2020).

A condição dos grupos de indivíduos que habitam uma região é afetada por fatores socioeconômicos e as pessoas podem perder a representatividade na sociedade. Quando ocorre o desenvolvimento de uma sociedade de forma desigual, isso ocasiona ambientes mais vulneráveis e dependentes de auxílios de terceiros para garantirem a sua sobrevivência. Assim, a condição vulnerável é um conceito multifatorial, ou seja, pode ocorrer por questões de moradia, renda, escolaridade, entre outros, e transpor a barreira da dependência financeira é uma das maiores dificuldades do ser humano (Deschamps, 2008; Zanella, 2013). Ainda, é importante ressaltar que a vulnerabilidade social não é sinônimo de pobreza, pois o conceito refere-se à fragilidade de um determinado grupo ou indivíduo por questões que podem ser históricas, socioeconômicas ou raciais.

A vulnerabilidade social se refere à condição de fragilidade que pode afetar os indivíduos ou grupos, que os tornam expostos a riscos e a níveis significativos de desagregação social. As definições de risco e vulnerabilidade são compreendidas em um processo associado a diferentes contextos histórico-sociais e áreas científicas (Mendes e Tavares, 2011; Janczura, 2012).

A vulnerabilidade ambiental é vista como a interação entre o risco existente em um determinado lugar (*hazard of place*) e as características e o grau de exposição da população lá residente (Berrouet et al., 2020; Malhado et al., 2017). A vulnerabilidade social é relacionada por diversos autores às condições de pobreza de uma determinada população, isto porque frente às condições de desenvolvimento econômico surgem diversas situações negativas que afetam principalmente grupos de menor poder aquisitivo (Roncancio, et al., 2020; Berrouet, et al., 2020).

Esteves (2011) indica que a vulnerabilidade socioambiental está condicionada ao risco no qual o ser humano, individualmente ou em grupo, está exposto nas diversas situações da sua vida. O risco pode ser maior ou menor dependendo do estado de vulnerabilidade do sistema e envolve um conjunto de fatores intrínsecos ao meio e à sociedade (Mendonça e Leitão, 2008). Essas situações podem ser, por exemplo, uma enchente, um deslizamento, a perda de um emprego, uma despesa não esperada, uma doença, a marginalização social, uma recessão econômica entre outras (Esteves, 2011).

A vulnerabilidade em relação aos recursos hídricos e o solo se desenvolve como a propensão ou predisposição de uma população a ser adversamente afetada por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a sua susceptibilidade à escassez da água e ao mau uso do solo (Křeček Haigh, 2019; Carlados et al., 2019, Anjinho et al., 2021). Um exemplo é o processo de vulnerabilidade na produção de alimentos que ocorre em baixa produtividade nas áreas menos favorecidas (Comissão Europeia, 2010; Barnes et al., 2020; Petrescu-Mag et al., 2018), ocasionada pelo mau uso do solo nos sistemas de produção vegetal e animal. As condições precárias de vida humana e os ambientes deteriorados ocasionam maior capacidade de ocorrência de riscos e baixa resiliência.

2.1.1 Vulnerabilidade socioambiental da bacia hidrográfica do Rio Pindaré

A Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré (BHRP) é especificamente importante por estar localizada na área da maior floresta do Brasil e do mundo, a Amazônia (Celentano et al., 2017) e por ser uma região em que habitam os povos indígenas Guajajaras, um dos mais numerosos do Brasil (Santos et al., 2016).

Nos estudos de Barros et al. (2021), os resultados dos levantamentos em campo revelaram alguns aspectos das formas de vivência do povo local, a saber: a alimentação é proveniente da agricultura de subsistência e da pesca, que é a forma de produção mais praticada pelas aldeias indígenas e pela população ribeirinha (Barros et al., 2021). No entanto, com o mau uso do solo, as áreas das vertentes das bacias hidrográficas estão vulneráveis e têm sido deterioradas no decorrer do

tempo, deixando a região em estado de degradação, o que diminui consideravelmente as áreas produtivas, finalizando com a população sem sua principal fonte de proteína alimentar (Barbosa et al., 2014).

Na implementação do sistema de produção vegetal e animal pode-se avaliar a vulnerabilidade considerando as cinco atividades econômicas que compõem o Valor Adicionado Bruto (VAB). No ano de 2018, a porcentagem de cada setor foi respectivamente: Lavoura Permanente (1,70%) Lavoura Temporária (60,40%), Produção Florestal (2,80%), Pecuária (26,4%), Pesca e Aquicultura (8,70%) (IMESC, 2021a). Assim, observa-se que no estado do Maranhão predomina a produção rural em diversos setores, o que demonstra a prática de cultivo agrícola. No entanto, o manejo em áreas mais vulneráveis pode conduzir às práticas inadequadas e a possibilidade de a população local ficar com menor oferta de alimentos. Portanto, é imprescindível a análise da vulnerabilidade socioambiental de regiões específicas, como bacias hidrográficas.

Com os dados do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), que é uma medida resumida do progresso em longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: renda, educação e saúde, pode-se observar que em 2010 com o valor de 0,639, o estado do Maranhão foi classificado em penúltimo lugar (26º) dos estados brasileiros para este indicador (PNUD, 2013; Vommaro et al., 2019), com uma média do IDH do bioma amazônico no estado do Maranhão equivalente a 0,576, colocando a área em alto risco de vulnerabilidade social, na faixa de baixo IDH (IMESC, 2020a).

Como estes valores indicam as conquistas de desenvolvimento humano básico em um país, observa-se que ocorre a desigualdade na distribuição do desenvolvimento humano entre a população, em nível de país. Assim, pode-se perceber que diversos usos como os loteamentos nas áreas urbanas, as estradas em áreas de suma importância para a bacia, a pastagem, a agricultura e a silvicultura estão inseridas na paisagem, o que levam ao desmatamento, assoreamento de rios e causam a degradação de nascentes de rios (IMESC, 2021b; Silva Junior et al., 2020).

Nas regiões produtivas, a maioria dos beneficiados são os produtores que têm grande extensão de área produtora, visando o lucro para a exportação dos produtos, principalmente da carne bovina. Neste sentido, o sistema de produção animal ocupa extensas áreas, e com o desmatamento e abandono de práticas de manejo sustentáveis, uma região da superfície das vertentes das bacias torna-se degradada (Assunção et al., 2017). Portanto, o sistema de produção animal deverá ser organizado espacialmente em áreas que denotem alta vulnerabilidade. Assim, a transformação pode ocorrer de áreas não produtivas, que ofereçam prejuízos ambientais, ecológicos em curto e longo prazo para a população local e mundial, pois degrada a flora e a fauna de forma intensa e descontrolada, para áreas mais sustentáveis.

A alta vulnerabilidade social (observada no processo de expansão agrícola, foi marcada por choques entre especuladores de terra (fazendeiros latifundiários) com trabalhadores rurais (praticantes de agricultura familiar)), e a violência compõem um cenário social e político local (IMESC, 2020b). Denota-se que os povos indígenas são as principais vítimas desses conflitos. Entre 2010 e 2016, pelo menos 30 indígenas foram assassinados no Maranhão e outros 12 no Pará (CIMI, 2017; Celentano, et al., 2018). A maioria desses assassinatos apresenta relação com a invasão e com a exploração ilegal de madeira (Celentano et al., 2018), o que ocasiona uma alta vulnerabilidade socioambiental da região.

A dinâmica da vulnerabilidade socioambiental indica as regiões mais frágeis do ambiente, sobretudo em razão da distribuição do território em relação ao desenvolvimento das comunidades locais. A população tem a possibilidade de conhecer melhor as condições, o que torna fundamental o estudo da caracterização do espaço geográfico da vulnerabilidade na unidade territorial de bacias hidrográficas.

Tendo em vista a busca econômica pelo uso dos recursos naturais e a diferença social, a determinação da vulnerabilidade socioambiental em regiões hidrológicas, no intuito de verificar as áreas mais frágeis, cria condições de prevenção e mitigação para a implementação de atividades mais sustentáveis. O planejamento das atividades socioeconômicas na bacia hidrográfica auxilia na

gestão dos recursos naturais e a construção de cenários na proposta pode ser aplicada para um plano de resiliência, que, segundo Freitas et al. (2012) inclui mudanças nos padrões de desenvolvimento social, econômico e ambiental orientados para a sustentabilidade ecológica e a justiça social como pilares do desenvolvimento sustentável.

2.2 Gestão ambiental de bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é um espaço territorial e seu movimento natural e fenomenológico do ciclo hidrológico consiste em uma série de redes de drenagem formadas por canais de água, convergindo para formar um único leito e ponto de saída (exutório) (Raiol et al., 2022,). Entretanto, características declividade, geologia, solos e cobertura vegetal podem interferir na dinâmica do ciclo hidrológico (Pissarra et al., 2021).

As bacias hidrográficas inseridas no bioma Amazônia vêm sendo afetadas por intensa pressão antrópica, como a transformação de áreas vegetadas em pastos e terras cultiváveis, além da extração de madeira. (Tambosi, 2008; Dantas et al., 2015; Almeida et al., 2022).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, localizada no bioma da Amazônia maranhense, observou-se que entre os anos de 1985 a 2019 a classe de Formação Florestal sofreu um aumento do processo de fragmentação, além da diminuição das bordas dos fragmentos, indicando o avanço de outras classes como Pastagem e outras atividades antrópicas (Almeida et al., 2022).

A retirada da cobertura vegetal, que aumenta a velocidade da água que chega ao solo, e também a sua impermeabilização, contribuem diretamente para a diminuição da taxa de infiltração, aumentando o escoamento superficial, inundações e diminuição da recarga do lençol freático (Freitas et al., 2013, França et al., 2022). Desta maneira, surgem diversos impactos ambientais provocados pela atividade agropecuária, tendo em destaque a sedimentação de rios (Sirqueira et al., 2022).

A falta de planejamento da bacia hidrográfica e o uso inadequado de técnicas influenciam diretamente a dinâmica dos sedimentos na bacia hidrográfica,

favorecendo a erosão dos solos e o aumento da carga de sedimentos no rio (Peixoto et al., 2020).

Após ocorrer a erosão, esses sedimentos chegam ao corpo hídrico, onde são transportados em suspensão ou pelo leito do canal. Este processo da erosão hídrica pode levar à desativação de áreas agrícolas, compactação do solo, remoção de nutrientes da camada superficial e por fim o assoreamento de corpos d'água (Sousa et al., 2017; Furtado et al., 2020; Peixoto et al., 2020; Duarte et al., 2021; Sirqueira et al., 2022).

Além das questões ambientais, a erosão também provoca um impacto econômico e de produtividade (Sirqueira et al., 2022). A produção de alimentos mundial diminuiu em aproximadamente 33,7 milhões de toneladas, devido à erosão severa (Sartori et al. 2019). Com menor quantidade de produtos agroalimentares disponíveis nos mercados internacionais, consequentemente houve aumento de preços, o valor total desses bens aumentou em 24,9 bilhões de dólares (Sartori et al. 2019).

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica geoespacial da vulnerabilidade socioambiental na área da bacia hidrográfica do rio Pindaré, na Amazônia Legal, no Estado do Maranhão, Brasil.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar a dinâmica geoespacial da vulnerabilidade socioambiental na área da bacia hidrográfica do rio Pindaré, na Amazônia Legal, no Estado do Maranhão, Brasil.

3.2 Objetivos específicos

Analisar os mapas temáticos de geologia, solo, relevo, uso do solo da bacia hidrográfica do rio Pindaré na subdivisão hidrológica.

Analisar e determinar as classes da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Pindaré, considerando as formações geológicas, o solo, o relevo e o uso/ocupação. Analisar a vulnerabilidade ambiental a partir das mudanças ocorridas do uso do solo de uma série temporal no período de 2000 a 2018.

Analisar a vulnerabilidade ambiental de comunidades da bacia hidrográfica do rio Pindaré

Analisar as áreas ocupadas por sistemas de produção agrícola, de produção animal, indígenas na bacia hidrográfica do rio Pindaré.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Pindaré (BHRP) está situada a oeste, no estado do Maranhão, entre os paralelos 3° e 6° Sul e os meridianos 45° e 47° Oeste de Greenwich. A nascente do Rio Pindaré está localizada entre as cidades de Montes Altos e Amarante do Maranhão, próxima à área indígena denominada Krikati, a cerca de 300 metros de altitude. Percorrendo 466,3 km até atingir a sua foz, no rio Mearim, o Rio Pindaré tem área de drenagem total de aproximadamente 40.482 km². A bacia estende-se na direção sul-sudoeste a norte-nordeste, limitando-se a oeste com a bacia do rio Gurupi e a Leste com a bacia do rio Mearim (Figura 1).

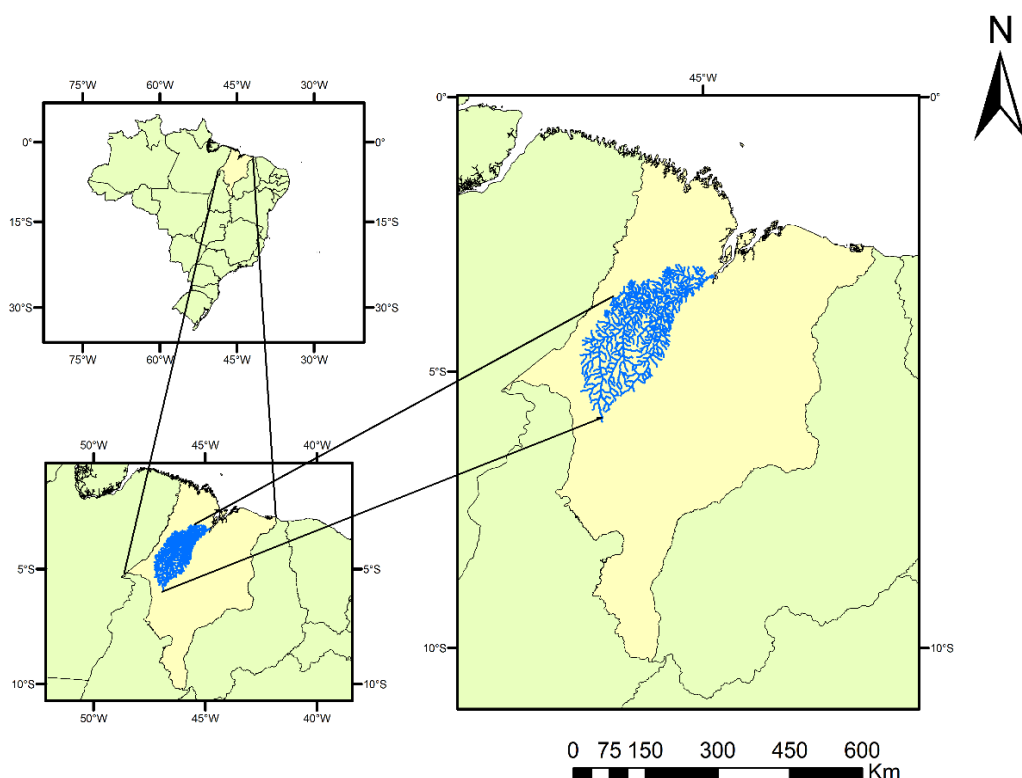


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Pindaré no Estado do Maranhão, Brasil.

Fonte: O autor

O clima do local caracteriza-se por ser tropical quente e úmido, com moderada deficiência de água entre os meses de junho a setembro, megatérmico, ou seja, temperatura média anual entre 25°C e 26°C, sendo que a soma da evapotranspiração potencial nos três meses mais quentes do ano é inferior a 48%, em relação à evapotranspiração potencial anual. A umidade relativa do ar anual está entre 73% e 79% e totais pluviométricos anuais entre 1200 a 1600 mm (UEMA, 2002; IMESC, 2020b).

A geologia predominante entre as formações geológicas sedimentares é a do grupo Itapecuru, os depósitos Quaternários, que têm a maior distribuição espacial na bacia ocorrendo no alto, médio e baixo curso (CODEVASF, 2019). O grupo Itapecuru é caracterizado por arenitos finos a muito finos intercalados com níveis de arenitos conglomeráticos, lamitos e calcários (Lopes, 2019).

O solo foi formado ao longo dos anos e as unidades predominantes são: Plintossolo Pétrico Concrecionário, Plintossolo Argilúvico Distrófico, Plintossolo Háptico Distrófico, Gleissolo Tiomórfico Órtico, Gleissolo Háptico Tb Distrófico, Gleissolo Háptico Ta Eutrófico, Latossolo Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Neossolo Litólico Distrófico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, Luvisso Háptico Órtico (IBGE, 2021).

A cobertura vegetal natural predominante é a Floresta Amazônica que vem sendo substituída por modificações antrópicas, com áreas muito degradadas, não mais apresentando características originais desse bioma em sua maioria (CODEVASF, 2019).

No mapa da rede de drenagem (Figura 2), observa-se as áreas dendríticas. A rede de drenagem total da bacia é de 708 km da nascente que se localiza ao sul próximo à área indígena Kricatis e a foz ao norte na baía de São Marcos. A rede de drenagem também é um importante fator para a divisão geopolítica dos municípios.

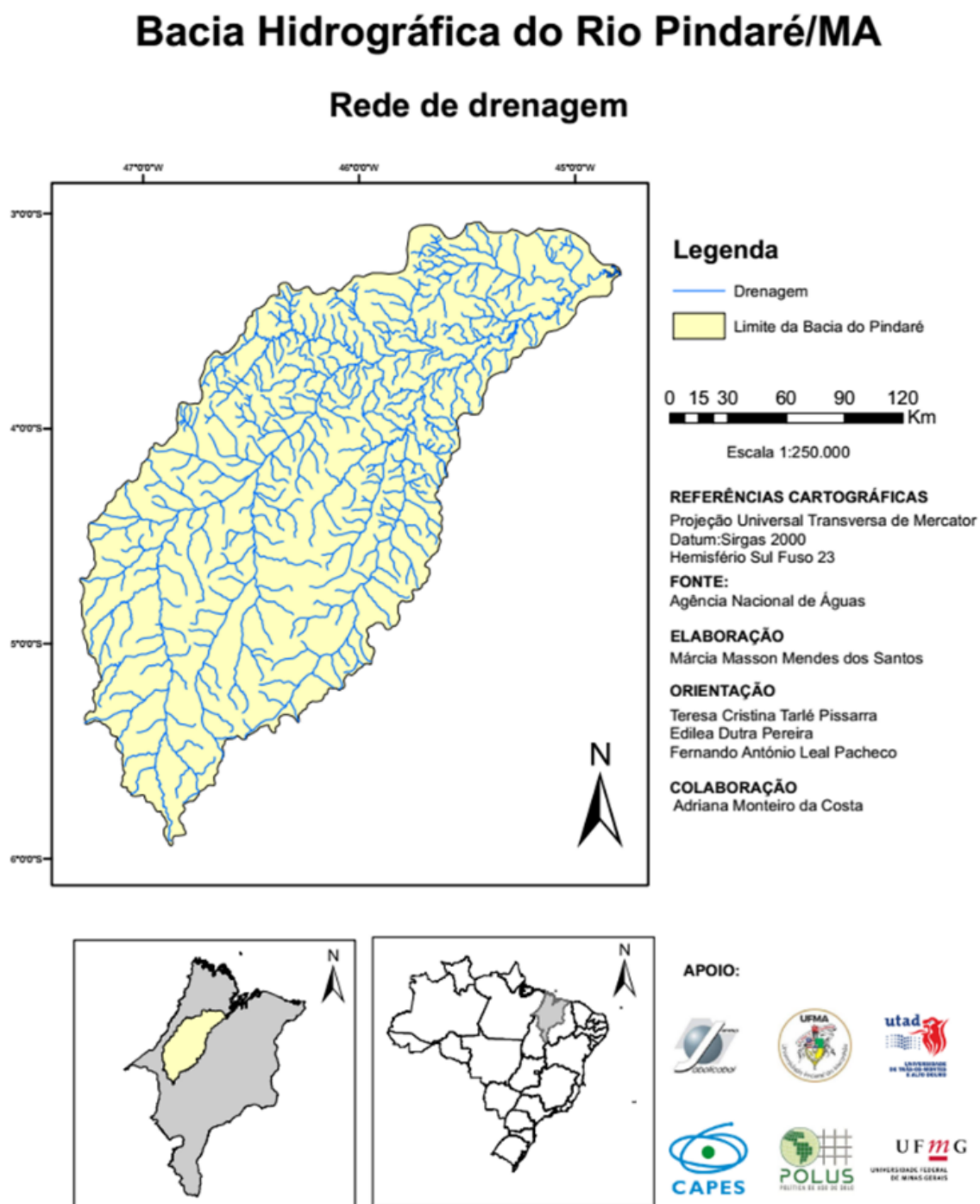


Figura 2. Rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA.

Fonte: O autor

4.2 Metodologias

4.2.1 Vulnerabilidade ambiental

O estado de vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Pindaré foi determinado de acordo com a metodologia de vulnerabilidade à erosão hídrica, que foi definida considerando os índices de acordo com a metodologia proposta por Crepani et al. (2001), Valle Júnior et al. (2013); Nascimento et al. (2016), modificada por Pissarra et al. (2021). A análise foi baseada em processamento, classificação e integração das características ambientais naturais geológicas, geomorfológicas, pedológicas, vegetativas e as ações antrópicas conduzidas na unidade territorial da bacia.

Cada característica representou um fator de vulnerabilidade (Santos et al., 2007). Por meio de álgebra de mapas, equacionado pela média aritmética de todos os fatores, obteve-se o valor de índice para a suscetibilidade à erosão. A base de dados foi composta pelo modelo de elevação digital do terreno (MEDT), geologia, solo, uso do solo e dados de clima. Cada índice foi definido pela reclassificação de *pixels* do arquivo da declividade, agrupando-os de acordo com os índices tabelados propostos por Crepani et al. (2001) e Pissarra et al. (2021).

Na área de estudo, foram obtidos dados do IBGE do estado do Maranhão para a condução da análise dos dados e geoprocessamento das imagens utilizado o sistema de informações geográficas (SIG) - ArcGIS versão 10.3. Para a caracterização da paisagem, foram utilizados os bancos de dados georreferenciados do estado do Maranhão, na projeção geográfica de Universal Transversa de Mercator, Fuso 23 Sul ou 23M, datum SIRGAS 2000 com resolução espacial de 30 m com escala de 1:250.000.

Os dados utilizados foram dados secundários, provenientes das instituições: Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico).

A etapa do Inventário foi realizada na aproximação e compreensão da

realidade local, com o levantamento detalhado das informações gerais da bacia hidrográfica: características naturais e sociais, considerando também a sua localização e o processo histórico de produção desse espaço.

Para o levantamento dos dados ambientais, foi realizado um inventário da paisagem natural elaborado a partir da espacialização das seguintes temáticas: litologia (geologia), pedologia (solos), altitude (elevação), declividade, rede de drenagem, limite das sub-bacias, áreas de interesse da dinâmica hidrogeológica (Anexo 2), municípios, uso do solo dos anos 2000 e 2018, unidades de conservação e unidades indígenas e a partir dos dados espacializados, foram calculadas as áreas temáticas de cada indicador ambiental e foram elaborados os mapas (Anexo 2) e suas porcentagens.

4.2.2 Geologia

Na elaboração do mapa, primeiramente foi realizado um recorte da área da bacia hidrográfica sobre o mapa geológico do ZEE-MA, obtido no site http://zee.ma.gov.br/bd_amazonico. O recorte da bacia do rio Pindaré foi realizado no mapa da Amazônia Legal (IMESC, 2019), para agrupar os dados semelhantes, conformando um polígono de cada unidade geológica. Após o agrupamento dos dados semelhantes, foi realizado o processamento de transformar o plano de informação de “polígono” para “raster”. Na imagem “raster” foi realizada a classificação de cada região/geologia e o georreferenciamento. O plano de informação foi projetado no Datum SIRGAS 2000, na Coordenada Geográfica UTM Zona 23S, com a resolução espacial de pixel 30m.

As seguintes formações/grupo geológicos foram delimitadas neste estudo de acordo com IMESC (2019): Coberturas Lateríticas Maturas, Formação Codó, Depósitos aluvionares, Depósitos de pântanos e mangues, Depósitos flúvio-lagunares, Grupo Itapecuru.

4.2.3 Solo

O mapa de solo foi elaborado a partir da base de dados do recorte da bacia do rio Pindaré do mapa da Amazônia Legal, obtido no site <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15819-amazonia-legal.html?=&t=downloads>

Com a técnica de geoprocessamento, foi realizado o agrupamento dos dados semelhantes para transformar o mapa de “polígono” para “raster” e para classificar cada unidade a partir do georreferenciamento conforme citado no item anterior. As palhetas de cores de cada unidade de solo foram selecionadas de acordo com Classificação de solo (EMBRAPA, 2018)

As seguintes classes de solos foram delimitadas neste estudo:

- 1- Corpo d'água continental
- 2- Plintossolo Pétrico Concrecionário
- 3- Plintossolo Argilúvico Distrófico
- 4- Plintossolo Háptico Distrófico
- 5- Gleissolo Tiomórfico Órtico
- 6- Gleissolo Háptico Tb Distrófico
- 7- Gleissolo Háptico Ta Eutrófico
- 8- Latossolo Amarelo Distrófico
- 9- Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico
- 10- Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico
- 11- Neossolo Litólico Distrófico
- 12- Neossolo Quartzarênico Órtico
- 13- Neossolo Flúvico Ta Eutrófico
- 14- Luvisolo Háptico Órtico.

4.2.4 Topografia

Para a obtenção dos dados de altitude (elevação), foi obtido um modelo digital de elevação (MDE) na Missão Topográfica *Radar Shuttle* (acrônimo em inglês SRTM), com resolução radiométrica de 16 bits, organizados em quadrículas de 1° x 1° com 30m de resolução vertical, processados de dados de 90 m de resolução vertical, do projeto Topodata (www.dsr.inpe.br/topodata). Foi necessário baixar as imagens da região do site do INPE, as quais foram processadas no programa do Arcgis e agrupadas em um mosaico de imagens.

A partir do mapa de altitude foi elaborado o mapa de declividade utilizando uma ferramenta de processamento de dados de elevação em declividade no sistema de informação geográfica. A classificação da declividade foi realizada de acordo com a EMBRAPA (2018) e foram reconhecidas as seguintes classes de relevo:

- Plano – superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0% a 3%.
- Suave ondulado – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 m a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3% a 8%.
- Ondulado – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8% a 20%.
- Forte ondulado – superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de altitudes relativas de 50 m a 100 m e de 100 m a 200 m, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20% a 45%.
- Montanhoso – superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes, predominantemente variáveis de 45% a 75%.

- Escarpado – áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente com declividades superiores a 75%.

4.2.5 Drenagem e Sub-bacias

Os mapas de drenagem foram obtidos a partir dos dados da ANA, no site <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f>.

A rede hidrográfica foi determinada em trechos entre os pontos de confluência dos cursos d'água de forma unifilar. Uma característica essencial dessa representação é ser topologicamente consistente, isto é, representar corretamente o fluxo hidrológico dos rios, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo. Esse produto é derivado da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 em que as bacias são unidas espacialmente tendo como critério de agrupamento a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter por nível de bacia, ou seja, o número de algarismos da codificação (ANA, 2022).

4.2.6 Uso do Solo

Para a elaboração do mapa de uso do solo, foi realizado um levantamento dos atributos dos dados históricos do IBGE dos anos 2000 e 2018 (que foi o polígono mais recente de uso encontrado).

As seguintes classes de uso do solo foram delimitadas neste estudo de acordo com IBGE: 1- Área Urbana, 2- Área Agrícola, 3- Pastagem com manejo 4- Mosaico de área florestal, 5- Silvicultura, 6- Vegetação Florestal, 7- Área úmida, 8- Vegetação campestre, 9- Mosaico de área campestre, 10- Corpo de água continental, 11- Corpo d' água costeiro, 12- Solo sem cobertura.

4.2.7 Unidade de Conservação e áreas indígenas

Os dados foram baseados no IBGE utilizando dados do Brasil do ano de 2021.

4.2.8 Área de Preservação Permanente

Para a elaboração de Área de Preservação Permanente, foi elaborado a partir do mapa de uso do solo dos dados históricos do IBGE do ano de 2018 e elaborado a partir da ferramenta buffer de 30m, o mínimo a ser respeitado segundo o código florestal (Brasil, 2012).

4.2.9 Fragilidade potencial ambiental

A fragilidade potencial ambiental é baseada na equação vulnerabilidade ambiental (Pissarra et al., 2021) não levando em consideração apenas o uso e cobertura do solo.

4.2.10 Vulnerabilidade ambiental

Nesta pesquisa, o ambiente da bacia foi considerado como a área natural formada ao longo dos milhares de anos a partir das interações e relações de parâmetros bióticos e abióticos do ecossistema. Para a análise da vulnerabilidade ambiental das terras foi realizada uma função dependente da relação integrada das condições de geologia, solo, relevo e uso do solo, considerados os atributos inerentes aos indicadores da vulnerabilidade.

Para determinar a pressão antropogênica, no atributo de uso do solo foram considerados dois fatores: a cobertura vegetal natural e a cobertura do solo antropogênica em dois anos 2000 e 2018 com o intuito de determinar a análise espaço-temporal das unidades de sub-bacias hidrográficas.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores aplicados às unidades de paisagem da bacia do rio Pindaré, são valores que foram discutidos entre o grupo de pesquisa.

Tabela 1. Valores aplicados às unidades de paisagem da bacia do rio Pindaré.

UNIDADES DE PAISAGEM	VALORES DE VULNERABILIDADE
GEOLOGIA	
Coberturas Lateríticas Maturas	8
Grupo Itapecuru	4
Depósitos aluvionares	7
Depósitos flúvio-lagunares	6
Depósitos de pântanos e mangues	5
Formação Codó	3
Água	9
SOLOS	
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	5
Corpo d'água continental	9
Gleissolo Háptico Eutrófico	8
Gleissolo Háptico Distrófico	8
Gleissolo Tiomórfico Órtico	8
Latossolo Amarelo Distrófico	4
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	4
Luvissolo Háptico Órtico	3
Neossolo FlúvicoTaEutrófico	7
NeossoloLitólico Distrófico	7
Neossolo Quartzarênico Órtico	7
Plintossolo Argilúvico Distrófico	6
Plintossolo Háptico Distrófico	6
Plintossolo Pétrico Concrecionário	6
DECLIVIDADE (%)	
0- 3 (Plano)	2
3.01 - 8 (Suave ondulado)	4
8.01 – 20 (Ondulado)	5
20.1 - 45 (Forte Ondulado)	7
45.1 - 75 (Montanhoso)	9
75.1-120.3 (Escarpado)	10

USO E COBERTURA DA TERRA	
Área artificial	2
Corpo d'água Continental	8
Pastagem	4
Silvicultura	5
Vegetação Campestre	6
Vegetação Florestal	7
Área Agrícola	3

Como indicadores de vulnerabilidade ambiental, quanto maior o valor da classe de vulnerabilidade assinalada no mapa, maior será a vulnerabilidade do ambiente onde se insere.

Para a geração da Carta de Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do rio Pindaré, cruzaram-se os valores de vulnerabilidade de cada variável e o peso de cada uma foi calculado de acordo com os valores da Tabela 2 com base na fórmula da vulnerabilidade ambiental de Pissarra et al 2021.

Tabela 2. Análise hierárquica das variáveis de vulnerabilidade

Uso e cobertura da terra	0,558
Solos	0,122
Declividade	0,263
Geologia	0,056

Para a geração do mapa de vulnerabilidade das terras foi realizada a sobreposição das informações temáticas, utilizando a álgebra de mapas, o que permitiu agrupar e classificar as áreas que apresentavam potencial de vulnerabilidade ambiental semelhante.

O método de álgebra de mapas consistiu na aplicação de operações matemáticas para associar várias camadas de modo a obter como resultado, classificações que permitem análises diversas. Para isso, foram utilizadas as ferramentas calculadoras do “raster” e reclassificação para atribuição dos valores das classes de suscetibilidade e vulnerabilidade. O mapa gerado com valores entre 0 e 255, foi estratificado em 5 intervalos, cada um representando uma classe de vulnerabilidade ambiental, sendo elas: 1) Vulnerável 2) Moderadamente vulnerável

3) Medianamente vulnerável 4) Moderadamente estável 5) Estável (Crepani et al. 2001). A classe Estável são as áreas que não possuem atividade antrópica e que possuem pouca perda de solo; a Moderadamente estável são áreas que não estão totalmente estáveis; a Medianamente vulnerável são áreas que já possuem algumas atividades antrópicas e possuem perda de solo; a Moderadamente vulnerável são áreas que possuem atividade antrópica e que tem perda de solo alta, e a classe Vulnerável são áreas muito antrópicas e possuem muita perda de solo.

Após tais classificações houve cruzamento de mapa das sub-bacias da Bacia do Pindaré para melhor compreensão e interpretação, com base na fórmula de Pissarra et al 2021.

4.2.11 Vulnerabilidade socioambiental

A metodologia de pesquisa foi realizada no âmbito da investigação sobre sistemas sociais e ambientais, na forma de questionários, no intuito de verificar os ambientes mais e menos vulneráveis às mudanças ambientais e em qual região da bacia do rio Pindaré essa vulnerabilidade é das mais importantes em termos do ponto de vista geoespacial.

Para a análise da vulnerabilidade social foi utilizada a aplicação de um questionário, elaborado enquanto técnica de coleta de dados (Chaer; Diniz; Ribeiro, 2011), ou seja, um conjunto de questões foram elaboradas no intuito de gerar os dados necessários para verificar a condição social e ambiental das comunidades que habitam a unidade territorial da bacia hidrográfica do rio Pindaré (Anexo 1).

O planejamento do questionário foi realizado no processo de pesquisa científica e foi estruturado a partir de dados a serem mensurados a partir das perguntas que foram formuladas para obter as informações necessárias na análise socioambiental.

O texto, a ordem das perguntas e o aspecto visual do questionário foram elaborados e foram aplicados, inicialmente, para algumas pessoas do Grupo de Pesquisa de Política de Uso do Solo (Grupo PolUS), no intuito de verificar a relação das omissões e ambiguidades. O questionário foi aplicado no intuito de obter uma amostra da população que desenvolve suas atividades na BHRP.

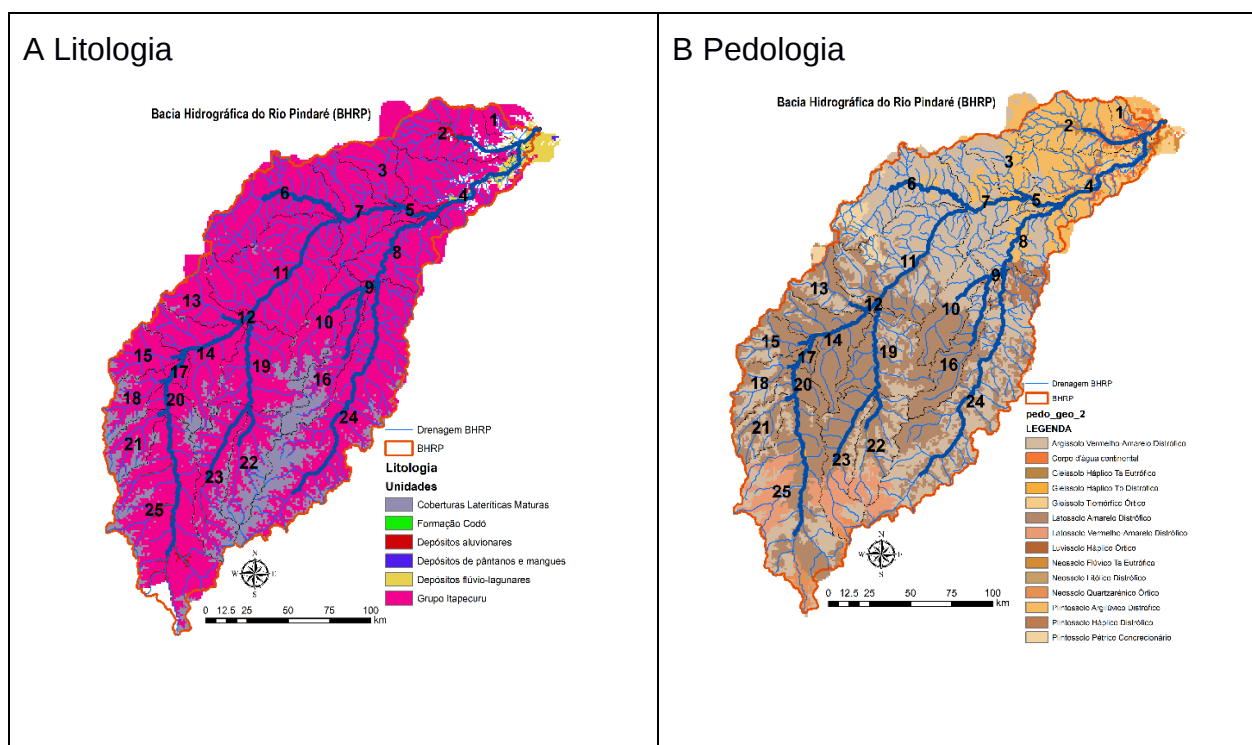
Destaca-se que a população amostrada foram os participantes das 4 (quatro) audiências públicas sobre o Comitê de bacias hidrográficas do rio Pindaré realizadas de 26 a 29 de outubro de 2021 nos municípios de Monte Alto, Buriticupu, Santa Inês e Viana, envolvendo o alto, médio e baixo curso da bacia do Pindaré.

Pode-se aferir que em relação ao número de pessoas entrevistadas e moradoras da área: 31 pessoas responderam o questionário presentes na audiência, tendo em média entre 5 a 6 moradores por cada audiência, entretanto, poucas pessoas contribuíram com a pesquisa devido o período de final da pandemia em procuraram manter o distanciamento social. Foram utilizados como instrumentos para coleta de dados os questionários impressos contendo ao todo 14 questões de cunho social, econômico e ambiental para cumprir os objetivos propostos. A organização dos resultados foi elaborada após as coletas em campo, e as entrevistas realizadas tiveram como objetivo gerar as informações para identificar o perfil socioambiental dos moradores da Bacia do Pindaré.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Atributos ambientais

Os mapas de litologia, pedologia, relevo, uso do solo-2000-, uso do solo - 2018 e altitude são apresentados na Figura 3 (A, B, C, D, E, F).



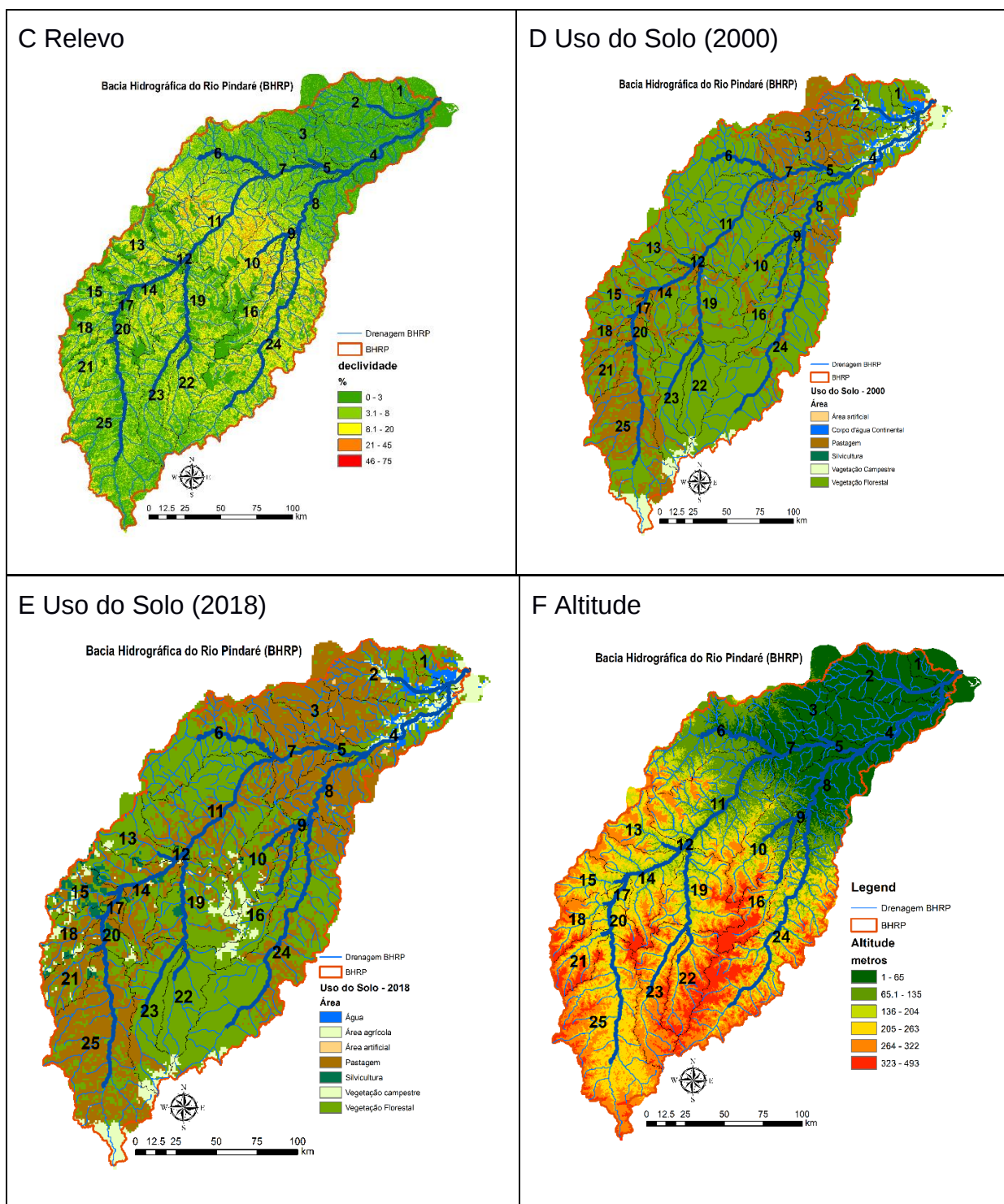


Figura 3. Mapas temáticos da bacia hidrográfica do rio Pindaré - MA.

A espacialização das unidades litológicas da bacia hidrográfica do rio Pindaré, com suas respectivas áreas e porcentagens, encontra-se na Figura 3A e Tabela 3.

Tabela 3. Área e porcentagem da área litológica da BHRP- MA.

Litologia	área (km²)	Área total (%)
Grupo Itapecuru	32.818,10	83,26
Coberturas Lateríticas Maturas	5.033,44	12,77
Depósitos aluvionares	895,79	2,27
Depósitos flúvio-lagunares	653,36	1,65
Depósitos de pântanos e mangue	8,52	0,02
Formação Codó	3,62	0,01
Total	39.412,859.972	100

As Coberturas Lateríticas Maturas formam as regiões onde ocorrem extrema vulnerabilidade ambiental (12,77%). São depósitos residuais da crosta terrestre originados de acúmulos relativos e absolutos de constituintes resistentes à intemperização. A extrema vulnerabilidade é caracterizada pela localização desta litologia nos topos das chapadas em que se formam os planaltos no sul do bioma maranhense e representam as áreas de recargas de aquíferos onde estão localizadas as nascentes (IMESC, 2019).

Essas áreas possibilitam o armazenamento do recurso hídrico no estrato geológico. No processo de infiltração e percolação da água ocorre o acúmulo da água que se direciona nas fendas geológicas que ocasiona o efeito de armazenar e distribuir o recurso hídrico do sistema. São as mais importantes áreas de recarga do aquífero Barreiras e por infiltração (drenagem interna) vertical, o que ocasiona a recarga do aquífero Itapecuru. Essa região é responsável pela surgência de várias nascentes que drenam água para os rios maranhenses (IMESC, 2019).

O Grupo Itapecuru apresenta a maior distribuição espacial na bacia do rio Pindaré (83,26%) e está localizado na ocorrência de áreas de aquífero livre decorrente da sua composição litológica formada por arenitos finos a muito finos, predominantemente argilosos, com intercalações de siltitos e argilitos.

A partir destas recargas foram depositados a milhões de anos por um sistema fluvial (rios a cursos d'água), no leito (fundo) ou margens das drenagens dando origem aos Depósitos Aluvionares que englobam as areias, pelitos e cascalhos dos depósitos fluviais recentes, ou seja, ao longo dos principais rios em que estão localizados os percursos do rio.

Após a ocorrência deste depósito, o conjunto de sedimentos foi carreado e depositado pelos rios, localizado na foz do rio Pindaré, dando origem à litologia de Depósitos Flúvio-lagunares. São constituídos por areias finas a médias com intercalações de pelitos, originados pelo fluxo meandrante dos rios e também são depósitos de material siltico-arenoso típicos de transbordamentos nas planícies de inundação, originados em condições fluviais de baixa energia (IMESC, 2019).

Na área litorânea estão localizados os depósitos de pântanos e mangues (0,02%) que apresentam coloração esverdeada escura, sedimentos argilosos e siltosos, lamosos, lodosos, ricos em matéria orgânica e se encontram permanentemente encharcados, sujeitos à dinâmica da maré. Com a menor distribuição espacial na bacia do rio Pindaré está localizada a litologia Formação Codó (0,01%) em que as rochas apresentam suscetibilidade à erosão e ao deslizamento e possuem potencialidades para minerais, minérios de emprego direto na construção civil como areia, argila e piçarra (IMESC, 2019).

As principais classes de solos encontram-se espacializadas na bacia hidrográfica do rio Pindaré (Figura 3B) e os valores das áreas e das porcentagens das áreas totais constam na Tabela 4.

Entre as classes de solos, foi classificada a região das áreas próximas ao rio como as áreas mais vulneráveis (3,22%), às quais pertencem a ordem dos Gleissolos, que são solos minerais formados em condições de saturação com água, presentes principalmente em planícies ou várzeas inundáveis e os com áreas menos agricultáveis como Gleissolo Tiomórfico Órtico e Gleissolo Háplico Tb Distrófico, mais vulneráveis, e Gleissolo Háplico Ta Eutrófico, o menos vulnerável, entre os Gleissolos (SBPC, 2018).

Tabela 4. Área e porcentagem da área das classes de solo da BHRP - MA.

Classe de solos	área km²	%
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	15.194,20	37.86
Corpo d'água continental	599,36	1.49
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico	184,47	0.45
Gleissolo Háptico Tb Distrófico	543,81	1.35
Gleissolo Tiomórfico Órtico	576,88	1.44
Latossolo Amarelo Distrófico	14.088,20	35.11
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1.940,95	4.84
Luvissolo Háptico Órtico	20,73	0.05
Neossolo FlúvicoTa Eutrófico	185,32	0.46
Neossolo Litólico Distrófico	47,28	0.12
Neossolo Quartzarênico Órtico	326,08	0.81
Plintossolo Argilúvico Distrófico	5.243,87	13.07
Plintossolo Háptico Distrófico	577,64	1.44
Plintossolo Pétrico Concrecionário	599,62	1.49
Total	40.128,47	100

A segunda classe de solo ambiental mais vulnerável foi determinada na região da ordem dos Neossolos (1,39%) devido a área apresenta solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnosticado (SBPC, 2018). Para a classificação, a região de ocorrência do Neossolo Distrófico foi a considerada mais vulnerável devido possuir o mais baixo grau de desenvolvimento pedogenético após Neossolo Quartzarênico Órtico, que são solos de desenvolvimento arenoquartzosos. Já o menos vulnerável identificável foi o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico devido ser de sedimentos fluviais e saturação de bases altas.

A terceira classe com maior vulnerabilidade ambiental diz respeito aos Plintossolos (16%), pois é uma ordem de solo formada em condição limitante à percolação de água que causa efeito temporário de excesso de umidade, ou seja, os ciclos de umedecimento e secagem são fatores determinantes (SBPC, 2018). Dentre as classes, o mais vulnerável foi o Plintossolo Pétrico Concrecionário devido

apresentarem sérias restrições ao uso agrícola devido o enraizamento das plantas e entraves ao uso de equipamentos agrícolas e pouco volume no solo, disponíveis às plantas (SBPC, 2018).

O Plintossolo Argilúvico Distrófico com horizonte ou camada de acumulação de argila abaixo do horizonte A superficial e solos de baixa fertilidade (SBPC, 2018) é uma classe de solo é abundante na região amazônica principalmente na baixada maranhense (Calderano Filho et al., 2018).

O Plintossolo Háplico Distrófico devido o solo ter um escoamento lento de água (áreas deprimidas de relevo plano ou suave ondulado), apresenta grande concentração de plintita (concreções ferruginosas) nos 40 cm iniciais desde a superfície, ou em maior profundidade se ocorrer o horizonte e solos de baixa fertilidade (SBPC, 2018).

Uma das ordens consideradas com menor vulnerabilidade ambiental é o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (37,86%), pois apresenta horizonte de acumulação de argila, B textural (Bt), com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita (SBPC, 2018). São solos com a média de fertilidade natural muito baixa, por isso necessitam de corretivos e fertilizantes, para se obter uma boa produtividade das culturas.

Outra ordem considerada para este estudo de menor vulnerabilidade ambiental foram os Latossolos (39,95%), por serem solos formados por minerais, homogêneos, com menor diferenciação entre os horizontes ou camadas, reconhecido facilmente pela cor quase homogênea do solo com a profundidade (SBPC, 2018). Os Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico são identificados em extensas áreas dispersas em todo o território nacional associados aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado (SBPC, 2018). Ocorrem em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade. Em condições naturais, os teores de fósforo são baixos e são de baixa fertilidade. A cor amarelada é uniforme em profundidade, o mesmo ocorrendo com o teor de argila. A textura mais comum é a argilosa ou muito argilosa. Trata-se sua ocorrência no relevo plano ou suavemente ondulado, sendo favorável à mecanização agrícola e não favorecendo a erosão, mas os problemas de

compactação limitam a utilização deste solo. Apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade e, na Amazônia, são utilizados principalmente para pastagem (Calderano Filho et al., 2018).

Luvissolo Háplico Órtico (0,05%) são solos rasos, ou seja, raramente ultrapassam 1 m de profundidade e apresentam usualmente mudança textural abrupta (SBPC, 2018). Apresenta o caráter eutrófico, assim, a alta saturação por bases nos horizontes subsuperficiais, o que favorece o enraizamento em profundidade. Outro aspecto refere-se à presença de minerais primários facilmente intemperizáveis (reserva nutricional). As limitações de uso relacionam-se à quantidade de pedras no horizonte superficial, o que pode dificultar o uso de mecanização agrícola.

No mapa de relevo (Figura 3C) observam-se as classes de declividade calculadas para a bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA. Foi possível verificar que a região onde concentram-se as maiores declividades estão localizadas em torno da rede de drenagem e as menores declividades estão à jusante e próximas da foz. As faixas de declividades da bacia hidrográfica estão distribuídas conforme Embrapa, 2018 em 0–3% (plano), 3–8% (suave ondulado), 8–20% (ondulado), 20–45% (forte ondulado), 45–75% (montanhoso) e 75–100% (escarpado).

A declividade é um importante fator para o processo de erosão. É causado por forças ativas, como as características da chuva, declividade e o comprimento do declive do terreno e capacidade que o solo tem de absorver água (CODEVASF, 2019).

Os materiais erodidos transportados para o curso inferior dos rios tornam os rios incompatíveis para transportar excesso de água e carga de sedimentos, tornando a qualidade da água um forte indicador de erosão do solo (Ghosh et al., 2013; Pandey et al, 2021).

A avaliação da vulnerabilidade ambiental de uma bacia hidrográfica à erosão do solo desempenha um papel fundamental na identificação da extensão da fragilidade e na elaboração de planos adequados para sua conservação. Para entender o manejo do ecossistema em uma bacia hidrográfica, é importante avaliar a declividade e assim definir quais áreas são áreas mais suscetíveis à perda de solo

(Gelagay e Minale, 2016; Pandey et al, 2021).

As classes de altitude são observadas na Figura 3F. A altimetria varia entre 0 a 493 metros. Como pode ser observado, ao sul da bacia hidrográfica tem altitudes maiores 350 a 493 metros, durante o percurso da bacia os valores vão diminuindo apresentando altimetria mais baixas, mais próximo da área litorânea da bacia onde se encontra a foz.

5.2 Usos do solo

No mapa de uso do solo (Figura 3D e Tabela 5) observa-se a cobertura vegetal natural e antrópica da bacia hidrográfica nos anos de 2000 e 2018 e as respectivas porcentagens e a sua variação ao longo dos anos.

Tabela 5. Área e porcentagem da área do mapa de uso do solo da Bacia do Rio Pindaré nos anos 2000 e 2018 em km² e %.

CLASSIFICAÇÃO	2000 (km ²)	%	2018 (km ²)	%	Variação (km ²)
Urbana	61,26	0.15	75,99	0.19	14,73
Área agrícola	0	0	963,45	2.40	963,452
Pastagem	10.466,49	26.07	16.180,20	40.31	5.713,701
Silvicultura	7,32	0.018	575,35	1.43	568,03
Vegetação florestal	27.599,59	68.76	20.391,39	50.80	-7.208,2
Área úmida	411,48	1.03	411,48	1.02	0
Vegetação campestre	1.591,58	3.96	1539,99	3.84	-51,59
TOTAL	40.137,88	100	40.137,88	100	0

Fonte: IBGE (2018)

5.3 Floresta amazônica na Bacia do Rio Pindaré

O Bioma predominante nativo da bacia do rio Pindaré é Amazônia, que segundo a LEI Nº 5.173, DE 27 DE OUTUBRO DE 1966 Art.. 2º, a Amazônia, para os efeitos desta lei, abrange a região compreendida pelos estados do Acre, Pará e Amazonas, pelos Territórios Federais do Amapá, Roraima e Rondônia, e ainda pelas áreas do estado de Mato Grosso a norte do paralelo de 16º, do estado de Goiás a norte do paralelo de 13º e do estado do Maranhão a oeste do meridiano de 44º.

No entanto, florestas cada vez mais vêm sendo derrubadas e áreas vêm sendo substituídas pelo crescimento das cidades, implantação de atividades agropecuárias, entre outros usos do solo (Ayer et al., 2017).

Na bacia do rio Pindaré não foi diferente, houve uma redução na vegetação nativa com níveis elevados antrópicos e um crescente uso agropecuário das terras. Pode-se perceber visualmente, de acordo com os mapas de uso dos anos 2000 e 2018 e através de números em tabela 5

As únicas áreas que aparecem intactas no mapa são as áreas indígenas e áreas de unidade de conservação do Gurupi (Anexo 2)

Na análise do uso do solo em área indígena e reserva do Gurupi pode-se observar que ocorre uma formação da cobertura vegetal natural mais conservada. As Terras Indígenas no Maranhão representam 7,43% do território do estado, distribuídas em 20 TIs (Terras Indígenas) localizadas na porção Centro-Oeste (FUNAI, 2017). Dessas, seis estão inseridas na bacia do rio Pindaré como o Awá, Caru, Rio Pindaré, Araribóia, Governador e Krikati (IBGE, 2022)

Os povos indígenas Awa, pertencem a etnia Guajá pertencente aos municípios de Governador Newton Bello, Centro Novo do Maranhão, Zé Doca, São João do Caru com a superfície de 116.582,92 há, têm as terras regularizadas e a população de 891 pessoas no ano de 2010 (IMESC, 2021b).

Assim como os Awá, os Carus fazem parte da etnia Tenetehara pertencentes ao município de Bom Jardim com a superfície total 172.667,38 ha, regularizada e com a população de 379 indígenas no ano de 2010 (IMESC, 2021b).

Os povos indígenas do rio Pindaré também são da etnia Tenetehara, fazem parte dos municípios de Bom Jardim, Monção com a superfície total de 15.002,91 ha, regularizada e com a população de 775 indígenas no ano de 2010 (IMESC, 2021b).

Os índios de Governador também são da etnia Tenetehara, os municípios a que pertencem sua área são Gavião Pukobiê Amarante do Maranhão com uma área de 41.643,76 ha, regularizada e com a população indígena de 1058 em 2010 (IMESC, 2021b).

Com a maior extensão de área e população estão os Araribóias que são da etnia Guajá, pertencem aos municípios de Arame, Buriticupu, Amarante do Maranhão, Bom Jesus das Selvas, Santa Luzia, Grajaú com uma área de 413.288,05ha, regularizada e conta com uma população de 7.329 em 2010 (IMESC, 2021b).

Os Krikatis são da etnia Krikati, pertencente aos municípios Montes Altos, Amarante do Maranhão, Lajeado Novo, Sítio Novo com uma área de 144.775,79 ha regularizada com uma população indígena de 1.700 (IMESC, 2021b).

Os primeiros contatos com indígenas ocorreram com os da etnia Tenetehara em 1612, logo após a fundação de São Luís, em consequência de uma expedição enviada ao rio Pindaré na qual foi constatada uma numerosa nação indígena e que formava uma etnia homogênea (IMESC, 2021b).

Após a expulsão dos franceses, uma expedição portuguesa foi realizada com o intuito de explorar o ouro dessa região, o que desencadeou um período de massacres, escravidão e guerra com os Tenetehara; esse grupo indígena foi o primeiro a ter contato e servir aos jesuítas, assim foram implantados os primeiros aldeamentos Tenetehara (IMESC, 2021b).

Muitos indígenas contrários à escravidão imposta fugiram em direção às matas do Oeste e os demais permaneceram ocupando os vales e o interflúvio entre os rios Mearim e Grajaú (Guajajara), o que causou convívio precoce com as sucessivas frentes de expansão da sociedade (Van Deursen Varga, 2008; IMESC, 2021b).

Além das áreas indígenas, as de Unidade de Conservação (UC) também têm sido preservada na bacia da Rede de Biológica do Gurupi.

Na figura 10.2 observa-se o uso do solo da bacia hidrográfica do rio Pindaré no ano 2018 (Anexo 2)

Entre essas 10 (dez) áreas de proteção ambiental criadas pelo presidente Jânio Quadros, inclui-se a Reserva Florestal do Gurupi (Decreto nº 51.026/1961), subordinada ao Serviço Florestal, do Ministério da Agricultura. Seus limites, conforme descrito no documento de criação, perfazem uma área de 1.674.000

hectares no Vale do Gurupi (BRASIL, 1961). Desse modo, abrangiam parte os territórios tradicionalmente ocupados pelos povos indígenas Awá-Guajá, Ka'apor e Tenetehara no estado do Maranhão (Souza, 2017).

No final da década de 1970, a área da Reserva Florestal do Gurupi começou a ser desmembrada. Em seu lugar foram criadas as TIs Alto Turiaçu (Decreto nº 8.002/1982) com 530.524 hectares e Caru (Decreto nº 87.843/1982) com 172.667 hectares, a Reserva Biológica do Gurupi (Decreto nº 95.614/1988) com 341.650 hectares e a TI Awá (Decreto de 19 de abril de 2005) com 116.582 hectares. Nesse processo, cerca de 500.000 hectares da extinta reserva florestal não foram incorporados como área de proteção ambiental ou terra indígena (Souza, 2017).

No decorrer desse processo, foi inaugurada a Estrada de Ferro Carajás, ligando as áreas de exploração mineral no Pará à zona portuária de São Luís. As linhas férreas atravessaram o território Awá-Guajá, causando perda de parte de suas terras e a dispersão e morte dos animais de caça. Além disso, durante o processo de construção dessa ferrovia muitos Awá-Guajá que ainda não haviam sido contatados pela FUNAI, possivelmente morreram vitimados por doenças e por assassinatos decorrentes do *boom* populacional na região (Garcia, 2010).

Durante o processo de construção dessa ferrovia e durante a Assembleia Nacional Constituinte, houve intensa movimentação indígena para a inclusão de um capítulo sobre os direitos indígenas na nova Constituição Federal (Souza, 2017).

Em 1988, mais de uma centena de lideranças indígenas permaneceram em vigília no Congresso Nacional para acompanhar a votação do capítulo “Dos Índios”, que após muita pressão foi incluído no texto constitucional (Oliveira e Freire, 2006). Tal capítulo dispõe, entre outras coisas, sobre o direito dos indígenas sobre seus territórios tradicionalmente ocupados (Brasil, 1988b; Souza, 2017).

De acordo com a Sra. Marcilene Guajajara, a área onde hoje se encontra a REBIO Gurupi fazia parte dos territórios tradicionalmente ocupados pelos povos indígenas, mas com a demarcação oficial criou-se uma divisão que anteriormente não existia: área indígena e área de proteção ambiental. Apesar de serem enunciados, os atos de “Estado” produzem efeitos no mundo social porque eles fazem existir aquilo que antes não existia. Ora, pode-se até dizer que a linha que

estabelece os limites da REBIO Gurupi é imaginária, todavia se alguém for flagrado dentro da sua área praticando alguma atividade proibida pela legislação ambiental, possivelmente sofrerá sanções do Estado (multas, processos, apreensões) (Souza, 2017).

As áreas de preservação permanente (APP) e as áreas de Reserva Legal (RL) (Anexo 2) são observadas ao longo dos anos com o uso indiscriminado das áreas da Amazônia legal, os quais vêm avançando e dos quais deveriam ser preservados de acordo com a lei.

Conforme a Lei destacam-se alguns textos:

-Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP), observados os seguintes percentuais mínimos em relação à área do imóvel, excetuados os casos previstos no art. 68 desta Lei: (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012)(Brasil, 2012).

I - localizado na Amazônia Legal: 80% (oitenta por cento), no imóvel situado em área de florestas.

A maior parte da Bacia pertence à Floresta Amazônica, então apenas 20% deveriam ser ocupadas por alguma atividade. No entanto, o que vem sendo observado é que todas as áreas dos proprietários vêm sendo ocupadas principalmente pela pastagem sem se preocupar com o meio ambiente e com as futuras gerações.

As Áreas de Preservação Permanente, às margens de rios, há plantações de eucaliptos e pasto, locais inapropriados de acordo com a lei (CODEVASF, 2019) (Anexo 2).

-De acordo com o Art. 14. A localização da área de Reserva Legal no imóvel rural deverá levar em consideração os seguintes estudos e critérios: I - o plano de bacia hidrográfica; II - o Zoneamento Ecológico-Econômico, III - a formação de corredores ecológicos com outra Reserva Legal, com Área de Preservação Permanente, com Unidade de Conservação ou com outra área legalmente protegida; IV - as áreas de

maior importância para a conservação da biodiversidade; e V - as áreas de maior fragilidade ambiental.

Tais ações não têm sido colocadas em prática, pois próximo à nascente principal tem diversas estradas em local inapropriado como a rodovia MA-280 em áreas que deveriam ser consideradas como áreas de reservas Legal do Imóvel. Assim, sua nascente principal do rio encontra-se assoreada, compactada pelo acesso de gado, e tendo água apenas no período das chuvas (CODEVASF, 2019).

5.4 Silvicultura na Bacia do Rio Pindaré

O uso destinado a silvicultura é observado no período de 2000 e 2018, com o avanço da silvicultura, principalmente com o uso do eucalipto muito utilizado como madeira em tora para papel e celulose, carvão vegetal de eucalipto e lenha de eucalipto (IMESC, 2021a). Em % esse valor ficou em evidência saltando do valor 0,018 para 1,4 % de acordo com a tabela 5 havendo um aumento de 568,03 km².

Considerando a área florestal da silvicultura maranhense, cuja área corresponde a 268.417 ha em 2020, o dado representava aproximadamente 99,99% da área total. Após o eucalipto, tem-se a categoria “outras espécies” com 7 ha (0,1%) (IMESC, 2021a).

Pode-se perceber que a bacia é uma grande produtora de silvicultura, pois nos anos de 2019 a 2020 os municípios foram considerados grandes produtores, a área florestal da silvicultura esteve presente em 56 municípios do Maranhão, com maior predominância de municípios na parte Oeste (Açailândia, Itinga do Maranhão, Bom Jardim, Bom Jesus das Selvas e Grajaú) (Anexos 2). Açailândia é o maior produtor do estado com 47.040 há; Itinga do Maranhão, o segundo maior produtor com 26.525ha; em terceiro Barra do Corda com 23.607ha e o quinto Bom Jardim com 17.577ha no ano de 2020 (IMESC, 2021a).

As referências dos anos são 2019 e 2020 devido serem pouco estudadas e o eucalipto permanecer em um mesmo local ou solo por um período de até 10 anos e, por isso essas pesquisas serem as mais recentes.

A produção de carvão vegetal de eucalipto no Maranhão registrou redução de 20,9% em 2020, comparado ao ano anterior. Como resultado, o estado saiu da quarta para a quinta posição no ranking dos estados do Brasil. Também se destacaram o Carvão vegetal de eucalipto em vários municípios da bacia. Os municípios de Grajaú (1º) Bom Jardim (5º) Açailândia (6º) e Santa Luzia (8º) (Anexos 2). (IMESC, 2021a).

Considerando a produção de madeira em tora para papel em 2020, o Maranhão foi o nono maior produtor de e celulose, sendo que alguns municípios da bacia tiveram grande importância, como Açailândia que foi o maior produtor maranhense, Bom Jardim ocupando o 4º lugar e Bom Jesus das Selvas que ocupou o 6º lugar no ranking geral dos produtores maranhenses) (IMESC, 2021a).

Para a produção de carvão vegetal a bacia também foi uma grande produtora sendo o município de Paulo Ramos o maior produtor de carvão vegetal do estado em 2020, e em quinto o município de Grajaú (IMESC, 2021a).

A Silvicultura do estado tem um papel importante no contexto das exportações do Maranhão, haja vista que o eucalipto é a matéria prima de um grande setor exportador do estado: o complexo celulose. No ano de 2019, este complexo exportou um total de US \$527,5 milhões, o que correspondeu por 15,7% do total das exportações maranhenses no ano (IMESC, 2020a).

Quanto às áreas de eucalipto e o meio ambiente, qualquer atividade antrópica tem impactos ambientais e com o eucalipto, não é diferente. Nos estudos de consumo de água pelas plantações de eucalipto e a água, ainda é necessários muitos estudos.

No mapa de uso do solo pode-se perceber que existem áreas em que as plantações de eucaliptos estão nas áreas próximas das margens das bacias, áreas que deveriam ser consideradas APP (Anexo 2). É importante ressaltar que o eucalipto permanecerá na área durante 8 a 10 anos, para chegar ao período de colheita.

Há pesquisas que demonstram que se a floresta de eucalipto for plantada perto da rede de drenagem das bacias hidrográficas, os eucaliptos passam a

consumir mais água, crescem mais rapidamente e podem gerar impactos sobre os lençóis freáticos tanto localmente como a jusante (Vital, 2007).

Outro fator importante é a localização das plantações em relação à bacia hidrográfica, como as plantações estão situadas em locais de maior altitude, as raízes dos eucaliptos, por não ultrapassam 2,5 m, não alcançariam os lençóis subterrâneos (Vital, 2007).

A literatura também mostra que a profundidade dos lençóis freáticos varia em função das características do solo, em como das características hídricas de cada região, de tal sorte que o impacto das plantações de eucalipto sobre os lençóis d'água deve ser analisado caso a caso (De Aquino, 2013). Sabe-se que o consumo absoluto de água pelo Eucalipto é de 800 a 1.200 mm/ano. Se, por um lado, o consumo absoluto de água pelo eucalipto encontra-se, de fato, entre os mais altos em relação a outras culturas (cana-de-açúcar 100-2.000 mm/ano café 800-1.200 mm/ano citrus 600-1.200 mm/ano milho 400-800 feijão 300-600 mm/ano) – pelo seu rápido crescimento (Vital, 2007).

Em relação ao consumo relativo dessa água, isto é, o número de litros de água utilizados para a formação de 1 kg de biomassa, figura entre os menores, mostrando que a espécie é bastante eficiente na produção de biomassa (Batata 2.000 l/kg milho 1.000 l/kg cana-de-açúcar 500 l/kg cerrado 2.500 l/kg eucalipto 350l/kg (Silva, 2016; Vital, 2007).

O impacto do eucalipto sobre os recursos hídricos de uma dada região parece depender também das características do clima local (em particular, do volume pluviométrico), do que somente de características fisiológicas próprias dos eucaliptos. Uma vez que de eucalipto situa se em regiões de volume pluviométrico superior a 1.200 mm/ano, em tese, as florestas não tenderiam a acarretar déficit hídrico nessas regiões. Em regiões com volume pluviométrico inferior a 400 mm/ano, as florestas de eucalipto podem acarretar ressecamento do solo, ao utilizarem os estoques de água armazenados em suas camadas superficiais (Vital, 2007).

Apesar de a pluviosidade da área da bacia ser alta, 1600mm³/ano a pesquisa não levam em consideração a média mensal anual climática o que pode trazer consequências ainda maiores à bacia em que há uma grande variação pluviométrica

anual, principalmente devido ao consumo absoluto de água, especialmente por ser uma plantação e se estiverem localizadas às margens da bacia, como no caso de uma área no mapa de uso.

Na bacia há duas estações distintas que vão de úmida (janeiro a junho) à seca (julho a dezembro) (Codevasf, 2019). Pode ser observada através das vazões do rio Pindaré, que a média aritmética das vazões para a série anual é de 88,22 m³/s, e o valor médio da vazão para o trimestre mais seco, de setembro a novembro, é de 17,99 m³/s e para o trimestre de cheia, de março a maio é de 215,60 m³/s.

Para o rio Gurupi, verifica-se que o trimestre mais seco concentra-se no período de outubro a dezembro, com vazão média de 97,82 m³/s. Coincidente com a bacia do rio Pindaré, o período de cheia, de março a maio, apresenta vazão média de 538,78 m³/s traduzindo o comportamento das chuvas na região (Costa et al., 2011).

Outros autores fazem essa diferenciação: na estação de verão, o consumo médio de água é de 15 litros/dia, enquanto no inverno este valor cai para uma média de 4 litros /dia (Moledo et al., 2016).

Dessa forma, toda plantação florestal, necessariamente, deve ser bem planejada e utilizar técnicas silviculturais adequadas que levem em conta estes três itens

- 1) hidrologia florestal e propriedades do solo;

- 2) a paisagem de referência; e

- 3) configuração dos sistemas hídricos, principalmente, quando os recursos hídricos estão sob forte demanda (EMBRAPA, 2017).

O solo é um recurso muito importante para o desenvolvimento das culturas. Deste modo, o impacto das plantações de eucalipto sobre o solo depende do bioma onde se inserem e das condições prévias ao plantio. A Bacia do Pindaré está inserida no bioma da floresta amazônica.

As atividades de silvicultura têm contribuído diretamente para a supressão da cobertura vegetal e assoreamento dos rios; na bacia as áreas de APP estão sendo

afetadas, gerando um conflito institucional, considerando as bases legais (IMESC, 2021b).

Assim ao substituir florestas nativas por florestas plantadas, para uso industrial, observa-se maior degradação do solo nestas últimas, por duas razões principais:

1) de um lado, observa-se considerável extração de nutrientes armazenados nos troncos das árvores, quando é feita a colheita

2) de outro lado, por causa de seu relativo baixo índice de área foliar, o eucalipto permite que mais água chegue ao solo (em comparação com a mata atlântica), acarretando maior erosão e consequente perda de nutrientes por lixiviação (Vital, 2007).

Se, por outro lado, o eucalipto é plantado em solo já degradado por outras culturas, áreas de savana ou em pastagens, observar-se-á aumento dos nutrientes do solo, sobretudo pela mineralização da serapilheira (Palmberg, 2002). De fato, no Brasil e em outras partes do mundo, o eucalipto tem sido utilizado para aumentar a fertilidade e a aeração do solo de algumas áreas para posterior cultivo agrícola.

Os impactos ambientais do eucalipto sobre a água e o solo dependerão fundamentalmente das condições prévias ao plantio, na região onde será implantada a floresta, bem como do bioma onde será inserida e das técnicas de manejo empregadas (EMBRAPA, 2017). De acordo com tais condições iniciais, as plantações de eucaliptos podem gerar impactos ambientais benéficos ou deletérios ao meio ambiente.

Os movimentos ambientalistas têm chamado de "desertos verdes", como atesta Plantier (2013): "O conceito de deserto verde está relacionado tanto com os efeitos provocados pela desertificação como às erosões dos solos, que acompanha reveses consideráveis na biodiversidade e condições agrícolas para novos plantios (De Castro, 2015).

Especificamente no caso do Maranhão, a região mais próxima das siderúrgicas apresenta nos últimos anos um elevado investimento nas monoculturas. É comum observar nos jornais locais a publicação de licenças ambientais,

principalmente Certidões de Uso e Ocupação do Solo, emitidas pelas Secretarias Municipais de Meio Ambiente, destinadas principalmente para atividades de silvicultura e produção de carvão (De Castro, 2015).



Figura 4. Área de Silvicultura na Bacia do Pindaré. Fonte: Adriana Monteiro.

5.5 Agricultura na Bacia do Rio Pindaré

Em relação à agricultura, houve avanços também nas áreas agrícolas, o que até o ano 2000 não havia apresentado resultados em números, de acordo com o IBGE (tabela 5). Mas houve um aumento de 963,452km², o que demonstra 2% de uso da bacia (tabela 5).

O Maranhão é um grande produtor de grãos. Em relação ao arroz é o maior produtor de arroz do nordeste. Na Safra 2017/2018, o estado obteve uma área colhida de 130.386 hectares, presente em praticamente todo o território maranhense, sendo o segundo maior produtor foi Grajaú com 13.300 toneladas (município pertencente à bacia) (SAGRIMA, 2019).

Em relação à quantidade produzida de feijão (em grão), em 2018, o Maranhão alcançou a 5ª posição no Nordeste que segundo o IBGE foi de 35.534 toneladas, com uma área colhida de 69.641 hectares e um rendimento médio de 510 kg/ha. Sendo Santa Luzia município pertencente à bacia um dos 10 municípios que mais produz com 829 toneladas (SAGRIMA, 2019).

A quantidade de milho produzida na safra 2017/2018 no Brasil foi de 82,2 milhões de toneladas. O principal destino da safra são as indústrias de rações para animais, e o restante é destinado ao consumo dos brasileiros e outras produções. Os municípios de Bom Jesus das Selvas e Açailândia se destacaram na posição 9ª e 10ª dos municípios do estado como maiores produtores, acumulando cerca de 34000 e 30844 respectivamente (SAGRIMA, 2019).

O destaque inicial da produção de soja no Maranhão foi o sul do estado. A expansão da cultura se deu para a porção nordeste e agora já alcançou a porção oeste maranhense. Esta expansão fez com que o município de Açailândia passasse a fazer parte dos dez maiores produtores do estado ocupando a sexta posição, com uma produção de 123.554 toneladas e Buriticupu registrou-se uma produção de 100800 toneladas, com a oitava posição (SAGRIMA, 2019).

Em relação a frutas produzidas, o Maranhão produziu 76.345 toneladas de bananas. O município que se destacou na bacia foi Itinga do Maranhão, ocupando a sexta posição entre os dez municípios com maior produção no estado, somando 3488 toneladas (SAGRIMA, 2019).

Para o abacaxi, segundo o IBGE/2018, a área plantada no estado foi de 1.470 ha, uma produção de 31.644 mil frutos, e uma produtividade média de 23.031 frutos por hectare. O município com a maior produção foi Santa Inês ocupando a 6ª posição e produzindo 600 toneladas (SAGRIMA, 2019).

5.6 Pastagem na Bacia do Rio Pindaré

Nas áreas de pastagem houve um aumento de 26% para 40% em uso na área aumentando 5.713,701 km² na bacia e houve uma redução no uso vegetação florestal de 7.208,2 km² (tabela 5).

Nas áreas de pastagem pode-se perceber que ocorrem grandes áreas de pastagem voltadas para a bovinocultura e a região oeste do estado, principalmente na área da bacia, sendo a pastagem uma das causas de supressão da cobertura vegetal e assoreamento dos rios; na bacia, as áreas de APP estão sendo afetadas, gerando um conflito institucional (IMESC, 2021b).

Na análise da produção animal, segundo a Secretaria de Agricultura Pecuária e Pesca (SAGRIMA, 2019), pode-se perceber que nos municípios com o maior número de cabeça de gado, dos dez maiores produtores do estado do Maranhão, nove pertencem à bacia do rio Pindaré, sendo Açailândia o maior produtor do estado com 327.689 cabeças. Os outros produtores são Amarante do Maranhão (2), Santa Luzia (3), Grajaú (4), Bom Jardim (5), Arame (6), Sítio Novo (7), Barra do Corda (8), Zé Doca (9) e Buriticupu (10). Sendo apenas Sítio Novo não pertencente à bacia. Portanto, denota-se a importância do sistema de produção e a necessidade de verificar a vulnerabilidade das sub-bacias localizadas nestas áreas.

Com relação às pastagens, cerca de 20% do estado do Maranhão é coberto por áreas em diferentes estágios de degradação (Calderano Filho et al., 2018). Níveis de qualidade das pastagens dos pontos visitados nos municípios de Santa Luzia - MA e Buriticupu – MA e pôde se perceber onde apenas 13,6% das pastagens avaliadas apresentam alto nível de degradação, 44,7% média degradação e 41,7 baixa degradação (Calderano Filho et al., 2018).

A degradação das pastagens tem sido um grande problema para a pecuária brasileira, desenvolvida basicamente a pasto. Estima-se que 80% dos 50 a 60 milhões de hectares de pastagens cultivadas no Brasil encontram-se em algum estado de degradação, ou seja, em processo evolutivo de perda de vigor, sem possibilidade de recuperação natural e incapaz de sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais, bem como de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras (Carvalho et al, 2017) .

Essa degradação é consequência de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, como, preparo incorreto do solo, escolha incorreta da espécie forrageira, uso de sementes de baixa qualidade, má formação inicial, manejo inadequado e, principalmente, em razão da não reposição dos nutrientes perdidos

no processo produtivo, erosão, lixiviação e volatilização ao longo dos anos; em resumo ao uso extensivo de pastagens em que não é necessário um conhecimento técnico (Carvalho et al, 2017).

Um dos grandes desafios na área de políticas públicas é harmonizar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, de forma que a exploração dos recursos naturais não acarrete maiores danos ao ambiente e ao homem (Garg et al., 2019).

As modificações no uso da terra são importantes fatores que induzem as variações ambientais, alteram o ciclo hidrológico, degradando progressivamente o ecossistema e reduzindo a qualidade dos recursos da terra, da biodiversidade e da agricultura (Bajocco et al., 2012).

A partir do momento em que o homem começou a associar estes impactos com o mau uso do solo, surgiu o interesse em entender as causas destas catástrofes e ao mesmo tempo pensar uma forma de proteger o solo, bem como sua capacidade produtiva (Garg et al., 2019).

5.7 Fragilidade potencial ambiental

A fragilidade potencial ambiental indica que os atributos de geologia, solo e declividade são relativos às regiões mais frágeis que marcam o estado de vulnerabilidade ambiental e às condições mais suscetíveis ao processo de erosão natural existentes ao longo dos milhares de anos na conformação geomorfológica da bacia (Cassolet al., 2023).

As regiões que são consideradas com maior fragilidade potencial ambiental são aquelas em que o processo erosivo é intensificado pelo desgaste e deposição de sedimentos do solo ocasionando a transformação do solo oriundo da ação dos agentes do processo de intemperismo.

A ocorrência dos processos erosivos naturais ligados ao fenômeno do intemperismo indica maior vulnerabilidade da região, isto é a área apresenta um conjunto de elementos naturais que ocasionam a fragmentação ou deterioração da superfície terrestre em virtude da ação de agentes químicos, físicos e biológicos

(Possebon et al., 2023). Este processo está ligado à retirada e ao transporte de sedimentos da superfície que acontecem a partir das etapas de desgaste, transporte e sedimentação das rochas ou do próprio solo.

As áreas com alta fragilidade potencial ambiental são as sub-bacias 71624, 71627 (Figura 5, Tabela 5). A sub-bacia 7126, apesar da média não ser alta, a máxima dessa sub-bacia chega 3,69 (Tabela 5) e de acordo com o mapa da figura 5 é relativo a região sul da sub-bacia. Pode-se perceber que a declividade foi um fator determinante se compararmos com o mapa de declividade (Anexo 2). As áreas com maior fragilidade potencial ambiental são áreas que possuem maior declividade e são as áreas que possuem a maior vulnerabilidade.

Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Fragilidade potencial ambiental

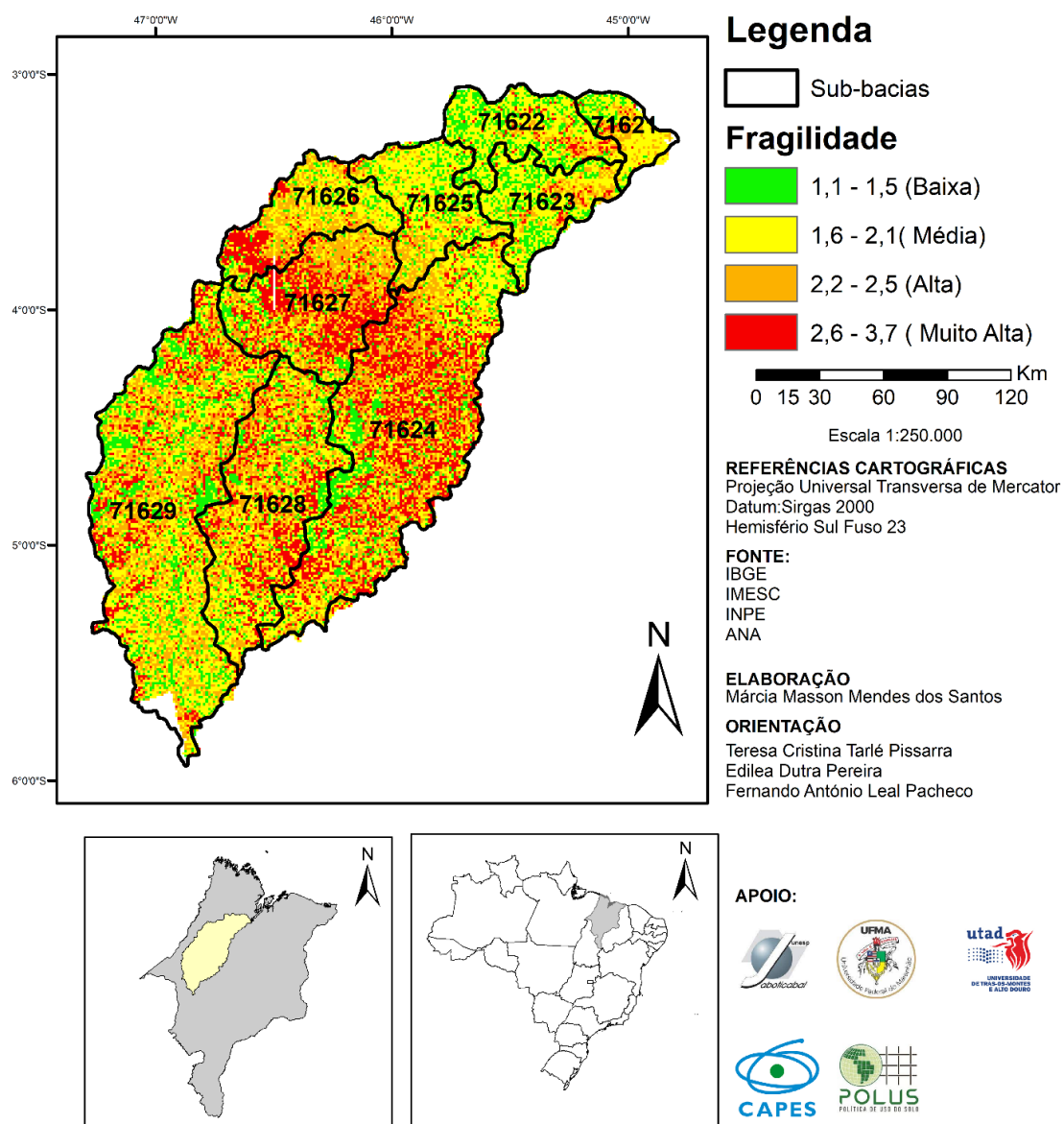


Figura 5. Mapa da fragilidade potencial ambiental da bacia hidrográfica do rio Pindaré - MA.

Tabela 6. Tabela das estatísticas descritivas da fragilidade potencial ambiental em sub-bacias do Rio Pindaré.

Sub bacia	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Erro padrão
71621	1,48	3,18	1,94	0,32	0,11
71622	1,24	3,18	1,89	0,34	0,11
71623	1,24	3,18	1,89	0,33	0,11
71624	1,12	3,46	2,25	0,53	0,18
71625	1,36	3,30	1,95	0,36	0,12
71626	1,24	3,69	2,17	0,47	0,16
71627	1,24	3,47	2,34	0,55	0,18
71628	1,24	3,43	2,12	0,52	0,17
71629	1,24	3,47	2,01	0,51	0,17

5.8 Vulnerabilidade ambiental

O conceito de vulnerabilidade ambiental está relacionado com a fragilidade natural e o uso do solo para demonstrar a ação antrópica de cada uma das unidades regionalizadas de acordo com as principais sub-bacias hidrográficas de acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), conforme Anexo 2.

Para a análise da vulnerabilidade ambiental e antrópica da bacia hidrográfica do rio Pindaré, os valores foram classificados em 5 classes. Os dados agrupados em cada classe apresentam o valor da frequência dos dados e o agrupamento foi realizado nos intervalos numéricos das classes estatísticas. A reunião dos dados contém o conjunto dos valores da vulnerabilidade de cada região, que indica a amplitude da distribuição da fragilidade natural do ambiente e da pressão antropogênica ocasionada nos anos de 2000 e 2018.

A pressão antropogênica foi analisada a partir do levantamento do uso do solo dos anos 2000 e 2018, com o intuito de verificar os efeitos resultantes do processo de exploração e do impacto da perturbação da pressão antropogênica sobre os atributos ambientais. Há diversas fórmulas, índice de vulnerabilidade e classificações (Li, 2006, Crepani et al. 2001, EMBRAPA, 2010, Pissarra et al 2021).

Os valores de vulnerabilidade ambiental variaram entre 2,4 a 8,7 sendo os valores mais baixos os mais vulneráveis e os mais altos os estáveis com base na fórmula da vulnerabilidade ambiental de Pissarra et al 2021.

Com base nos resultados encontrados, a partir da pressão encontrada em cada sub-bacia, verifica-se que a contribuição antropogênica foi classificada na região conforme as seguintes classes com base na classificação de Crepani et al. 2001, conforme Figuras 6 e 7 e Tabelas 7 e 8.

Observa-se que a vulnerabilidade nas sub-bacias 71621, 71622, 71623 e 71625 denotando no período do até o ano 2000 isto se deve, como observado no mapa de uso a pastagem, conforme Figuras 5 e Anexo 2.

A vulnerabilidade é mais intensa no ano 2018 (Figura 6) em relação ao ano 2000, o que pode ser percebido a partir das médias dos valores máximos, média geral e desvio padrão, em que houve redução destes valores, o que demonstra um ambiente caracterizado por um ambiente com maior pressão antropogênica. A pressão antropogênica é o maior indicador de vulnerabilidade que pode potencializar o risco que se refere à fragilidade ocasionada pelos atributos ambientais (Pissarra et al 2021).

Pode-se perceber que houve maior pressão antropogênica no ano de 2018 nas sub bacias 71626, 71628 e 7129, de acordo com as médias das sub-bacias em relação ao ano 2000.

Na sub-bacia 71626 foi classificada como moderadamente estável (6,15) no ano 2000 e no ano de 2018 foi classificada como medianamente vulnerável (5,64). A média na bacia 71627 foi classificada como estável (7,01) no ano 2000 e no ano 2018 medianamente vulnerável (5,66). A média na bacia 71628 foi moderadamente estável (6,03) para o ano 2000 e no ano de 2018 foi medianamente vulnerável (5,63) (Figura 6 e 7 e tabela 7 e 8). A média na bacia 71629 foi de 5,36 (Medianamente vulnerável) (Figura 6 tabela 7) e reduziu para 4,90 (Moderadamente vulnerável) no ano de 2018 (Figura 7 tabela 8). Baseado nos mapas e nas médias, pode se perceber uma maior intensificação antrópica no sul da bacia.

Pode ser percebido que essas reduções influenciaram na redução da média geral das sub-bacias, que no ano 2000 era 5,26 (Tabela 7) e reduziu para 5,21 no ano 2018 e no desvio padrão geral, de 1,34 reduziu para 0,94 (Tabela 8).

Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Vulnerabilidade Ambiental-2000

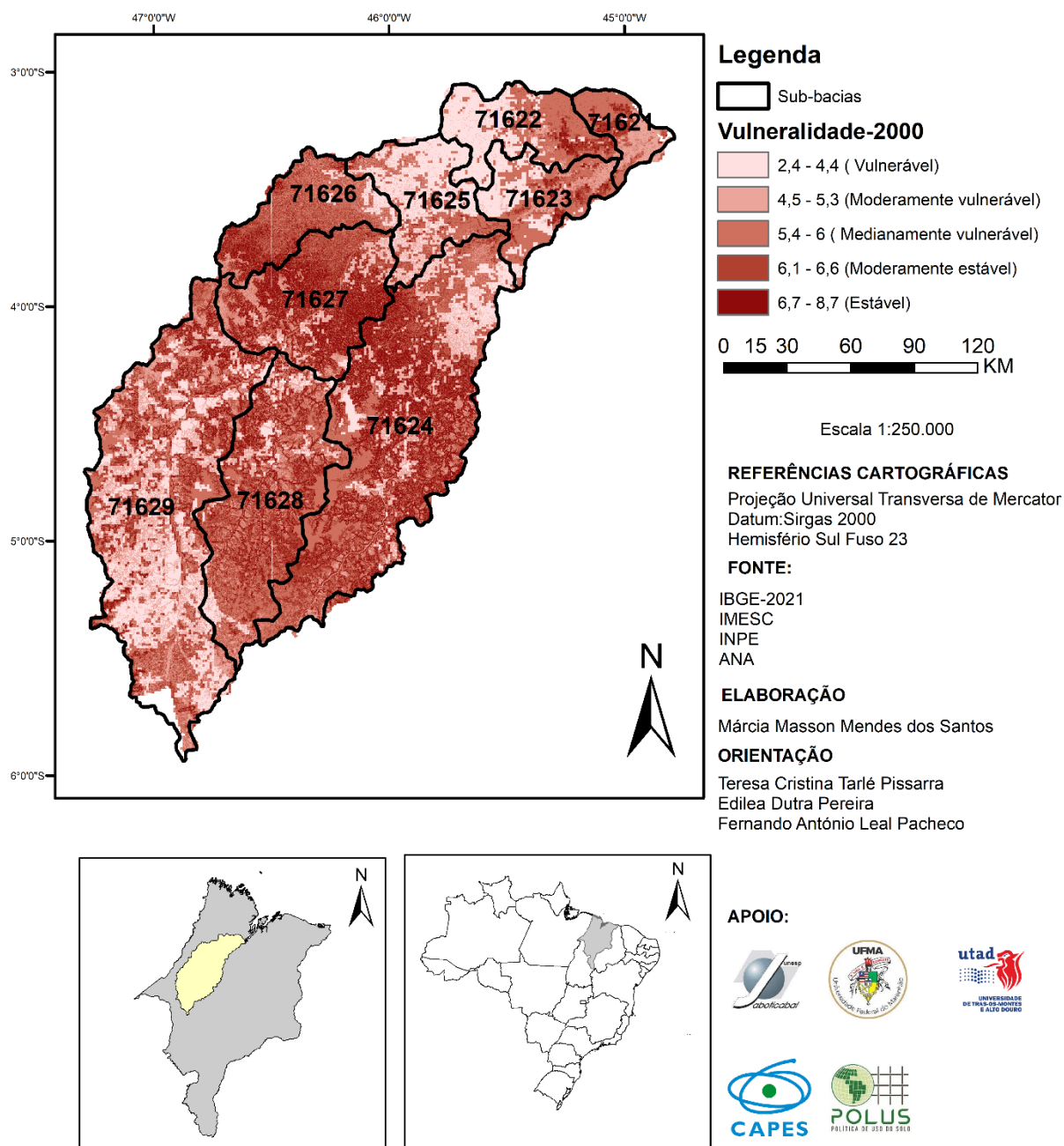


Figura 6. Mapa da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA ano de 2010.

Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Vulnerabilidade - 2018

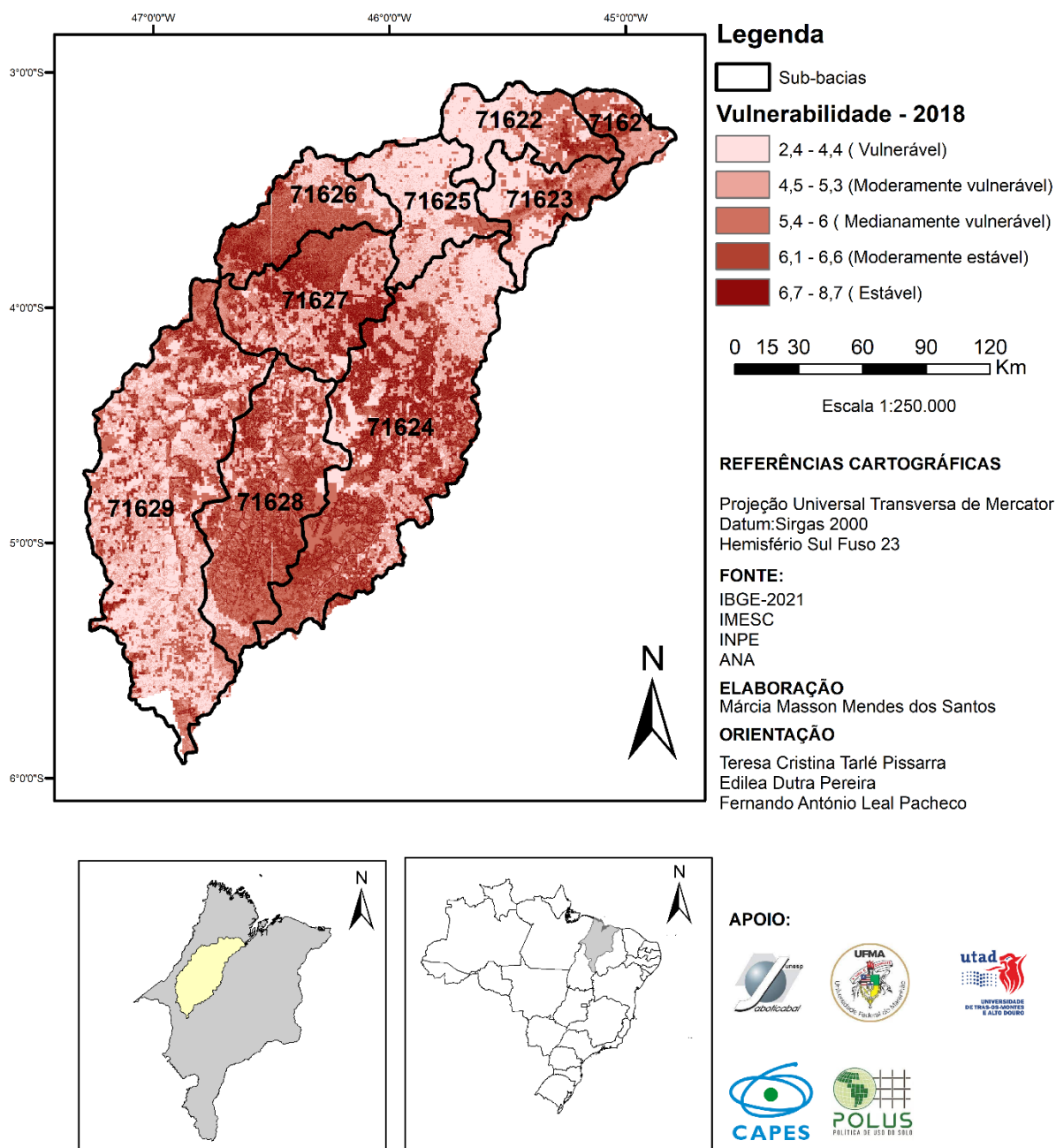


Figura 7. Mapa da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA ano de 2018.

Tabela 7. Tabela das estatísticas descritivas da vulnerabilidade ambiental em sub-bacias do Rio Pindaré nos anos 2000.

Sub-bacias	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão
71621	1,28	10,74	4,33	0,67	0,23
71622	0,96	9,14	3,76	0,94	0,31
71623	1,03	8,56	3,92	0,89	0,30
71624	1,26	18,12	6,40	2,03	0,68
71625	1,97	15,97	4,38	1,17	0,39
71626	2,14	16,21	6,15	1,36	0,45
71627	2,23	17,75	7,01	1,95	0,65
71628	1,87	15,22	6,03	1,51	0,51
71629	1,71	15,40	5,36	1,59	0,53
Média	1,61	14,12	5,26	1,34	0,45

Tabela 8. Tabela das estatísticas descritivas da vulnerabilidade ambiental em sub-bacias do Rio Pindaré no ano 2018.

Sub-bacias	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão
71621	2,59	8,17	5,48	0,81	0,27
71622	2,47	8,17	4,78	0,98	0,33
71623	2,47	8,69	4,90	0,97	0,32
71624	2,47	7,59	5,48	1,06	0,35
71625	2,47	7,37	4,46	0,75	0,25
71626	2,47	7,49	5,64	0,94	0,31
71627	2,91	7,64	5,66	0,98	0,33
71628	2,35	7,64	5,63	0,94	0,31
71629	2,35	7,64	4,90	1,02	0,34
Média	2,51	7,82	5,21	0,94	0,31

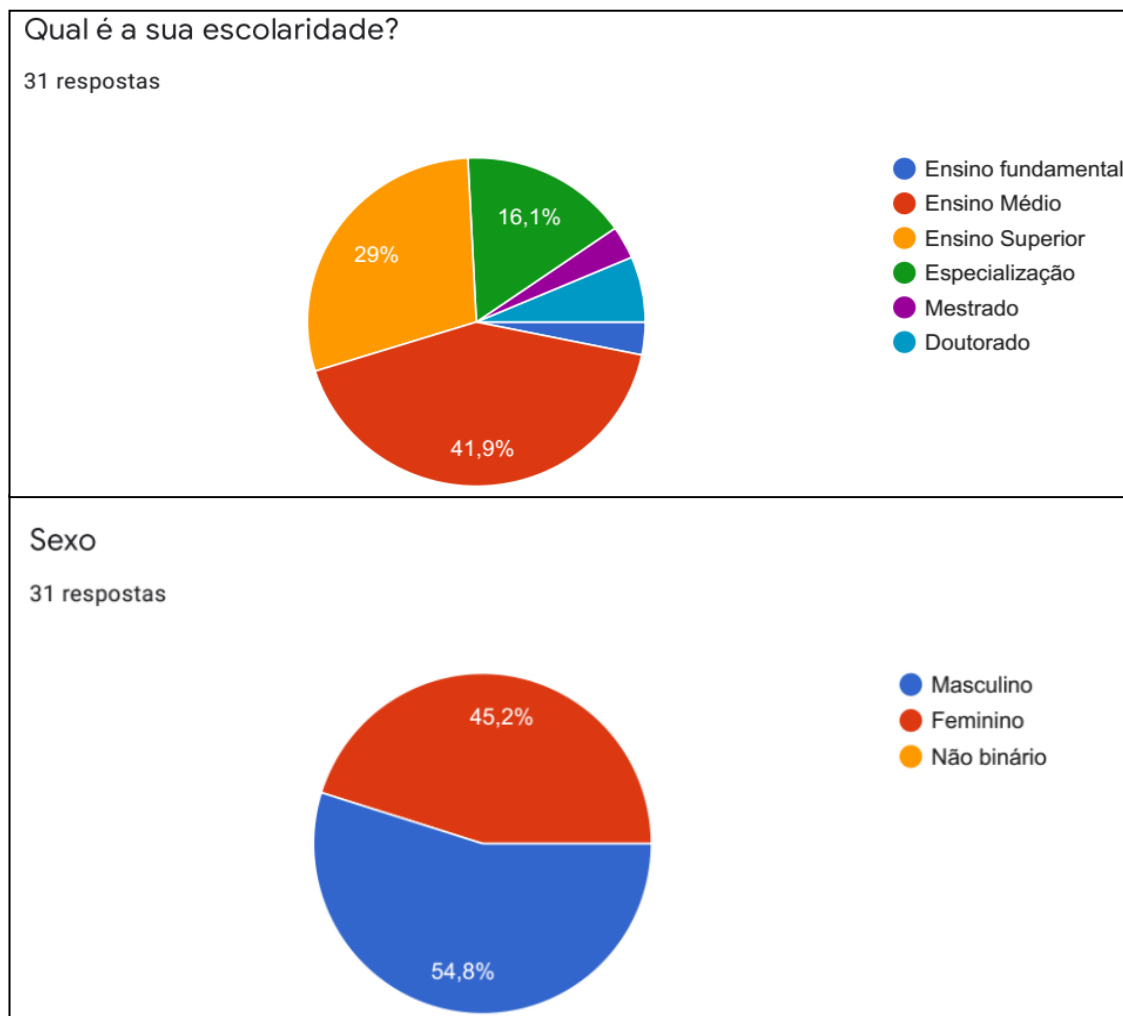
5.9 Vulnerabilidade socioambiental

Os resultados do questionário socioambiental ratificam os resultados obtidos nos mapas. Pode-se perceber nas imagens (Figuras 1 a 7) que nas últimas duas décadas na bacia do Pindaré ocorreu grandes mudanças, marcadas pelo crescimento agropecuário na região, que causaram impactos ambientais.

O questionário foi aplicado durante as audiências públicas para que as pessoas que vivem na área demonstrem a sua percepção sobre a realidade do local. O processo de desenvolvimento depende de estruturas socioeconômicas que produzem condições de vida humana. Muitos ambientes apresentam um estilo de vida mais precário e alguns ambientes estão deteriorados, se expressando também como menor capacidade de redução de riscos e baixa resiliência.

Foram entrevistadas 31 pessoas sendo 17 pessoas (54,8%) do sexo masculino e 14 pessoas (45,2%) pessoas do sexo feminino. Em relação ao nível de escolaridade, 1 pessoa respondeu ter o nível de ensino fundamental (3,2%), 13 pessoas responderam que possuem o ensino médio (41,9%), 9 pessoas responderam ter o ensino superior (29%), 5 pessoas o nível de especialização (16,1%), 1 pessoa a nível de Mestrado (3,2%) e 2 pessoas nível de doutorado (6,5%). Isso reflete o baixo índice de desenvolvimento humano na região amazônica do estado do Maranhão (0,576) (IMESC, 2020a).

Gráfico 1. Respostas do questionário sobre sexo e escolaridade.



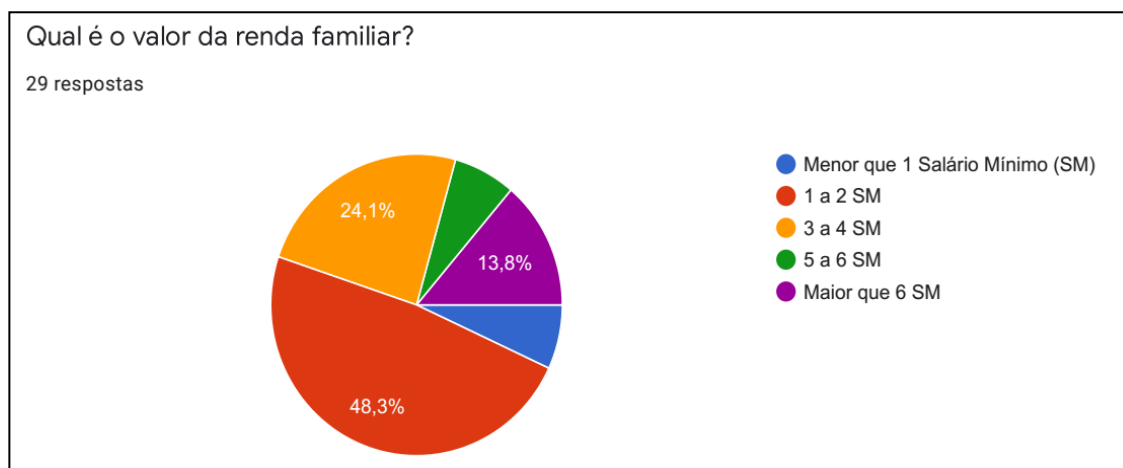
Sobre a renda familiar mensal dos moradores 2 famílias (6,9%) recebem menos de um salário mínimo, 14 famílias (48,3%) recebem de 1 a 2 salários, 7 famílias (24,1%) recebem de 3 a 4 salários, 2 famílias (6,9%) recebem de 5 a 6 salários e 4 famílias (24,1%) recebem maior que 6 salários. Pode-se perceber que grande parte da população recebe no máximo 2 salários para sustento de uma família, o que demonstra a má distribuição de renda para uma parte da população, já que é uma região produtora agropecuária (IMESC, 2021a). Na Figura 8 pode-se perceber as moradias, o que reflete nas condições socioeconômicas por parte da população.



Figura 8. Moradias na Bacia do Pindaré - MA.

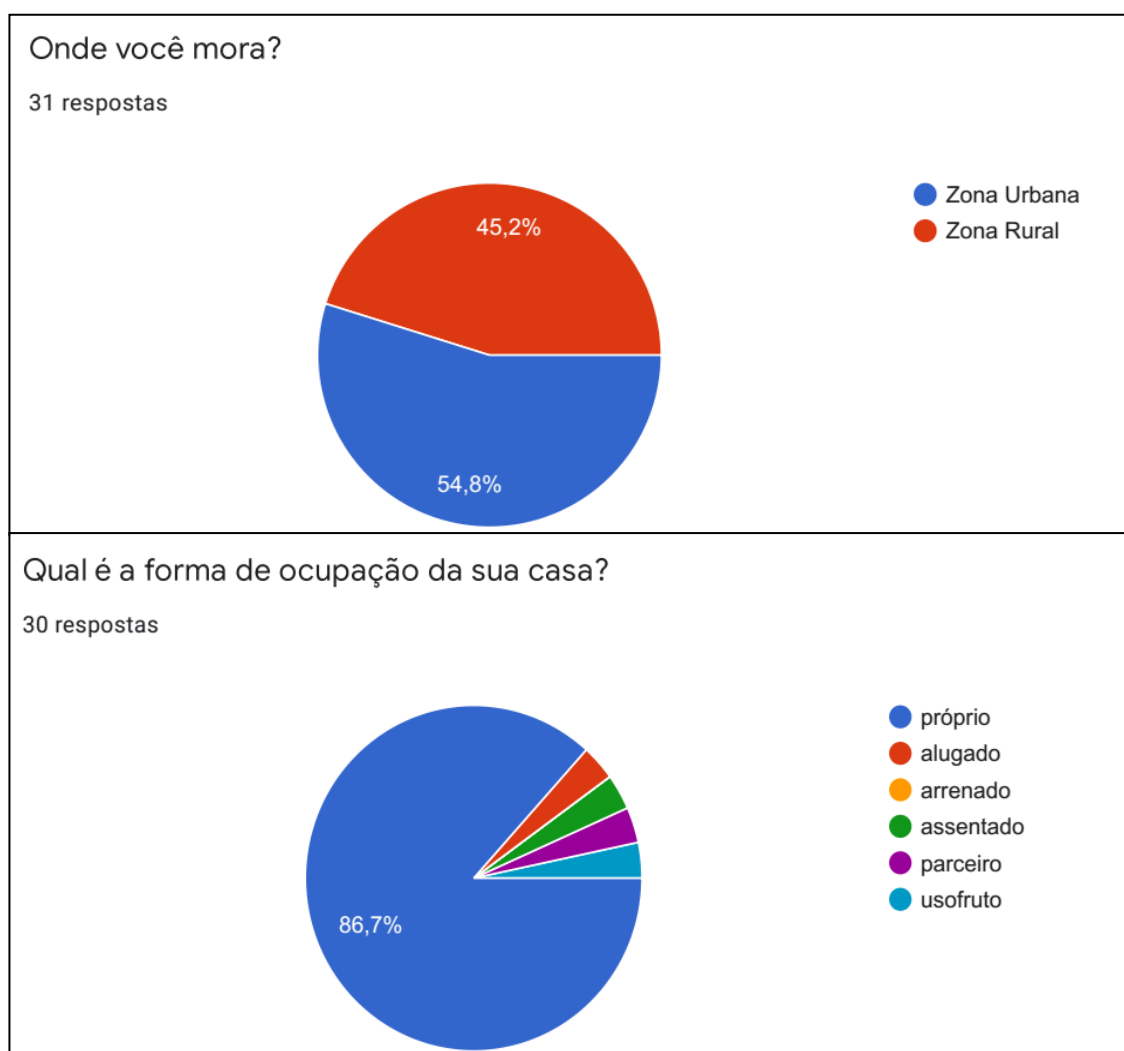
Fonte: Adriana Monteiro.

Gráfico 2. Respostas do questionário sobre renda familiar.



A localização da maior parte da população encontra-se na zona rural com 17 famílias (54,8%) e 14 famílias moram na zona urbana (45,2%). Pode-se perceber que grande parte da população permanece no campo. Em relação ao tipo de habitação, pode-se verificar pelo Gráfico 2, que 26 famílias (86,7 %) moram em casa própria, e 1 família é alugado (3,3%), 1 família é assentada (3,3%), 1 família é parceira (3,3%) e 1 família é usufruto (3,3%).

Gráfico 3. Respostas do questionário sobre localização e a forma de ocupação da casa.

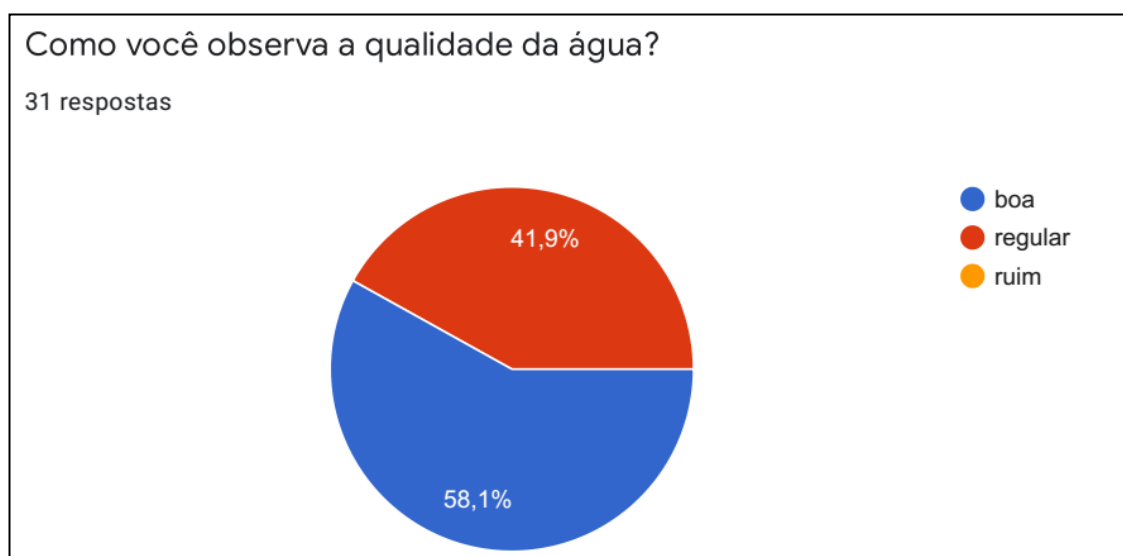


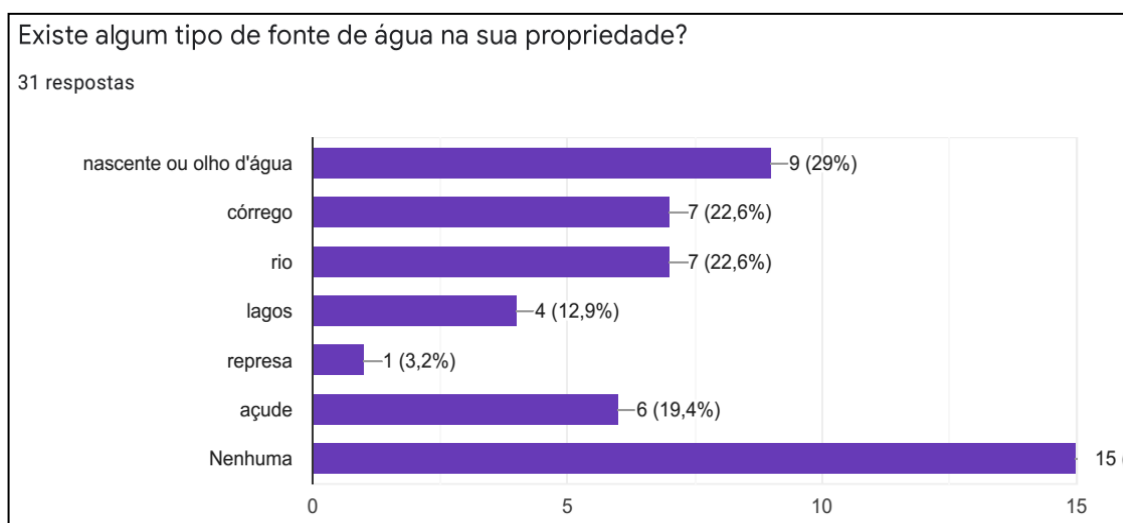
Pela observação dos entrevistados, 18 pessoas consideram a qualidade da água como boa (58,1%) e 13 pessoas consideram a qualidade da água regular (41,9%).

A pesquisa foi feita em todos os locais da bacia do Pindaré por isso apresenta-se pessoas com propriedades localizadas em várias localizações do rio.

Na nascente do rio Pindaré estão localizados 29% dos entrevistados. 22,6% dos entrevistados estão presentes no córrego e no rio; no açude são 19,4%; nos lagos são 12,9% e 3,2% em represa.

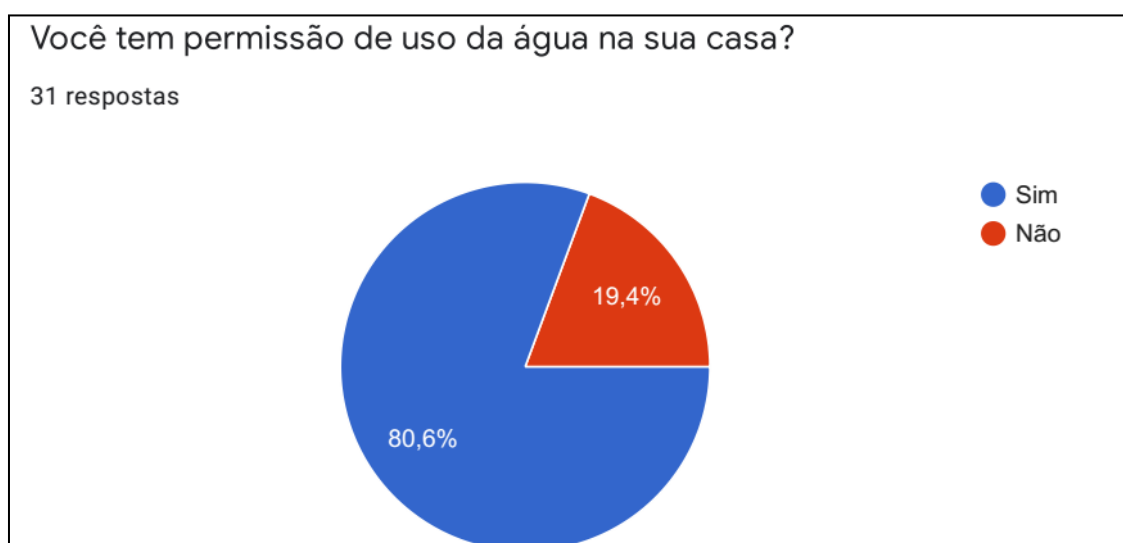
Gráfico 4. Respostas do questionário sobre a qualidade da água e a fonte que a abastece a propriedade.

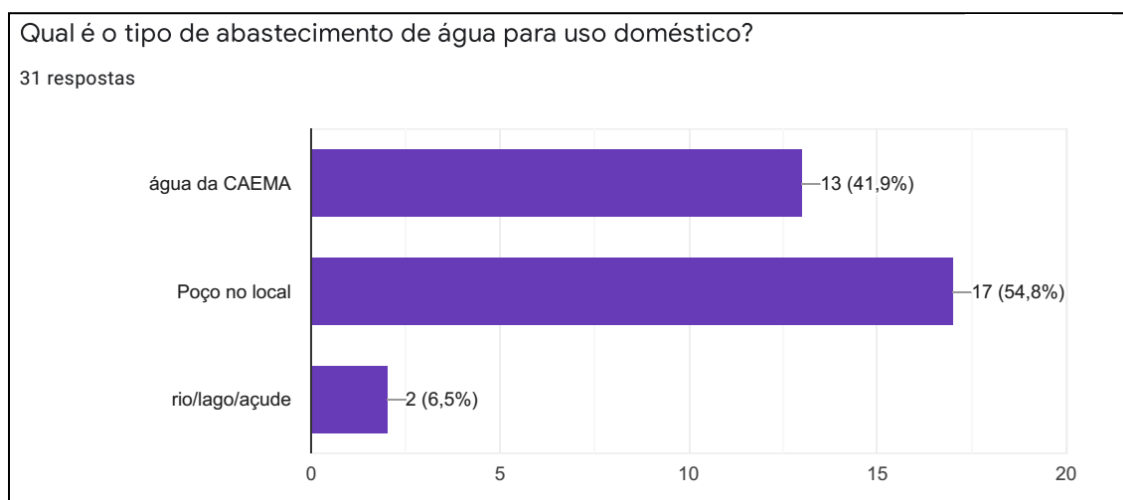




Em relação à outorga da água na sua casa, 25 pessoas relataram que têm permissão (80,6%) e 6 pessoas relataram que não tem permissão (19,4%). Dentre os tópicos analisados identificou-se que 13 residências utilizam a água distribuída pelo serviço de abastecimento do município e 17 residências utilizam poços conforme a Gráfico 5, o que demonstra, que ainda há uma parcela da população desfavorecida do serviço de abastecimento de água e esgoto.

Gráfico 5. Respostas do questionário sobre permissão do uso da água e o tipo de abastecimento. Fonte: Os autores (2022).





A prática agrícola mais utilizada são as roças (80%) entre as famílias dos entrevistados, em segundo lugar a monocultura (15%). Após o plantio direto 10% e 5% de queimada e a principal atividade na terra das famílias é a agricultura familiar com 66,7% em 14 famílias, em segundo lugar 2 famílias a pastagem (9,5%), 2 famílias com a pesca (9,5%) e 2 famílias sistemas Agroflorestal (9,5%).

Os resultados demonstraram que grande parte da população pratica o roçado, que são práticas da agricultura familiar. Apesar da agricultura familiar ser uma segurança alimentar para população, devem ser implantadas em locais adequados pois nas margens do rio Pindaré, foram relatados o cultivo de arroz, melancia e milho, ocasionando desmatamento, e consequentemente, o assoreamento no rio (Assunção et al., 2016).

Uma menor parte da população pratica a monocultura (pastagem e silvicultura), (Figura 9). Tal informação demonstra a má distribuição de renda da população da bacia e grande parte das pessoas possui renda baixa e vivem da agricultura familiar, enquanto os grandes produtores vivem com renda alta, obtida por meio da pastagem e silvicultura (De Castro, 2015).



Figura 9. Pastagem e Silvicultura na Bacia do Pindaré– MA.

Fonte: Adriana Monteiro.

Algumas pastagens estão localizadas em áreas de preservação permanente (Figura 10) causando não apenas o desmatamento das matas ciliares, mas também doenças de veiculação hídrica de origem entérica, animal ou humana, e a transmissão ocorre basicamente por rota fecal-oral (Assunção et al., 2016).



Figura 10. Pastagens nas margens do rio da Bacia do Rio Pindaré– MA.

Fonte: Adriana Monteiro.

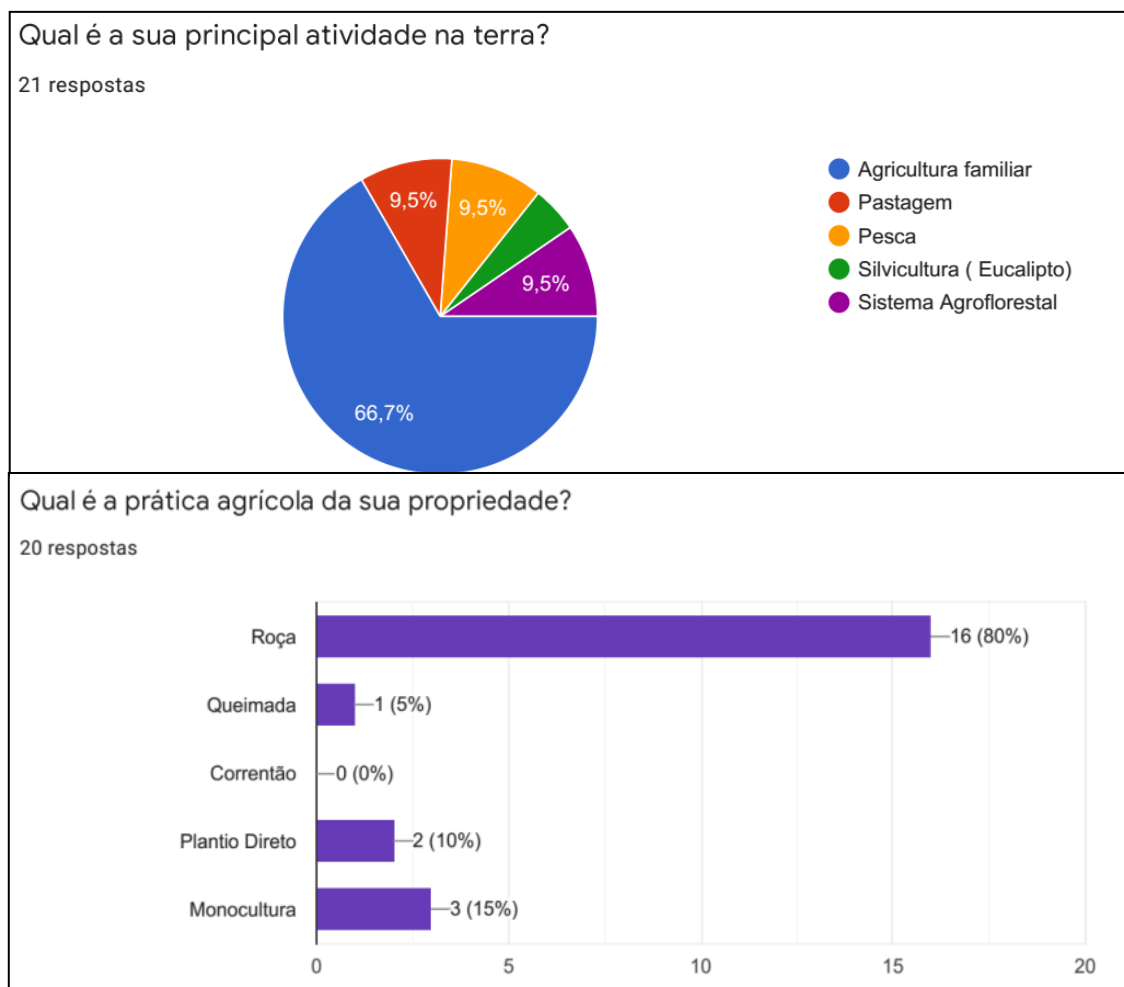
Em relação à silvicultura, especificamente no caso do Maranhão, a região mais próxima das siderúrgicas apresentou nos últimos anos um elevado investimento nas monoculturas (De Castro, 2015).

Assim o pequeno agricultor, povos indígenas e populações urbana e ribeirinha (Figura 11) acabam sendo pressionadas por estes grandes empreendimentos a alterarem seus cotidianos, para que a monocultura seja implantada, e tenha seus objetivos lucrativos concretizados, à mercê da exploração do ambiente e da pobreza local (De Castro, 2015).



Figura 11. Pescadora ribeirinha às margens de rio da Bacia do Pindaré – MA
Fonte: Adriana Monteiro.

Gráfico 6. Respostas do questionário sobre práticas agrícolas da sua propriedade e sua atividade na terra.



O problema ambiental que mais incomoda os entrevistados em primeiro lugar foi o desmatamento, relatado por 10 pessoas (32,3%); seguido das queimadas, 7 pessoas (22,6%); o assoreamento, 6 pessoas (19,4%); 5 pessoas responderam o mau uso do solo (16,1%) e 3 pessoas falta de água (9,7%). Pode-se perceber que as respostas foram bem distribuídas entre as opções, o que demonstra que a população da bacia possui vários problemas ambientais.

Podemos perceber que os problemas ambientais estão interligados, pois a redução da mata ciliar (mau uso do solo) do rio Pindaré é o que está fazendo com que ocorra uma diminuição na oferta de peixe, pois a pesca aos poucos está sendo

prejudicada, já que o nível de água (falta de água) dos rios torna-se cada vez menor com a deposição de areia em seu leito (assoreamento), proveniente da retirada de vegetação em suas margens com desmatamento e queimadas (Figura 12 e 13) (Assunção et al., 2016).



Figura 12. Assoreamento em curso d'água devido ao uso de pastagens em estágio de degradação do solo– MA. Fonte: Adriana Monteiro.



Figura 13. Queimada em área da Bacia do Pindaré. Fonte: Adriana Monteiro.

Gráfico 7. Resposta do questionário sobre permissão do uso da água e o tipo de abastecimento - MA.



O principal risco que maioria percebeu são os agrotóxicos em primeiro lugar (46,7%); em segundo lugar, o lixo com (36,7%); após a maior preocupação com erosão (30%); assoreamento (26,7%) e esgoto in natura (10%).

Devido a monoculturas na pastagem (Figura 14) e na agricultura implantadas em grandes áreas, a maior preocupação das pessoas é em relação ao agrotóxico. No município de João Lisboa (MA), foram encontrados agrotóxicos com elevado risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, portanto, há a necessidade de implantação de programas de monitoramento ambiental na região bem como da orientação dos produtores rurais quanto ao uso e manejo adequado dos agrotóxicos (Costa et al., 2021).



Figura 14. Pastagem com processo erosivo e queimadas– MA.

Fonte: Adriana Monteiro.

Em segundo lugar, a preocupação é o lixo. Devido a população não possuir saneamento básico, 60,19% das pessoas relataram que quanto ao destino do lixo, é enterrado ou queimado, alegando dificuldades de acesso dos agentes da limpeza pública às ruas do bairro para a coleta pela prefeitura (Assunção et al., 2016).



Figura 15. População vivendo às margens do Rio sem acesso a coleta de lixo da prefeitura e saneamento básico - MA.

Fonte: Adriana Monteiro.

Em terceiro lugar, devido não se respeitar as leis de APP, a erosão do solo (Figura 15) e consequentemente o assoreamento de rios (CODEVASF, 2019).



Figura 16. Processo erosivo as margens do rio da Bacia do Pindaré– MA

Fonte: Adriana Monteiro.

O quarto mais citado foi o esgoto depositado às margens e no leito do rio. Segundo os informantes, 70% da população ribeirinha despejam seu esgoto a céu aberto, drenando para o rio (Assunção et al., 2016).

O principal conflito socioambiental é a Água (33,3%), após, o Uso da Terra (26,7%), o Lixo (20%) e Esgoto in natura (20%). Como a maior parte do mundo a maior preocupação é com a água, pois sem água nenhum ser humano sobrevive, nem as plantas, seja ela para agricultura, pastagem ou silvicultura ou animais, (peixes e bovinos) que são as principais atividades da terra da população ali presente (Silva et al., 2017).

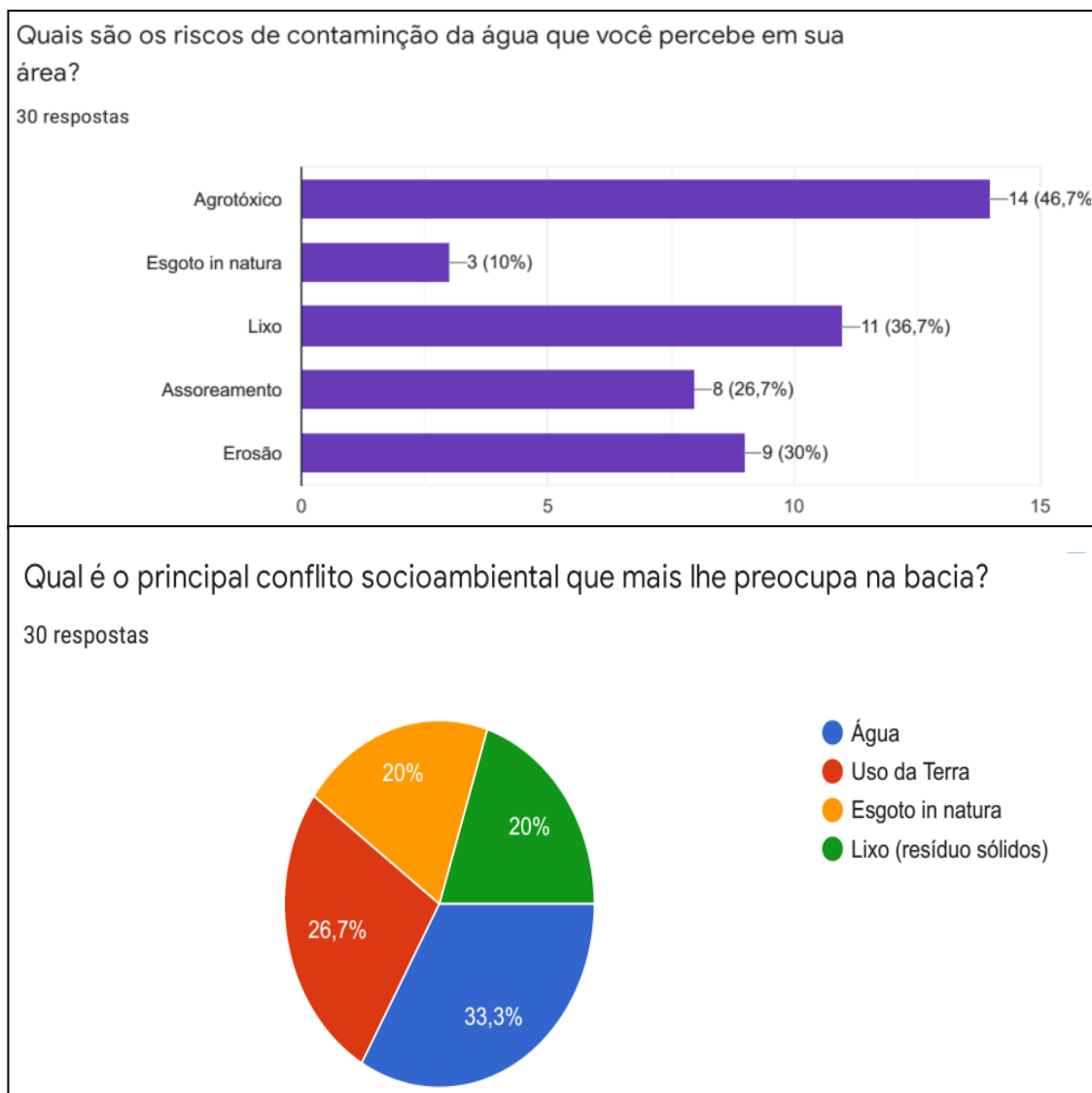
Em segundo lugar o uso do solo (Figura 16). A interação do homem com o ambiente, evidenciada pela a população, acarreta consequências dessa interligação a partir do excessivo uso de recursos naturais, o que proporciona uma redução na qualidade de vida e ambiental da população (Assunção et al., 2016).



Figura 17. Erosão do solo na Bacia do Pindaré devido ao mau uso do solo – MA.
Fonte: Adriana Monteiro.

Em terceiro lugar, somando 40%, a maior preocupação da população é o lançamento de esgoto não tratado em rios e à disposição inadequada do lixo, causando sérios problemas sanitários e de saúde pública. Segundo os moradores, casos patológicos ocorrem com maior frequência em épocas de inundação trazendo sérios problemas sanitários e de saúde pública, como diarreia (73%), gripe e resfriados (19%) e malária (8%) ocasionada pela falta de saneamento nos municípios do nosso Estado. (Conceição, 2008).

Gráfico 8. Resposta do questionário sobre risco de contaminação da água e qual o conflito socioambiental que mais preocupa.



Pode-se perceber com as respostas do questionário que houve uma dinâmica ambiental que preocupa a população que sofre as consequências da ação antrópica. E o que se pode perceber é que grande parte da população não é beneficiada financeiramente, pois parte dessa população tem baixa escolaridade, ganham de 1 a 2 salários mínimos e sua principal atividade na terra é a agricultura familiar. O que demonstra que a maior parte das áreas está nas mãos de grandes proprietários que

não têm uma preocupação socioambiental com uso da terra, levando a população a se preocupar em como essas áreas estão sendo utilizadas, de acordo com os resultados em diversas áreas (água, uso da terra, esgoto in natura, lixo), e isso acontece devido à falta de gestão ambiental e ao mau uso do solo pela população local.

Entretanto, há muitos desafios locais que deverão ser enfrentados pelas comunidades e será necessário desenvolver áreas mais específicas de estudo no âmbito da investigação sobre sistemas sociais e ambientais, nas áreas de maior vulnerabilidade, isto é, nas sub-bacias 71626, 7127, 71628 e 7129.

Com o objetivo de ilustrar a dinâmica da pesquisa sobre a vulnerabilidade dos sistemas socioambientais foi feita uma participação dos grupos de pesquisa POLUS e LEBAC para audiências públicas da Bacia do Pindaré a fim de pesquisar no local e obter informação da população ali presente.

5.10 Participação em audiências públicas

A audiência pública foi realizada para discutir a criação do pré-comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré, uma das mais importantes do Maranhão que ocorreu durante os dias 26 a 29 de outubro de 2021 nas cidades de Montes Altos, Buriticupu, Santa Inês e Viana (Anexo 1).

As Audiências Públicas de Mobilização e Capacitação no Território da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré ocorreram com o objetivo de oferecer palestras e capacitação, ministradas pela doutoranda Márcia Masson Mendes dos Santos (UNESP-FCAV), a professora Dra. Adriana Monteiro (UFMG) (Figura 17), técnicos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais do SEMA (Secretaria de Estado do Meio Ambiente).

Estavam presentes professores Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra (orientadora da doutoranda) da UNESP; Dra. Edilea Dutra Pereira (coorientadora da doutoranda) da UFMA e Dr. Fernando António Leal Pacheco (coorientador da doutoranda) da UTAD, (Figura 15).



Figura 18. Audiência pública do no município de Montes Altos na aldeia Krikati.

Também estavam presentes na audiência, membros da diretoria do Comitê de Bacia Hidrográfica: o presidente Raimundo Nonato Moraes Andrade, do Movimento Arariba; a Secretária Executiva Mariana Teixeira Guimarães do Centro de Trabalho Indigenista – CTI; a Auxiliar Secretaria II Valdineide Almeida Nascimento, Secretária Municipal de Meio Ambiente de Bom Jesus das Selvas - MA; e a Assessoria de Comunicação FONASCCBH, que são componentes do sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que representam a materialização da gestão descentralizada e participativa, prevista como um dos princípios da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos.

Durante todo o trajeto do sul (Montes Altos na aldeia indígena dos Krikatis) ao norte (município de Viana) do estado (Figura 16 à Figura 19), foram feitas coletas de dados sociais e ambientais através de questionários e imagens em fotos que foram utilizados como parte de dados para a presente pesquisa.

Durante as audiências, foram demonstrados pela doutoranda os mapas relativos à sua pesquisa de doutorado e foram debatidos os prejuízos ambientais sofridos pelo rio ao longo dos anos entre eles, o assoreamento, a erosão do solo e a

influência da água salgada no rio, bem como os impactos na vida das comunidades que moram às suas margens e, foram discutidas com a comunidade, práticas sustentáveis a serem implantadas.

6. CONCLUSÃO

O uso de técnicas de geoprocessamento, aliadas ao diagnóstico em campo, é eficiente para detectar na bacia hidrográfica do rio Pindaré a vulnerabilidade socioambiental, a qual foi apresentada nos mapas em região espacial entre os grupos populacionais carentes (vulnerabilidade social) e áreas de risco ou degradação ambiental (vulnerabilidade ambiental).

Na bacia do rio Pindaré ocorre locais mais frágeis do ambiente e a ferramenta de geoprocessamento foi eficiente para a análise e apresentação das mudanças no uso do solo.

A mudança da paisagem ocorre ao longo dos anos devido a ação antrópica, principalmente pela substituição de áreas da Floresta Amazônica por pastagem.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As sub-bacias mais vulneráveis nos anos de 2000 e 2018 são as 71622, 71623, 71625, 71629. A sub-bacia 71622 é composta pelos municípios de Monção, Zé Doca, Pedro do Rosário, Penalva e Araguanã. A sub-bacia 71623 integra os municípios, Monção, Vitoria do Mearim, Cajari, Santa Inês, Igarapé do Meio, Pindaré- Mirim, Turilândia, Bela vista do Maranhão. Pertencem à sub-bacia 71625 os municípios de Governador Newton Bello, Bom Jardim, Alto Alegre do Pindaré. E os municípios integrantes da sub-bacia 71629 são: Bom Jardim, Itinga do Maranhão, Açailândia, Amarante do Maranhão, Bom Jesus das Selvas, João Lisboa, Senador La Roque, Buritirana e Montes Altos. O que observa-se como consequência são áreas pastagem que cada vez vem avançando mais e abrangendo áreas maiores.

As Áreas de Preservação Permanente necessitam de medidas de proteção e reflorestamento, para que as futuras gerações possam usufruir de sua água, peixes, floresta e animais, o que sugere que as áreas sejam preservadas.

Por meio dos mapas de vulnerabilidade, tabelas e questionários verificou-se que houve uma intensificação do mau uso do solo, havendo necessidade de gestão ambiental para os usos dos solos colocando em prática as leis para que possam proteger ou amenizar a degradação dos rios e da floresta para a atual geração que já sofre as consequências, e às futuras gerações.

Espera-se que este trabalho contribua para definir uma área para planejamento ambiental, principalmente o estudo da bacia hidrográfica que deve considerar, além das questões físicas, os demais aspectos econômicos, sociais, culturais e políticos, característicos de cada localidade.

Recomenda-se respeito às áreas de preservação permanente, áreas de Unidades de Conservação e utilização técnicas de pastagem intensiva que terão maior índice por hectare e maior rendimento de carcaça no período de terminação podendo utilizar o manejo rotacionado, assegurando um período de recuperação entre áreas das pastagens desta forma garantido lucro e maior sustentabilidade ao solo e ao meio ambiente.

8 REFERÊNCIAS

- Assunção MM, Barreto LN, Addum FM, Feitosa AC, Rodrigues ZMR (2016). Diagnóstico socioambiental de uma população ribeirinha urbana do rio pindaré, estado do Maranhão. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**2:96-114
- Almeida JL, Bezerra JFR, dos Santos JDRC (2022). Avaliação das mudanças no uso da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu na região amazônica maranhense. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 15:1965-1977.
- ANDRADE DJ, SOUZA AAM, GOMES C (2019) Análise temporal da expansão urbana nos municípios do vale do paraíba paulista **Mercator**, v:1-15.
- Da Silva Anjinho P, Barbosa MAGA., Costa CW, Mauad FF (2021). Environmental fragility analysis in reservoir drainage basinland use planning: A Brazilian basin case study **Land Use Policy**100:104946.
- Ayer JEB, Garofalo DFT, Olivetti D, Silva MLN, Mincato RL (2017) Evolução do uso e cobertura do solo do município de alfenas, sul de minas gerais. In: Ferreira M. F. M.; vale a.r. (org.). **Dinâmicas geográficas no sul de Minas Gerais**. (Ed) Curitiba: p. 110-130
- BARBOSA F (2014) **Degradação ambiental a partir da transposição do Rio São Francisco no Eixo Leste na cidade de Monteiro-PB**.
- Barnes AP, Thomson SG, Ferreira J (2020) Disadvantage and economic viability: characterising vulnerabilities and resilience in uplandfarming systems. **Land Use Policy** 96:104698.
- Barros A, Silva B, Silva E. (2021). A leitura de visualidades indígenas por meio do grafismo guajajara: notas preliminares para interpretação. **Revista Interdisciplinar Internacional de Artes Visuais** 8:153–166.
- Berroueta L, Villegas-Palácio BC, Botero V. (2020) Vulnerability of Rural Communities to Change in an Ecosystem Service Provision: Surface watersupply. A Case Study in the Northern Andes, Colombia. **Land Use Policy** 97:104737.
- Caldas AM, Pissarra, TCT, Costa, RCA, Neto F, Zanata M, Parahyba R, Pacheco FA (2018) Flood vulnerability, environmental land use conflicts, and conservation of soilandwater: A study in the Batatais SP municipality, Brazil **Water** 10:1357.

Carlados S, Tacnet, JM, Batton-Hubert M, Dezert J, Marco O (2019) Managing protection in torrential mountain watersheds: A new conceptual integrated decision-aiding framework **Land Use Policy** 80:464-479.

Carvalho WTV, Minighin DC, Gonçalves LC, Villanova DFQ, Mauricio RM, Pereira RVG (2017) Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Pubvet** 11:0947-1073.

Cassol CJ, de Arruda EJ, Alovisi AMT, Rodrigues CM, Abrão RS DS (2023) Utilização de variáveis físico-químicas do solo para o mapeamento da fragilidade potencial e ambiental na bacia hidrográfica do rio Ivinhema **Revista Brasileira de Geografia Física** 16:466-488.

Celentano D, Rousseau, GX, Muniz FH, Van Deursen Varga I, Martinez C, Carneiro MS, Martins MB (2017) Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil **Land use policy** 68:692-698.

Celentano D, Miranda MV, Mendonça EN, Rousseau GX, Muniz FH, Loch VDC, .Martins MB. (2018). Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi" - A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados** 32:315-339.

Chaer G, Diniz RRP, Ribeiro EA (2012) A técnica do questionário na pesquisa educacional **Revista Evidência** 7.

CIMI – Conselho Indigenista Missionário. Relatórios de Violência Contra os Povos Indígenas. Brasília: CIMI, 2017. Disponível em: <<http://www.cimi.org.br>>.

CODEVASF, Plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do rio Mearim, 2019

CONCEIÇÃO FS (2008) **Caracterização e avaliação sócio-ambiental da sub-bacia do rio Boa Hora no município de Urbano Santos** - MA. 52 f. Monografia (Graduação em Ciências Aquáticas) – UFMA, São Luís.

Comissão Europeia, 2010 Comissão Europeia **Eurostat Regional Yearbook 2010** Serviço de Publicações da União Europeia, Luxemburgo (2010)

Costa KSP, Bezerra VLAR, COSTA H, SOUSA C (2011). Estudo da potencialidade hídrica da Amazônia maranhense através do comportamento de vazões. **Anais: Amazônia Maranhense: diversidade e conservação**. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará, 70-88.

Costa SO, Souza CN, Orlanda JFF (2021) Estudo da vulnerabilidade dos recursos hídricos por agrotóxicos na bacia hidrográfica do Rio Pindaré, João Lisboa, Maranhão, Brasil. **Research, Society and Development**10:e576101220598 - e576101220598.

CREPANI, E, MEDEIROS JD, HERNANDEZ FILHO P, FLORENZANO TG, DUARTE V, BARBOSA CCF (2001) Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 124p.

Dantas ME, Armesto RCG, SILVA CRD, Shinzato E (2015) Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. **Terra e didática** 11p.

De Aquino SL (2013)Contrapondo interpretações de agricultores e pesquisadores sobre possíveis problemas ambientais causados pelo cultivo de eucalipto. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 28:12-143.

De Castro RA (2015) A "MONO" CULTURA DA INDUSTRIALIZAÇÃO NA AMAZÔNIA MARANHENSE DO SÉCULO XXI **Contribuciones a lãs Ciencias Sociales**.

Deschamps M (2008) Estudo sobre a vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba **Cadernos metrópole**191-219p.

Calderano Filho B, Baca J, De Freitas Acr, Costa B, Fontana A, Balieiro Fdc, Donagemma G (2018) **Caracterização de pedoambientes da mesorregião oeste maranhense, microrregião de Pindaré sob diferentes níveis de pastagens**. Embrapa Cocais-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E).

Embrapa 2017: De Oliveira YMM, De Oliveira EB, Yeda Maria Malheiros De Oliveira, CNPF, De Oliveira EB **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**.

Embrapa 2010: de Figueiredo MCB, Vieira VPPB, Mota FSB, Rosa MDF,de Sousa SAM(2010). **Análise da vulnerabilidade ambiental**. Embrapa Agroindústria Tropical 47p

Embrapa 2018: **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** SANTOS HGDos JACOMINE PKT, ANJOS LHC, Dos OLIVEIRAVA, De LUMBRERAS JF, COELHO MR, ALMEIDA JA, De ARAUJO FILHO JC, De OLIVEIRA JB, De CUNHA TJF.Brasília, DF; 5. ed. rev. e ampl.

ESTEVEES CJO, 2011. Risco e vulnerabilidade socioambiental: aspectos conceituais. **Caderno IPARDES - estudos e Pesquisas**1: 62-79.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Programas no Brasil. Brasília: FAO; 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/pt/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

França DAF, dos Santos VC, de Souza Costa CEA (2022). ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NO LESTE DA AMAZÔNIA. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, 16, 022016.

Freitas CM, Carvalho ML, Ximenes EF, Arraes EF, Gomes JO, (2012) Vulnerabilidade Socioambiental, Redução de Riscos de Desastres e Construção da Resiliência - lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, 17:1577-1586

Křeček J, Haigh M (2019). Land use policy in headwatercatchments. **Land use policy** 80:410-414.

IMESC 2019: **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 2020a: **Relatório Técnico de Socioeconomia do Zoneamento Ecológico Econômico do Maranhão (ZEE-MA) - Etapa Bioma Amazônico**. Dionatan Silva Carvalho; Paulo Henrique de Aragão Catunda; Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias (coordenadores). São Luís.

IMESC, 2020b **Enciclopédia dos Municípios Maranhenses**: região de desenvolvimento da Amazônia Maranhense. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – IMESC. São Luís.

IMESC 2021a: **Desempenho de extração vegetal e silvicultura maranhense em 2020**. São Luís.

IMESC 2021b: **Relatório Técnico de Ocupação, Uso e Cobertura da Terra do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) – Etapa Bioma Amazônico**. Antônio José de Araújo Ferreira; Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias; Paulo Henrique de Aragão Catunda; (coordenadores). São Luís.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). Global warming of 1.5° C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global Green house gas emission pathways, in the

context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. **Intergovernmental Panel on Climate Change**.

Janczura R (2012) Risco ou vulnerabilidade social?. **Textos & Contextos (Porto Alegre)** 11:301-308.

Klein EL, Sousa CS (Org.) **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG**, Escala 1:750.000. Belém: CPRM, 2012.

Li A, Wang A, Liang S, Zhou W (2006) Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS - A case study in the upper reaches of Minjiang River, China. **Ecological Modelling** 192:175-187.

Malhado AC, Costa MH, Correia RA, Malhado AC, de la Fuente MF C, da Costa AM, Ladle RJ (2017). Are capacity deficits in local government leaving the Amazon vulnerable to environmental change? **Land Use Policy** 69:326-330.

MEA – Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. Copyright © 2005 World Resources Institute. <https://www.millenniumassessment.org/en/index.html>

Mendes JM, Tavares AO (2011) Risco, vulnerabilidade social e cidadania. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, 05-08.

Mendonça F, Leitão SAM (2008). Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos **GeoTextos** 4.

Moledo JC, Saad AR, Dalmas FB, Arruda RDOM, Casado F (2016). Impactos ambientais relativos à silvicultura de eucalipto: uma análise comparativa do desenvolvimento e aplicação no plano de manejo florestal. **Geosciences** 35:512-530.

Nascimento NS, Vieira EM, Gonçalves JAC, Cunha GDPQ (2016) Estudo da vulnerabilidade ambiental em um micro bacia hidrográfica empregando hierarquia nominal e operador local. **Revista Brasileira de Geografia Física** 9:897-916.

Pacheco FAL, Fernandes LFS, Junior RFV, Valera CA, Pissarra TCT (2018) Land degradation: Multiple environmental consequences and routes to neutrality. **Current Opinion in Environmental Science & Health** 5:79-86.

Palmberg-Lerche C (2002). Annotated bibliography on environmental, social and economic impacts of Eucalypts. Planted Forests and Trees Working Papers (FAO).

PEIXOTOAL, LUZ JRP, BRITO MA (2016) Conhecendo a biodiversidade Brasília: MCTIC, CNPq, PPBio,

Petrescu-Ma RM, Petrescu DC, Azadi H, Ioan VP (2018) Agricultural land use conflict management - Vulnerabilities, law restrictions and negotiation frames. A wake-up call, **Land Use Policy** 76:600-610.

Pissarra TCT, Valera CA, Costa RCA, Siqueira HE, Martins Filho MV, Júnior V, Pacheco FAL (2019) Regression model of stream water quality based on interactions between landscape composition and riparian buffer width in small catchments. **Water**, 11:1757.

PLANTIER RD (2013) **Deserto Verde: conceito, danos ao meio ambiente e problemática da celulose.**

PNUD (2013). Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Ranking – **Todos os estados – IDH 2010.**

Raiol LL, Ferreira M.T, Santos DCR, Hayashi SN (2022). Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Caripi, Zona Costeira Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 15:2354-2370.

Possebon LC, de Mendonça LFF, de Freitas RAP, Nervino M, Melo DHCT, Machado AA, Lentini CAD (2023). Estudo sobre o impacto do clima de ondas nos processos erosivos da costa do município de Vera Cruz (BA), Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** 16:325-342.

Roncancio DJ, Cutter SL, Nardocci AC (2020). Social vulnerability in Colombia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50:101872.

SAGRIMA 2019: Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Pesca- **Perfil da Agropecuária Maranhense.**

Santos LJC, Oka-Fiori C, Canalli NE, Fiori AP, da Silveira CT, da Silva JMF (2007) Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná **Brazilian Journal of Geology** 37:812-820.

Silva Junior CHL, Heinrich, VHA, Freire ATG, Broggio IS, Rosan TM, Doblas J, Aragão LEOC (2020). Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. **Scientific Data**, 7:269.

Silva, C. A., Klauberg, C., Hudak, A. T., Vierling, L. A., Liesenberg, V., Carvalho, S. P. E., & Rodriguez, L. C. (2016). A principal component approach for predicting the stem volume in Eucalyptus plantations in Brazil using air borne LiDAR data. *Forestry*: na **International Journal of Forest Research** 89:422-433.

Silva MRC, da Silva LV, Barreto LN, Rodrigues EHC, de Miranda RDCM, Bezerra DS, Pereira DCA (2017) Qualidade da água da bacia do rio Pindaré, nos trechos correspondentes aos municípios de Pindaré-Mirim, Tufilândia e Alto Alegre no estado do Maranhão **Águas Subterrâneas** 31:347-354.

SOUZA, LAÍS GONÇALVES DE Gestão de Unidades de Conservação e Terras Indígenas entre disputas, tensões e conflitos: as situações da REBIO Gurupi e das TIs Alto Turiaçu, Awá e Caru no Maranhão, 2017

SZEWRĄŃSKIS, KAZAK JK (2020) Socio-environmental vulnerability assessment for sustainable management. **Sustainability** 12:7906.

Tambosi LR (2008) **Análise da paisagem no entorno de três unidades de conservação: subsídios para a criação da zona de amortecimento**. Tese de Doutorado -USP.

UEMA 2002: **Atlas do Maranhão** Laboratório de Geoprocessamento – LABGEO. 2. ed. São Luís: Geplan.

Valera CA Pissarra TCT Martins Filho MV, Valle Junior RF, Sanches Fernandes DLF, Pacheco FAL (2017) A legal framework with scientific basis for applying the 'polluter pays principle' to soil conservation in rural watersheds in Brazil. **Land Use Policy**, 66:61-71,.

VALLE JÚNIOR RF, GALBIATTI JA, PISSARRA TCT, MARTINS FILHO MV (2013) Diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Uberaba. **Global Science and Technology**, Rio Verde 6:40-52.

VALLE JÚNIOR R.F.; VARANDAS S.G.; PACHECO F.A.; PEREIRA V.R.; SANTOS C.F.; CORTES R.M.; FERNANDES L.F.S. Impacts of land use conflicts on river in ecosystems. **Land Use Policy**, 43, 48-62, 2015a.

Vital MHF (2007) Impacto ambiental de florestas de eucalipto **Revista do BNDES** 14:235-276.

Vommaro F, Menezes JA, de Lima Barata MM (2020) Contributions of municipal vulnerability map of the population of the state of Maranhão (Brazil) to the sustainable development goals **Science of The Total Environment**, 706:134629.

ZANELLA M.E, OLÍMPIO J.L, COSTA M.C.L, DANTAS E.W.C (2013) Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE **Sociedade & Natureza**, 25:317-332.

LOPES G.A (2019) **Micromorfologia de Paleossolos Aluviais da Formação Itapecuru (Albiano da Bacia do Parnaíba)** 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geologia) - UFRJ, Rio de Janeiro.

ANEXO 1

Questionário

1. Sexo
2. Qual é a sua escolaridade?
3. Qual é o valor da renda familiar?
4. Onde você mora?
5. Qual é a forma de ocupação da sua casa?
6. Como você observa a qualidade da água?
7. Existe algum tipo de fonte de água na sua propriedade?
8. Você tem permissão de uso da água na sua casa?
9. Qual é o tipo de abastecimento de água para uso doméstico?
10. Qual é a prática agrícola da sua propriedade?
11. Qual é a sua principal atividade na terra?
12. Qual é o problema ambiental que mais te incomoda?
13. Quais são os riscos de contaminação da água que você percebe em sua área?
14. Qual é o principal conflito socioambiental que mais lhe preocupa na bacia?

IMAGENS RELACIONADAS



Audiência pública na aldeia Krikati localizada no município de Montes Altos-MA.



Audiência pública do no município de Buriticupu-MA.



Audiência pública do no município de Santa Inês-MA.



Audiência pública do no município de Viana-MA.

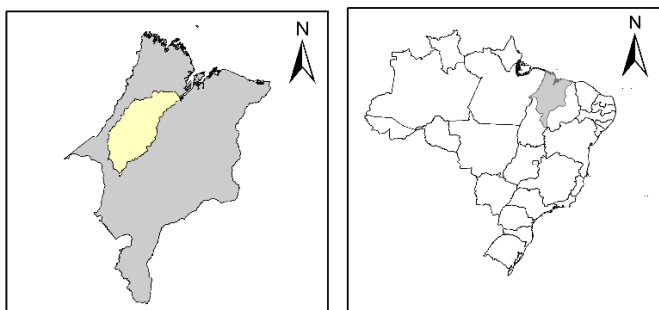
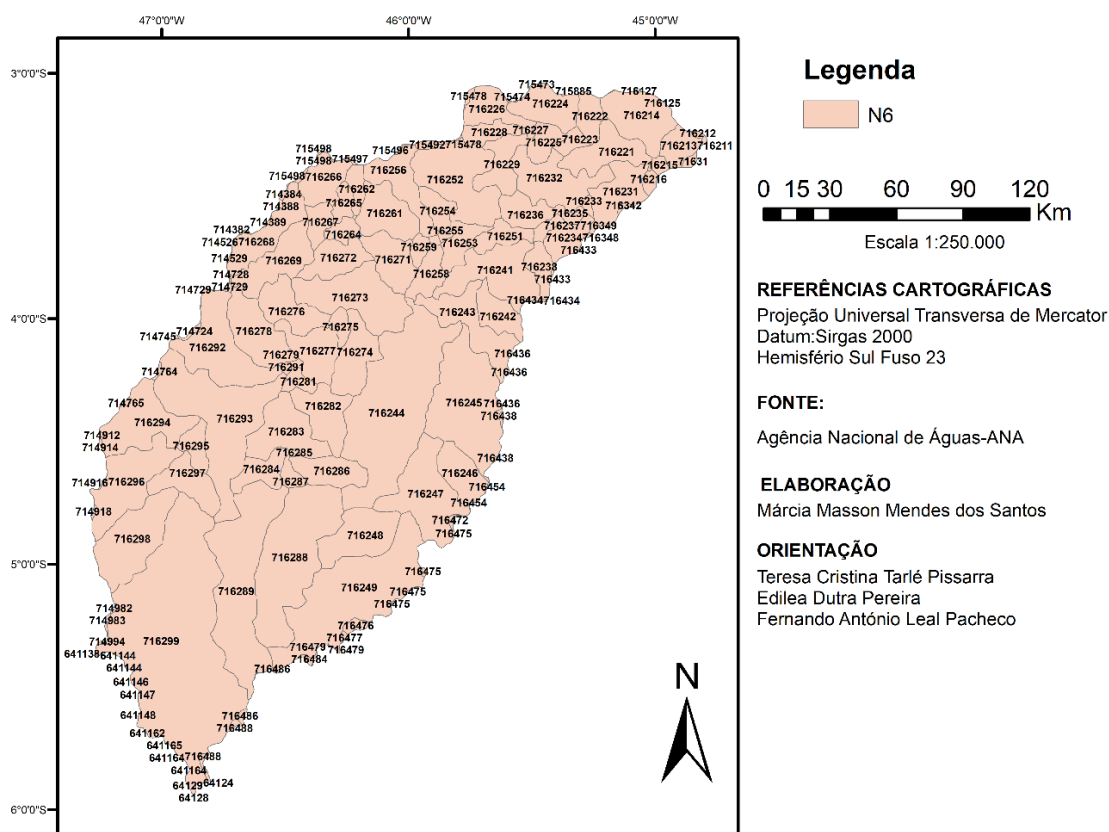
ANEXO 2

Mapas Temáticos

Sub-bacias

Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Base Hidrografica Ottocodificada (BHO)

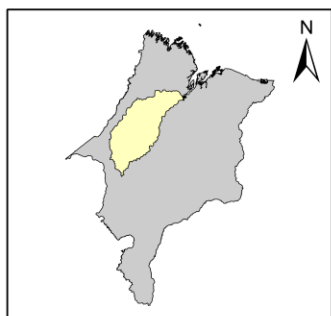
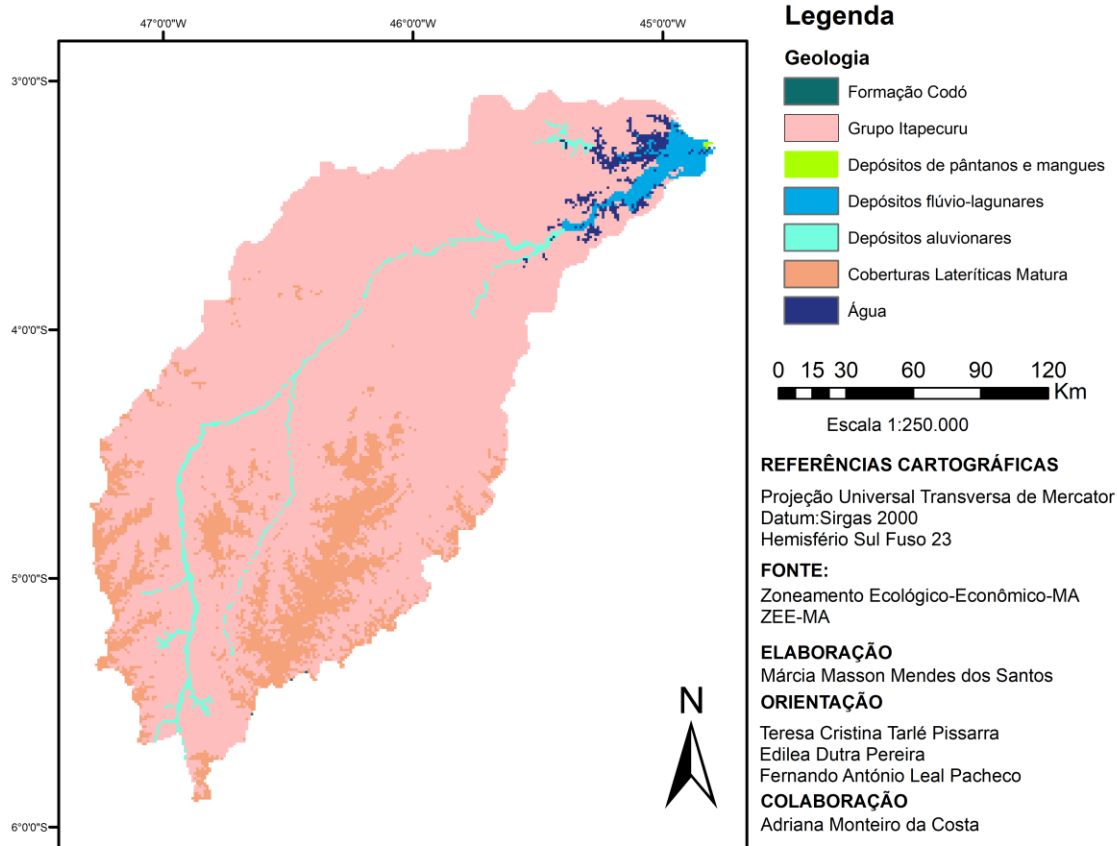


APOIO:



Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Geologia

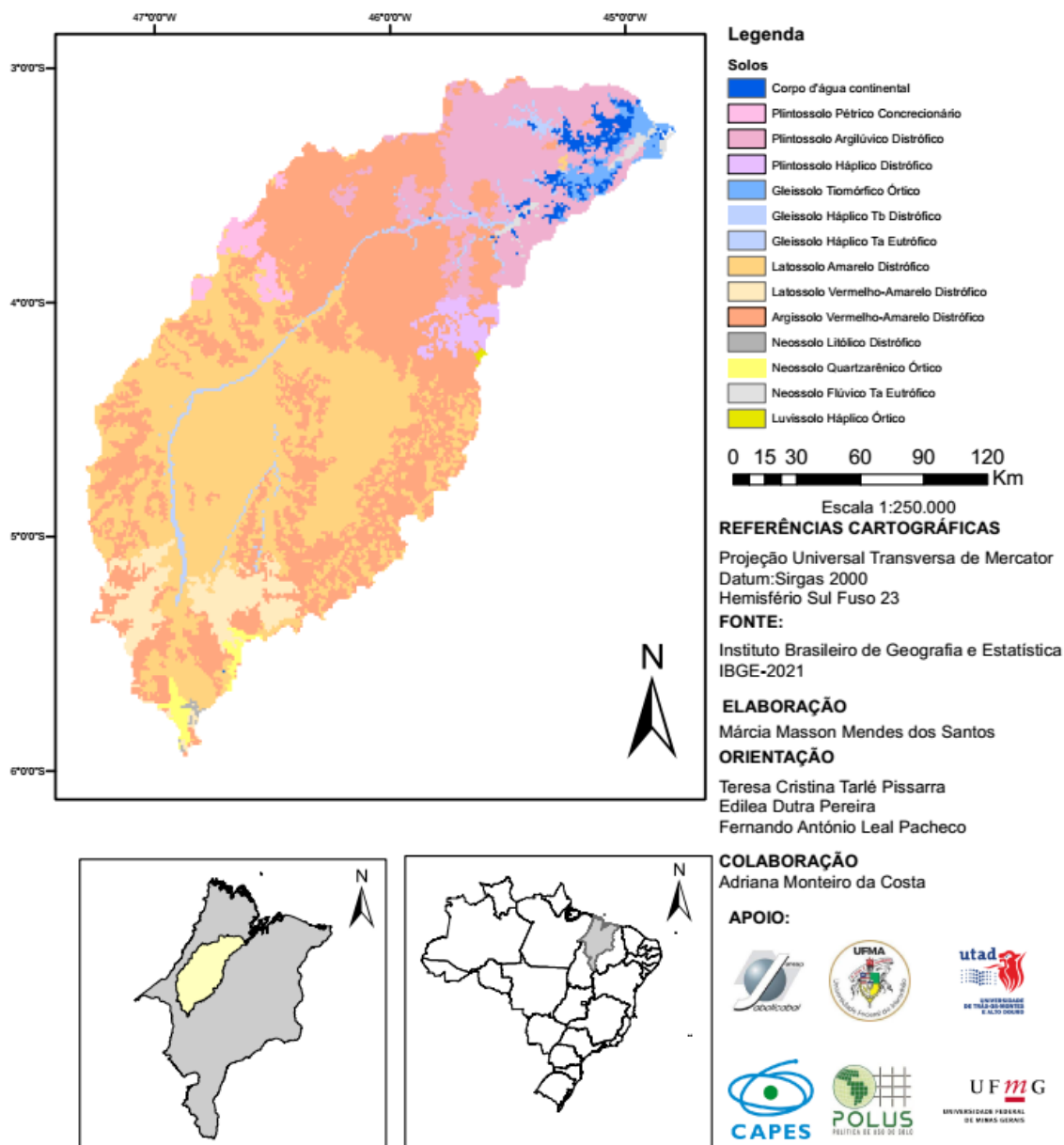


APOIO:



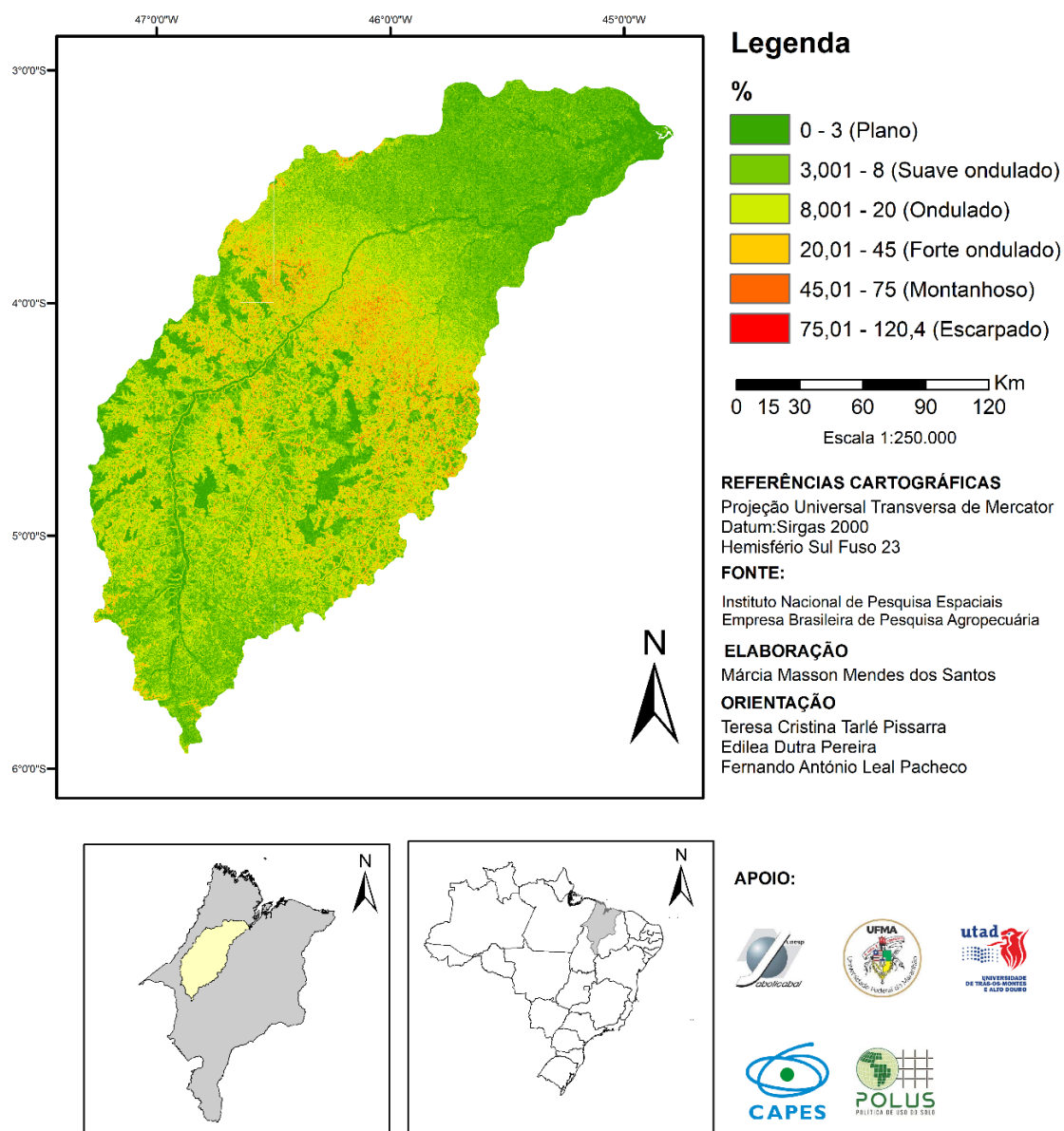
Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Solos



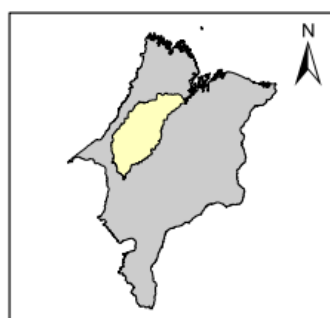
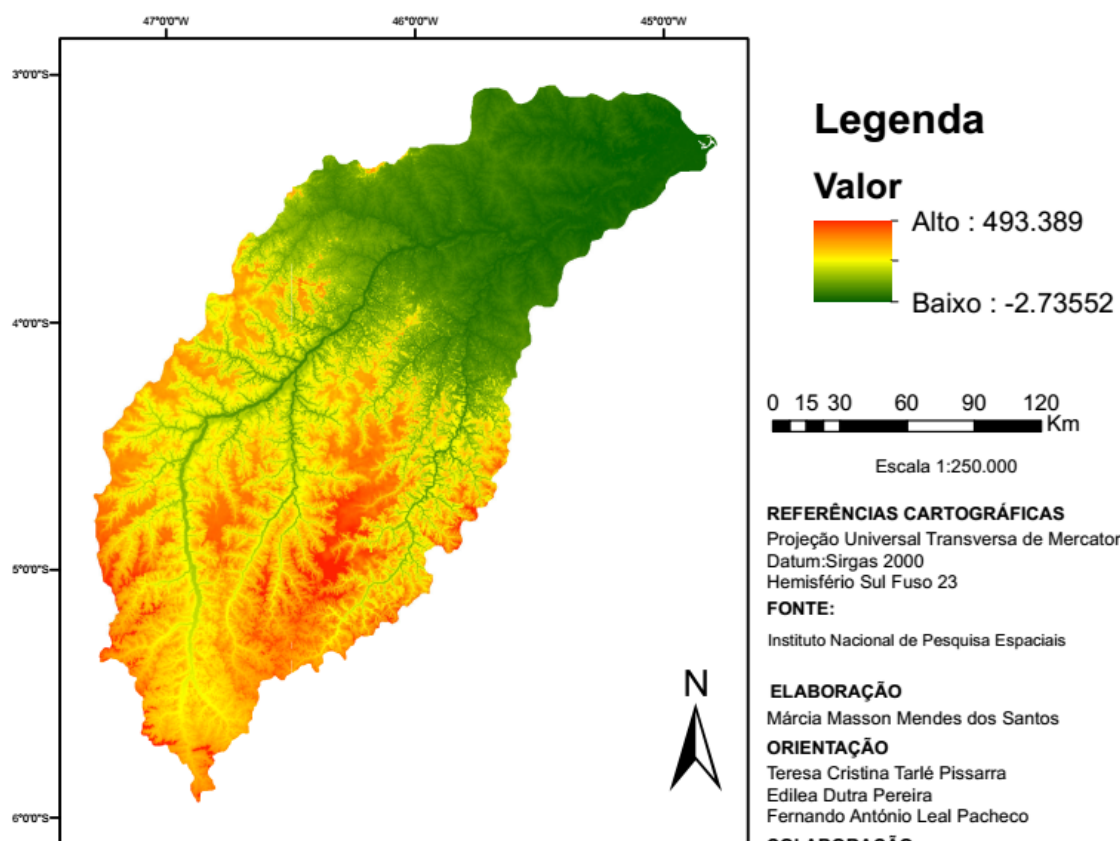
Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Declividade



Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Altitude



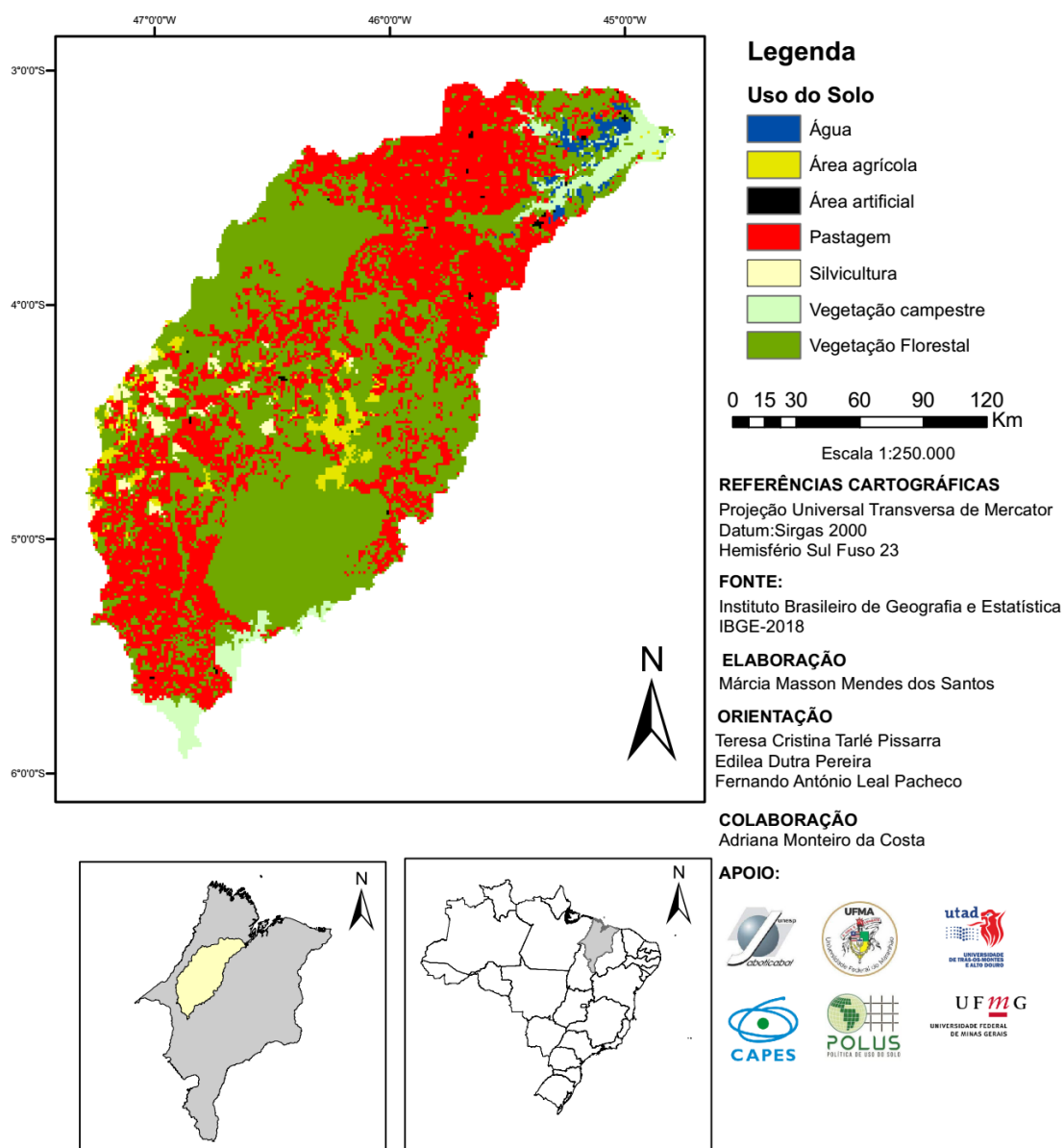
APOIO:



Uso – 2018

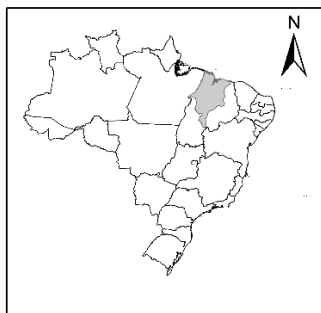
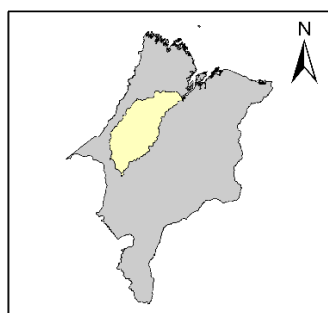
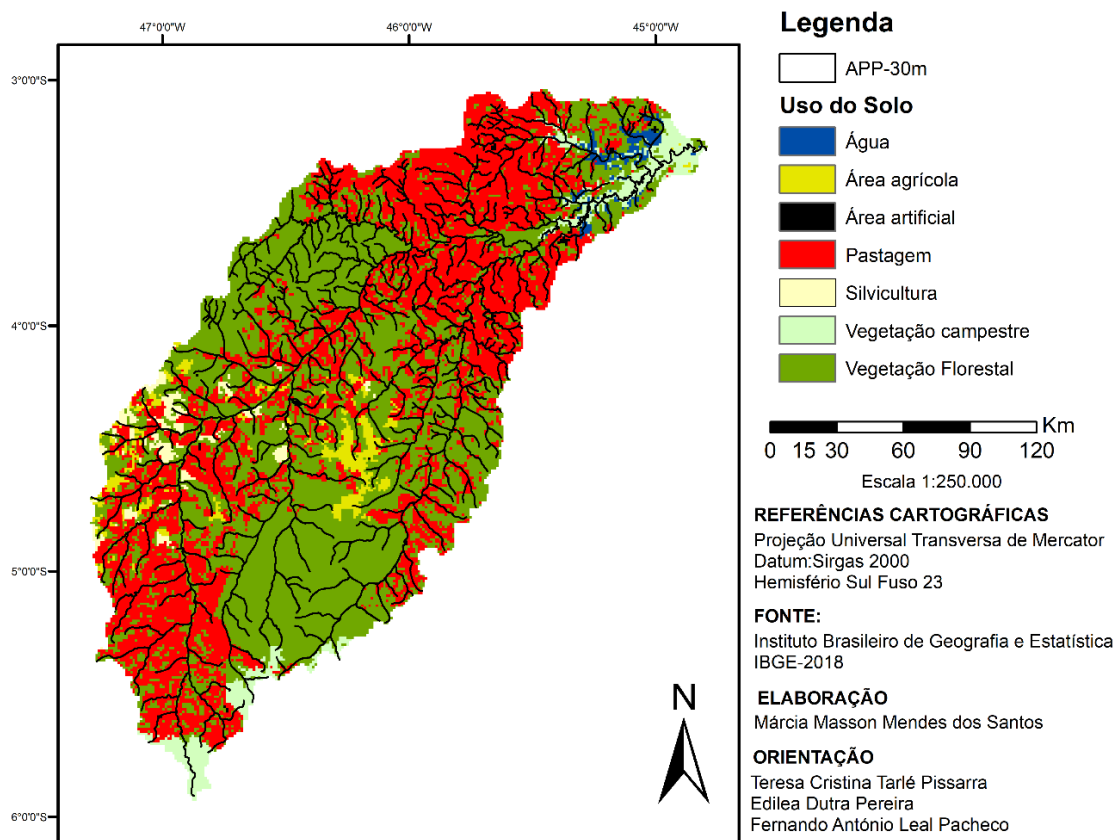
Bacia Hidrográfica do Pindaré/MA

Uso do solo



Bacia Hidrográfica do Pindaré/MA

Uso do solo e APP

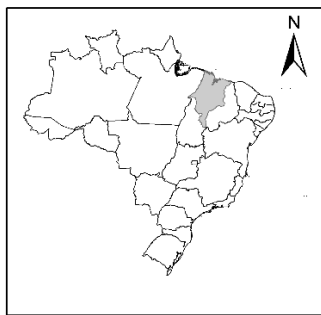
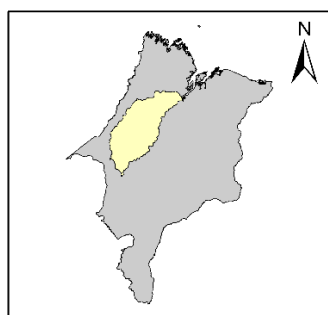
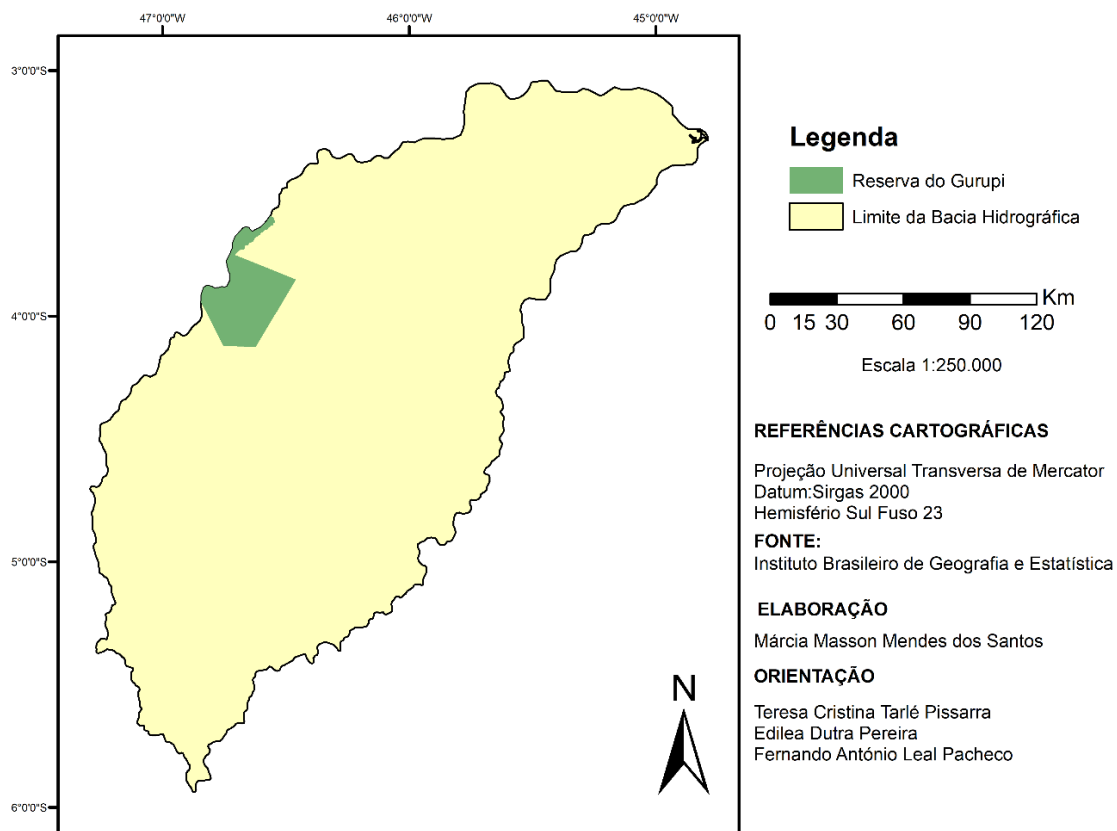


APOIO:



Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Unidade de conservação

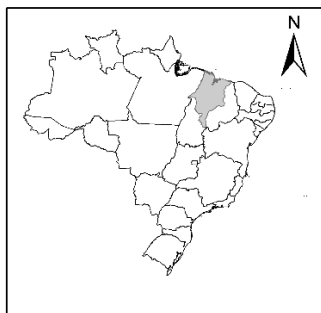
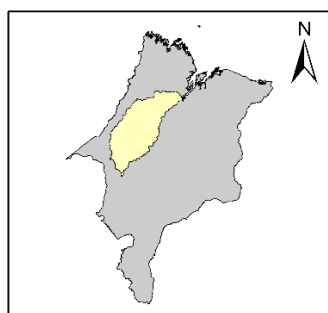
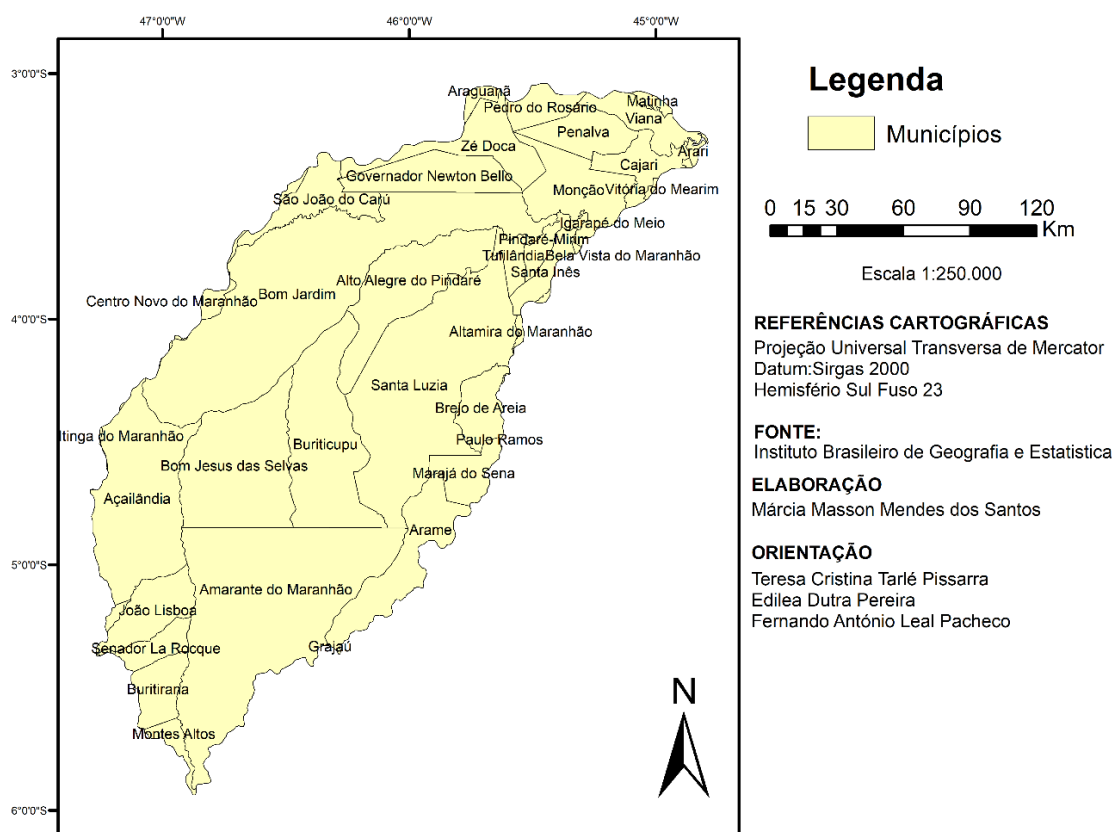


APOIO:



Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Municípios

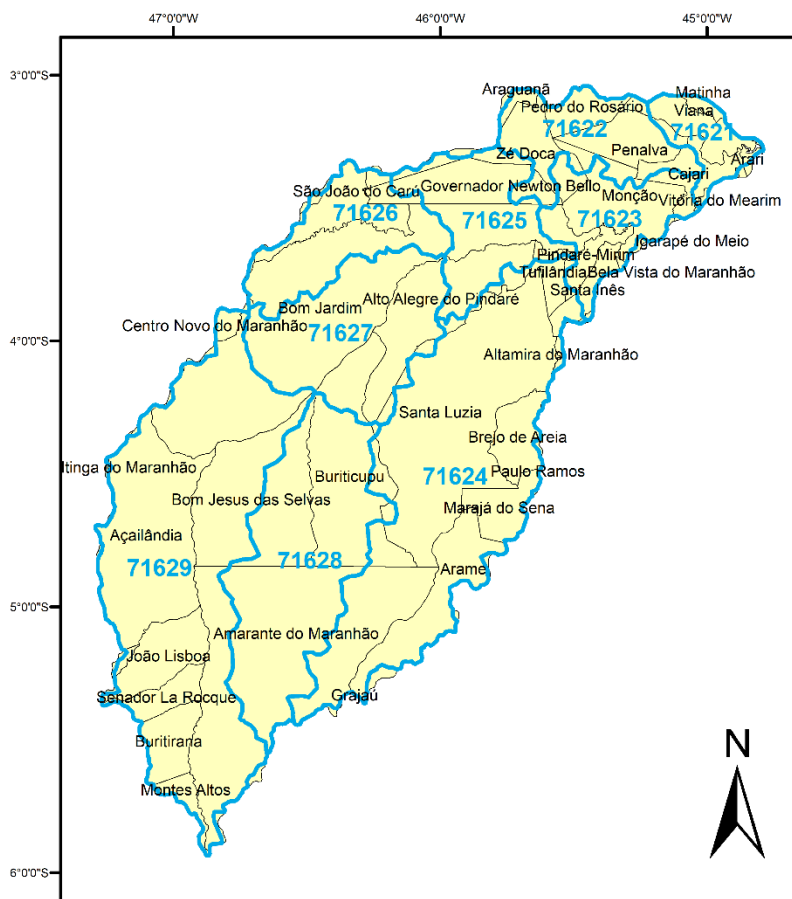


APOIO:



Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré/MA

Municípios e sub-bacias



Legenda

Sub-bacias

Municípios

0 15 30 60 90 120
Km

Escala 1:250.000

REFERÊNCIAS CARTOGRÁFICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator

Datum: Sirgas 2000

Hemisfério Sul Fuso 23

FONTE:

IBGE

ANA

ELABORAÇÃO

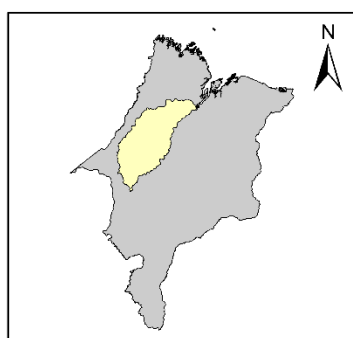
Márcia Masson Mendes dos Santos

ORIENTAÇÃO

Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Edileia Dutra Pereira

Fernando Antônio Leal Pacheco



APOIO:

