

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA/UEMA

ANA ELIZABETH ANGELIM CUNHA

PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PACIÊNCIA NO EXTREMO LESTE DA AMAZÔNIA ORIENTAL - MA

REGULAÇÃO E GOVERNANÇA DE RECURSOS HÍDRICOS
Segurança Hídrica e os Usos Múltiplos da Água

São Luís – MA

2026

ANA ELIZABETH ANGELIM CUNHA

**PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PACIÊNCIA NO EXTREMO LESTE DA AMAZÔNIA ORIENTAL - MA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos – ProfÁgua/UEMA, como requisito para obtenção da referida titulação.

Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e os Usos Múltiplos da Água

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andrea Christina Gomes de Azevedo Cutrim

São Luís – MA
2026

Ana Elizabeth Angelim Cunha.

Proposta de Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência no Extremo Leste da Amazônia Oriental - MA./ Ana Elizabeth Angelim Cunha – São Luís (MA), 2026.

48p.

Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos – ProfÁgua/UEMA) Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, 2026.

Orientadora: Profa. Dra. Andrea Christina Gomes de Azevedo Cutrim.

1. Recursos Hídricos. 2. Inundação. 3. Erosão. 4. Ecodinâmica. I. Título.

CDU: 582.26/.27(812.1)

Elaborado por Luciana de Araújo - CRB 13/445

ANA ELIZABETH ANGELIM CUNHA

**PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PACIÊNCIA NO EXTREMO LESTE DA AMAZÔNIA ORIENTAL - MA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos – ProfÁgua/UEMA, como requisito para obtenção da referida titulação.

Aprovada em 12 / 01 / 2026.

Prof^a. Dr^a. Andrea Christina Gomes de Azevedo Cutrim
Universidade Estadual do Maranhão
(Orientadora)

Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos
Universidade Estadual do Maranhão
(1º Examinador)

Prof^a. Dr^a. Alana Gandra Lima de Moura
Universidade Federal do Maranhão
(2ª Examinadora)

RESUMO

Este trabalho tem como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Paciência que possui suas terras inseridas em quatro municípios que compõem a Região Metropolitana da Grande São Luís (RMGSL). O principal objetivo é propor o Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência (BHRP) com vistas à gestão territorial e dos recursos hídricos, cuja linha de pesquisa refere-se à Segurança Hídrica e os Usos Múltiplos da Água, conforme o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6). A metodologia utilizada foi a quali-quantitativa com pesquisas a artigos da Capes, assim como, a elaboração de mapas através do software Qgis, versão 3.4. Houve o cruzamento de dados, através da álgebra dos mapas de altimetria, declividade, geologia, geomorfologia, pedologia e uso e cobertura da terra, que resultaram em mapas de suscetibilidade à inundação, suscetibilidade à erosão e suscetibilidade ecodinâmica da BHRP, produtos espacializados e georreferenciados, ferramentas úteis de apoio à tomada de decisão quanto à criticidade dos processos configuradores de vulnerabilidade humana e ambiental.

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Inundação. Erosão. Ecodinâmica.

ABSTRACT

This study focuses on the Paciência River Hydrographic Basin, whose lands are located within four municipalities that comprise the Greater São Luís Metropolitan Region (RMGSL). The main objective is to propose an Environmental Zoning for the Paciência River Hydrographic Basin (BHRP) with a view to territorial and water resource management, with a research focus on Water Security and Multiple Uses of Water, in accordance with Sustainable Development Goal 6 (SDG 6). The methodology used was qualitative-quantitative, with research on articles from CAPES (Brazilian Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education), as well as the creation of maps using QGIS software, version 3.4. Data was cross-referenced through the algebra of altimetry, slope, geology, geomorphology, pedology, and land use and cover maps, resulting in maps of flood susceptibility, erosion susceptibility, and ecodynamic susceptibility of the BHRP (Hydrographic Basin of the Ribeira de Piacenza), spatialized and georeferenced products, useful tools to support decision-making regarding the criticality of processes that shape human and environmental vulnerability.

Keywords: Water resources. Flooding. Erosion. Ecodynamics.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Bacia Hidrográfica	10
2.2 Problemas ambientais e apropriação do espaço	11
3 METODOLOGIA	13
3.1 Caracterização da área de estudo	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Geodiversidade da bacia	18
4.1.1 Geologia.....	19
4.1.2 Geomorfologia.....	21
4.1.3 Altimetria.....	23
4.1.4 Declividade.....	25
4.1.5 Pedologia.....	27
4.1.6 Uso e cobertura da terra.....	29
4.2 Vulnerabilidade ambiental	31
4.2.1 Suscetibilidade à inundação.....	32
4.2.2 Suscetibilidade à erosão.....	36
4.2.3 Suscetibilidade Ecodinâmica.....	38
4.2.4 Pontos de vulnerabilidade da BHRP.....	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
6 AGRADECIMENTOS	44
REFERÊNCIAS	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Etapas principais da álgebra de mapas.....	15
Figura 2	- Localização da Bacia Hidrográfica do rio Paciência, Ilha do Maranhão.....	16
Figura 3	- Geologia da BHRP.....	20
Figura 4	- Geomorfologia da BHRP.....	22
Figura 5	- Altimetria da BHRP.....	24
Figura 6	- Declividade da BHRP.....	26
Figura 7	- Pedologia da BHRP.....	28
Figura 8	- Uso e cobertura da terra da BHRP.....	30
Figura 9	- Suscetibilidade à inundação da BHRP.....	35
Figura 10	- Suscetibilidade à erosão da BHRP.....	37
Figura 11	- Suscetibilidade ecodinâmica da BHRP.....	40
Figura 12	- Pontos principais da BHRP.....	41

1 INTRODUÇÃO

A importância da água para a vida, os riscos crescentes de conflitos pelo seu uso e os impactos da sua escassez refletem no interesse e número acentuado de publicações sobre o tema. Fatores ambientais, econômicos, sociais e gerenciais contribuem para uma crise de abrangência mundial, que exige abordagens contemporâneas, sistêmicas e multidisciplinares (UNESCO, 2019).

Em regiões em que há falta de água, há níveis baixos de suprimento em relação ao mínimo indispensável às necessidades básicas de vida. Escassez, estresse e falta de água estão relacionados com a segurança coletiva da população humana: segurança para a produção de alimentos, segurança para o abastecimento público com água potável, e segurança contra a contaminação dos suprimentos de água e ameaças à saúde pública (ANA, 2024).

A compreensão da real situação da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência quanto às vulnerabilidades, se faz necessária, pela dimensão territorial que esta ocupa em São Luís, com pretensões de estudo e análise coesa da paisagem, de modo a favorecer um zoneamento ambiental ecológico–econômico (ZEE). Para o suporte de planejamento ambiental, o decreto 4.297/2002 e outras legislações preconizadas no âmbito estadual, estabelecem diversas prerrogativas às bacias hidrográficas e de corpos d'água quanto à conservação e proteção socioambiental.

O suporte necessário ao zoneamento ambiental é possível através da Cartografia, pois tal ciência tem papel fundamental no fornecimento de dados espaciais precisos e ferramentas de análise que auxiliam na gestão e preservação dos recursos naturais. Por meio de mapas, imagens georreferenciadas e modelagem digital, é possível monitorar ecossistemas, planejar o uso sustentável do solo e embasar políticas ambientais (CPE, 2025).

O interesse por este estudo surgiu da necessidade em entender o quanto a segurança hídrica para a população, em geral, é primordial para assegurar à futura geração e atual, a disponibilidade de água e o acesso a ela. Isso é possível através do saneamento básico nas habitações, capacidade de abastecimento para as mais diversas atividades econômicas, gestão de resíduos e drenagem, capacidade de restauração de corpos d'água e até nas catástrofes relacionadas com a água (IPEA, 2022).

Outro aspecto importante é a inovação tecnológica com a gestão eficiente da água, seja com a possibilidade de detecção de vazamentos, com a medição precisa do consumo e com a trabalhabilidade no reuso da água. Tais iniciativas contribuem para o saneamento e na conservação dos recursos naturais de forma mais econômica e melhorando a qualidade de vida das pessoas (ANA, 2024).

O objetivo principal deste trabalho é propor o zoneamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência (BHRP), assim como, propor soluções na gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica em questão, buscar alternativas para assegurar a preservação, uso e conservação da água de forma eficiente e projetar inovações tecnológicas com base na segurança hídrica direcionadas à BHRP.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A gestão da água em uma perspectiva integrada tem se tornado um complexo desafio diante dos diversos problemas relacionados ao uso desse importante e estratégico recurso natural (Cerezini *et al.*, 2023). A Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) é um processo que visa coordenar o desenvolvimento e a gestão da água, solo e recursos relacionados, visando maximizar o bem-estar econômico e social de maneira justa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas (GWP, 2000).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433/1997, inaugurou a gestão integrada das águas no Brasil. Tal modelo pode ser entendido como gestão sistêmica de integração participativa, que tem como diretrizes o planejamento no nível da bacia hidrográfica, a tomada de decisão por meio de deliberações plurais e descentralizadas e o estabelecimento de instrumentos legais e econômicos que orientam o uso racional da água (Silva, 2013).

A gestão da água deve considerar uma abordagem sistêmica, sustentável e integrada, considerando a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão e associando à água superficial e subterrânea. Apesar de a legislação dos recursos hídricos trazer a questão sistêmica no princípio da integração, ainda é carente de uma visão que integre os processos econômicos e sociais, o que dificulta o planejamento e interfere na proposição de políticas públicas eficientes (Tundisi,

2008). Para enfrentar esses desafios, Tundisi e Tundisi (2011) enfatizam a necessidade de uma nova governança da água, que integre processos eco-hidrológicos e serviços ecossistêmicos, implicando na descentralização da gestão da água no âmbito da bacia hidrográfica.

2.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica como unidade de gestão é a principal característica descentralizadora na governança da água (Tundisi, 2008). Os diversos autores e seus textos analisados convergem na ideia central de que a bacia hidrográfica é o espaço geográfico onde todas as atividades humanas interagem, sendo considerado um sistema complexo que influencia e é influenciado (Campos, 2010). Desse modo, a bacia hidrográfica é a unidade de planejamento e gestão não somente de recursos hídricos, como também da gestão territorial e todos os seus aspectos (Silva e Porto, 2003).

Uma das principais questões que se apresenta como obstáculo à gestão integrada dos recursos hídricos no recorte da bacia hidrográfica é a geração de conflitos devido às diferentes divisões políticas e administrativas, visto que as identidades e instituições diversas e suas áreas de atuação seguem lógicas diferentes dos limites da bacia hidrográfica (Tundisi, 2006; Campos, 2010). Os autores Porto e Porto (2008) também destacam que o recorte da bacia hidrográfica dificulta a gestão compartilhada dos recursos hídricos com outras instituições.

Como elementos transformadores nesta temática, é possível destacar que o conceito de bacia hidrográfica amplia as barreiras políticas tradicionais para um recorte integrado da gestão hídrica com a gestão territorial (Silva e Porto, 2003). Essa abordagem integra os vários aspectos que interferem no uso da água, permitindo a articulação dos processos e instituições, assim como das questões sociais ao destacar a importância do ciclo hidrosocial para a governabilidade dos recursos hídricos (Tundisi, 2008; Campos, 2010). O conceito de ciclo hidrosocial estabelece uma relação indissociável entre a sociedade e os recursos hídricos, visto que não é possível ignorar as interferências das comunidades no ciclo hidrológico (Loris, 2006).

A bacia hidrográfica, pode ser considerado o espaço que mais se aproxima do que se compreende por gestão integrada e sustentável da água, que apesar de revelar territorialidades e conflitos, também apresenta novas perspectivas e desafios ao planejamento e gerenciamento da água (Castro *et al.*, 2005).

2.2 Problemas ambientais e apropriação do espaço

Os impactos decorrentes dos fenômenos naturais têm aumentado ultimamente e decorrem, entre outros, da combinação de efeitos relacionados a fatores econômicos, sociais, demográficos, tecnológicos e ideológicos. Os processos de produção que caracterizam a modernidade, principalmente a agropecuária e a indústria, associados aos processos de urbanização e de metropolização cada vez mais intensos, têm potencializado as catástrofes, os riscos e as vulnerabilidades (Oliver-Smith, 2004).

Toda cidade se desenvolve originariamente sobre um dado ambiente natural que se altera à medida que ela se dinamiza e cresce, levando à substituição da primeira pela segunda natureza. Independentemente destas condições, a cidade encontra-se sujeita à eventualidade de fenômenos impactantes, e mesmo catastróficos, das forças que compõem esse meio ambiente, como no caso de eventos hidrológicos críticos de excesso ou escassez (Leitão, 2008).

Os riscos naturais podem ser agravados pelas diversas iniciativas humanas, mas há que se levar em consideração as interações, cada vez mais frequentes, entre os riscos naturais e os tecnológicos. Observa-se claramente, nas cidades brasileiras, o aumento de diversos tipos de riscos urbanos devido à ocupação irregular de muitas áreas das cidades, aspecto que conjuga tanto os riscos inerentes à natureza quanto à baixa tecnologia empregada nas construções em geral e o modo de vida da população (Leitão, 2008).

Nos países em desenvolvimento, a proliferação de construções irregulares favorece o risco de desmoronamentos quando de enxurradas, tormentas, terremotos e inundações. No Brasil, as populações menos favorecidas, devido aos problemas decorrentes da especulação imobiliária, são, muitas vezes, impelidas a ocupar irregular e ilegalmente locais de grande fragilidade ambiental (Leitão, 2008).

A grande maioria dos ocupantes de áreas de risco acaba produzindo, num claro exemplo da lógica da urbanização corporativa (Santos, 1993), ambientes marginais de grande vulnerabilidade, portanto sujeitos a eventos críticos como inundações e/ou falta d'água. Neste contexto, o entendimento das questões inerentes à urbanização nas cidades brasileiras é de fundamental importância quando do estudo da questão da disponibilidade hídrica no meio urbano.

De um modo geral, o agravamento crescente dos problemas ambientais nas metrópoles brasileiras é alimentado pelo modelo de apropriação do espaço. Esse modelo reflete as desigualdades socioeconômicas vigentes, aliadas à ineficácia das políticas públicas e à inércia da administração pública na detecção, coerção, correção e proposição de medidas visando ao ordenamento do território e à garantia da melhora da qualidade de vida da população, conforme Jacobi (2004).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho possui um metodologia quali-quantitativa. Os procedimentos necessários compreenderam à pesquisa bibliográfica e cartográfica extraídas de artigos, dissertações, teses de repositórios da Capes, de diferentes anos, por ser um tema que traz conceitos diversos, análises e hipóteses alteradas continuamente, por conta de sua relevância técnico-científica.

O desenvolvimento desta pesquisa foi possível com os avanços tecnológicos dos SIGs (Sistema de Informações Geográficas) ou GISs (*Geographic Information Systems*) que, conforme *Lang e Blaschke (2009) apud Cavalcanti Jr (2016)*, têm sua origem no planejamento das paisagens e do meio ambiente e, que mesmo com os mais de 40 anos de desenvolvimento, ainda não foram explorados em todo o seu potencial, mesmo atualmente.

A escala de trabalho é pautada em 1:50.000 e foi adquirida junto ao SGB (2020). Contudo, para caber a produção cartográfica no formato A4, que é o definido para a construção da presente dissertação, adotou-se um padrão de escala de apresentação na ordem de 1:250.000.

Os mapas, necessários à composição deste estudo, foram elaborados através do *software* Qgis (versão 3.34) no laboratório de Geociências (LABGEO) com os seguintes procedimentos:

- Para a definição das classes de Declividade e Altimetria foram utilizados os dados de Modelo Digital de Elevação (MDE) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir do Projeto TOPODATA. Os dados MDE são obtidos por meio dos dados *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM* (Missão Topográfica por Radar do Ônibus Espacial) concedidos pela USGS (*United States Geological Survey*) instituição responsável pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos;
- A elaboração dos mapas de Geologia, Geomorfologia e Pedologia foram feitos a partir dos dados produzidos pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM, em um estudo que mapeou todo o estado, intitulado de Geodiversidade do Estado do Maranhão (2013). Foi feito o recorte das bases para a Bacia do Rio Paciência e posteriormente classificado e seguindo o padrão das escalas de cores;

- O mapa de Uso e Cobertura da Terra foi feito utilizando os dados do Projeto MAPBIOMAS, da coleção 9. São os dados mais recentes divulgados pelo projeto, a coleção 9 conta com dados históricos de 1985 a 2023, posteriormente, no mapeamento das classes de Uso e Cobertura da Terra para a Bacia do Rio Paciência foi adotado o ano de 2023.

Após a união dos dados supracitados houve o cruzamento das informações através da Álgebra de Mapas, que algumas literaturas conceituam como a manipulação de dados geográficos com a sobreposição de outros mapas como descrito na dissertação de mestrado do autor Cláudio C.F. Barbosa em 1997.

O conceito de álgebra de mapas foi introduzido na década de 1970 por Tomlin e Berry (1979) para descrever um conjunto de convenções, recursos e técnicas para análise de dados cartográficos digitais (Tomlin, 1994), que possuem tanto um sentido matemático quanto cartográfico e espacial (Barbosa, 1998). O conceito desde então desenvolveu-se, com noções de geoprocessamento, cartografia, matemática e estatística e, comumente, refere-se a uma estrutura sistemática que organiza e processa operações matemáticas entre camadas de dados geoespaciais.

A figura 1 consolida as principais etapas da álgebra de mapas, sendo:

- Dados de entrada: junção de todos os planos de informação relevantes (mapas temáticos);
- Operadores e funções: são utilizados operadores matemáticos, lógicos ou estatísticos para combinar as camadas de dados. Isso pode envolver operações simples (adição, subtração) ou mais complexas (ponderação, operações zonais ou focais);
- Processamento célula a célula: garantir que todos os mapas de entrada estejam no mesmo formato e sistema de coordenadas (atribuir pesos ou classes de vulnerabilidade, como alto, médio, baixo);
- Criação de máscaras e condicionais: são técnicas fundamentais para realizar análises espaciais complexas, permitindo isolar áreas de interesse e aplicar regras específicas a diferentes partes do mapa;

- Camada de saída: o resultado das operações algébricas é um novo mapa temático, onde cada célula contém um valor resultante do cálculo aplicado.

Figura 1 - Etapas principais da álgebra de mapas.



Fonte: autoria própria, 2026.

3.1 Caracterização da área de estudo

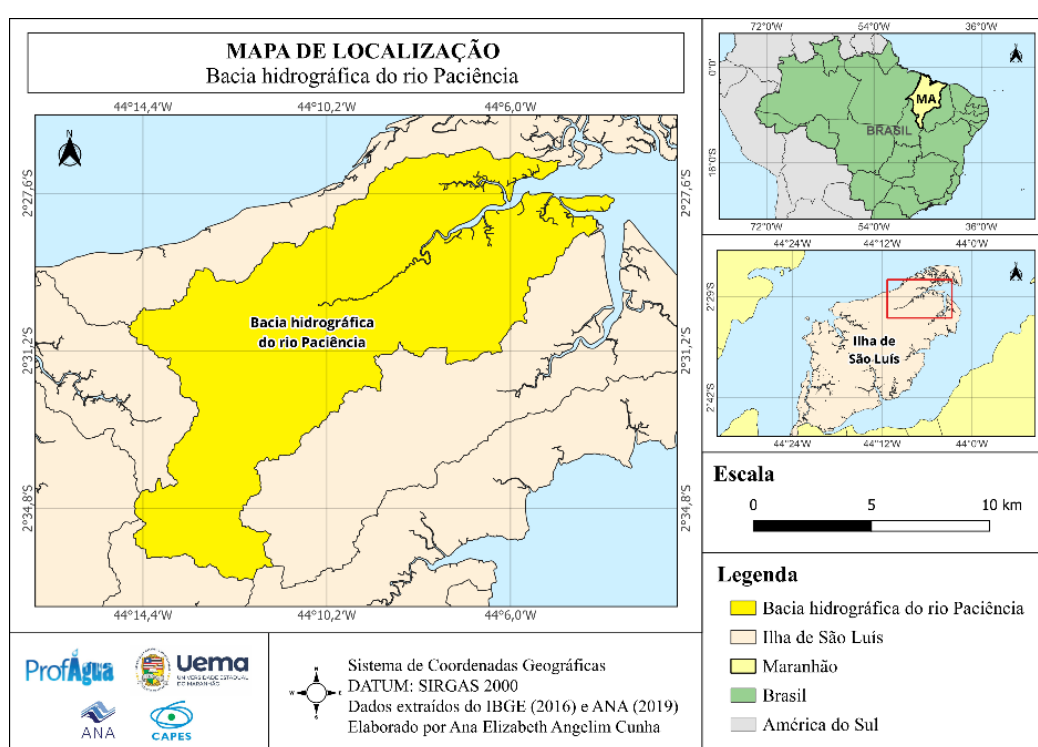
As inundações em áreas urbanas, em sua maioria, são intensificadas por fatores antrópicos, causando transtornos para as populações e muitas vezes ocasionando vítimas. Embora o excesso de precipitação na maioria das vezes seja o fator natural mais influente nesses eventos, ações humanas, como interferência na estrutura do canal, ocupação da planície de inundação e impermeabilização do solo, são responsáveis por agravar a ocorrência das inundações.

As inundações são caracterizadas pelo transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação, também conhecida como área de várzea (Brasil, 2007). Em áreas urbanas, os processos antrópicos, em sua maioria, são ativos e desordenados e as características predominantes são crescimento da densidade populacional e densidade de construções, que causam modificações no sistema de drenagem, aumento da impermeabilização da área exposta e da velocidade de escoamento superficial direto, causando picos de cheias e problemas

de controle de inundações, como é o caso do alto curso do rio Paciência, localizado na região central da Ilha do Maranhão, no município de São Luís.

A bacia hidrográfica do rio Paciência (BHRP) situa-se nos municípios de São Luís, São José de Ribamar e Paço do Lumiar, na porção central da Ilha do Maranhão (Figura 2). O acesso pode ser realizado pelas vias terrestres MA-201 e MA-203, e via marítima através de pequenos portos ao longo da desembocadura do rio principal.

Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Paciência, Ilha do Maranhão.



Fonte: autoria própria, 2025.

O rio Paciência apresenta uma área urbana bem consolidada, onde os cursos d'água recebem uma forte pressão populacional. O alto curso tem aproximadamente 21 km², sendo que uma de suas nascentes principais localiza-se na porção sudoeste, em uma área verde protegida no aeroporto Marechal Hugo da Cunha Machado. Considerando o índice de circularidade da área de estudo, esta apresenta forma circular, portanto com maior tendência às inundações e aliado à grande extensão da área impermeabilizada, através da pavimentação das vias de circulação, grande densidade populacional e de construções, e ocupação das planícies de inundação, por residências, estabelecimentos comerciais e

institucionais, como o aeroporto e a Universidade Estadual do Maranhão, as inundações estão cada vez mais intensas (Cavalcanti Jr, 2016).

O alto curso da bacia apresenta um terreno com baixo potencial à infiltração, é aí que também se encontra o maior adensamento urbano da bacia e um solo altamente alterado pela ação humana, estes aspectos reverberam diretamente na capacidade de condutividade hidráulica do solo (Cavalcanti Jr, 2016).

A preocupação atual dos gestores públicos gira em torno do alto grau de urbanização, falta de infraestrutura e poluição, que aliados a precipitações intensas podem desencadear inundações mais frequentes e severas, atingindo cada vez mais famílias, com risco de contaminação por doenças transmitidas pelo lixo e esgoto (IMESC, 2021).

O médio curso da bacia apresenta um terreno com potenciais de infiltração alto e baixo, porém a predominância é de médio. Seguindo a lógica do adensamento populacional desta área, se comparada com o alto curso, oferece um padrão médio de uso da terra, todavia este padrão ainda contribui para compactação do solo. Já o baixo curso da bacia, por sua vez, predomina um terreno com alto potencial à infiltração de água no solo, esta área é menos urbanizada que as demais e apresenta características bem rurais do ponto de vista do uso e cobertura da terra (Cavalcanti Jr, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As inundações são fenômenos naturais e fazem parte da dinâmica hidrológica, ocorrendo devido às precipitações que excedem a capacidade de vazão do canal fluvial, e ocorre o extravasamento dessas águas para além das margens (Tucci, 2007). As inundações estão atreladas ao período chuvoso, o que na Ilha do Maranhão se dá nos meses de janeiro a julho.

Alguns aspectos merecem destaque na questão da vulnerabilidade ambiental da BHRP, são eles: a falta de renovação da infraestrutura para tratamento de água e esgoto, a poluição da água proveniente de fontes urbanas, industriais e agrícolas, o crescimento populacional, assim como, o desmatamento e erosão do solo. Tais aspectos tem afetado diretamente na escassez de água, degradação da qualidade da água, perda da biodiversidade e até no aumento de doenças.

A BHRP, considerada urbanizada, as atividades humanas de conversão de ambientes naturais em ambientes antropogênicos destacadas na paisagem regional demonstram a possibilidade real de ocorrência de maximização de tais processos, sobretudo, pela ocupação de áreas consideradas instáveis, por naturalmente serem passagens das águas por escoamento superficial (Maciel Filho; Nummer, 2014).

4.1 Geodiversidade da bacia

A bacia hidrográfica do rio Paciência com uma área de 145,7 km², padrão dendrítico e de 4^a ordem, é constituída pelo rio principal Paciência, estando na margem direita os rios Itapiracó, Santa Rosa, Saramanta, Prata Miritiua. O rio Paciência, principal corpo hídrico da bacia, apresenta um curso de 32 km inserido num ambiente estuarino que se desenvolve no sentido nordeste da Ilha de São Luís (Cavalcanti Jr, 2016).

4.1.1 Geologia

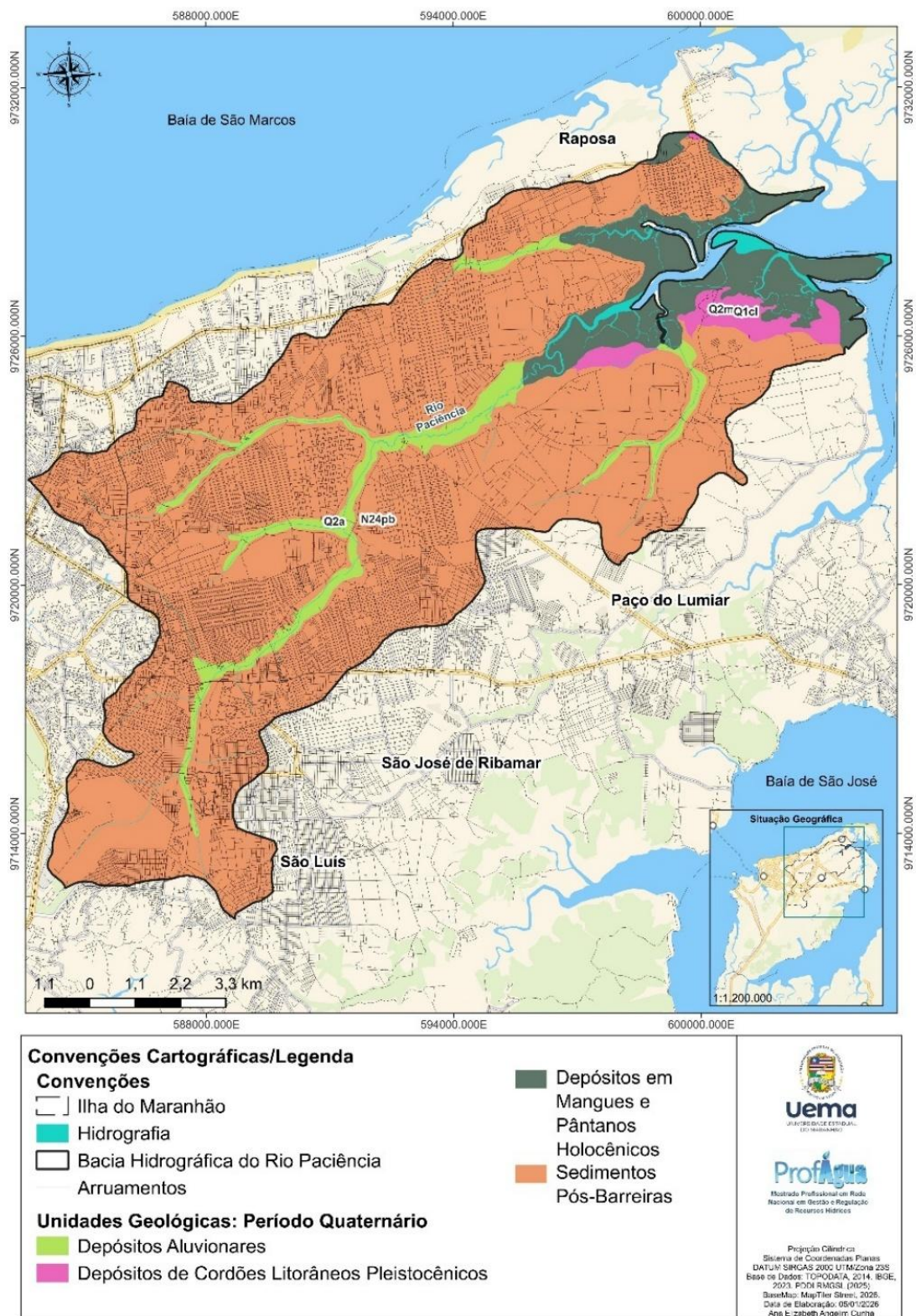
As unidades geológicas da BHRP, presentes na figura 03, pertencem ao período quaternário, sendo estes: os depósitos aluvionares, depósitos de cordões litorâneos pleistocênicos, depósitos em mangues e pântanos holocênicos e, predominantemente, sedimentos pós barreiras. Segundo a coluna litoestratigráfica do Bioma Amazônia Maranhense, do Relatório Técnico de Geologia, Geomorfologia e Hidrogeologia do ZEE do Estado do Maranhão, os depósitos aluvionares e litorâneos são esbranquiçados, finos e quartzosos. Os depósitos em mangues são esverdeados escuros, argilosos e siltosos. Já os sedimentos pós barreiras, formaram-se acima da Formação Barreiras (Mioceno), são amarelados a avermelhados, arenosos finos a argilosos, maciços por vezes mosqueados nítidos, com presença de lateritas concentradas ou dispersas (IMESC, 2019).

Quadro 1 - Unidades de Mapeamento Geológico da BHRP.

Depósitos Quaternários	Descrição
Q1cl	Depósitos de cordões litorâneos pleistocênicos
Q2a	Depósitos aluvionares.
Q2m	Depósitos em mangues e pântanos holocênicos.
N24pb	Sedimentos pós barreiras.

Fonte: adaptação das Siglas e Nomes das Unidades de Mapeamento Geológico ZEE-MA (IMESC, 2019).

Figura 3 - Geologia da BHRP.



Fonte: autoria própria, 2026.

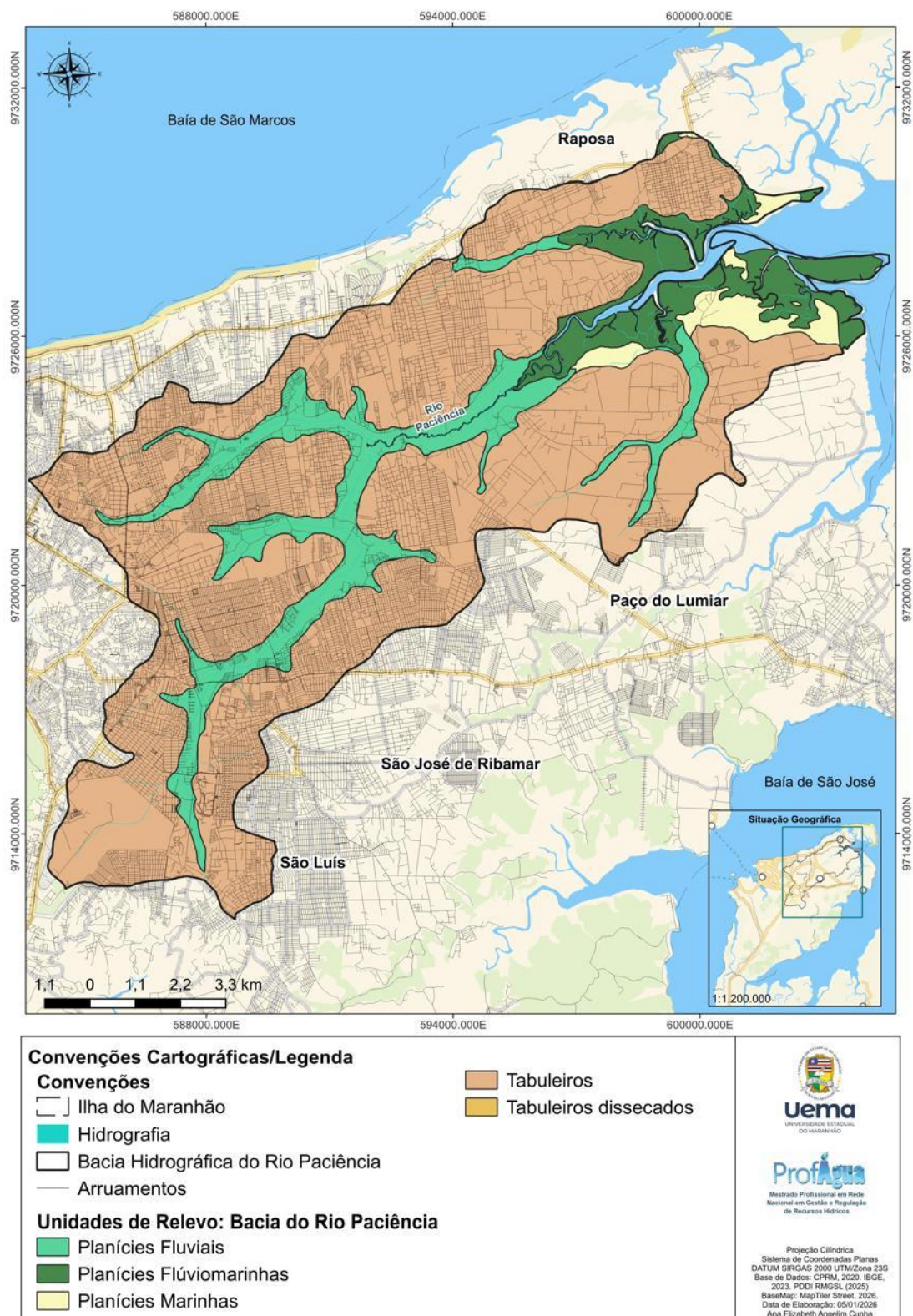
4.1.2 Geomorfologia

O termo Geomorfologia presta-se a uma análise esclarecedora do alcance e validade da pesquisa geomorfológica. Uma decomposição do termo pode ser feita em três partes. Assim, Geo significa que as entidades identificadas fazem parte das irregularidades flagrantes da superfície sólida do planeta, a crosta terrestre. Morfo é um termo que caracteriza o uso da configuração da entidade, de sua forma, como elemento básico de sua identificação taxonômica. E finalmente, logia é o termo que indica criação e sistematização do conhecimento sobre a origem e a evolução das entidades pesquisadas (IMESC, 2019).

A identificação dos domínios e unidades geomorfológicas da BHRP foi uma adaptação do trabalho de Dantas *et al.*, (2013), o qual identificou vários domínios geomorfológicos no Bioma Maranhense, com destaque, na figura 04, para estes: Planícies Fluviais, Planícies Fluviomarinhas, Planícies Marinhas, Tabuleiros e Tabuleiros Dissecados.

- Planícies fluviais: são superfícies planas constituídas por depósitos argiloarenosos a argilosos, assim como, terrenos mal drenados e inundáveis (Feitosa, 2006).
- Planícies fluviomarinhas: são constituídas por terrenos lamosos de coloração esverdeada escura, saturados em água, ricos em matéria orgânica, localizados nas margens e no fundo de baías, enseadas, estuários ou deltas dominados por maré (IMESC, 2019).
- Planícies marinhas: são planícies arenosas sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando micro relevo suavemente ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha (Dantas, *et al.*, 2013).
- Tabuleiros: são conhecidos como baixos planaltos sedimentares, caracterizados por apresentar topografia plana e baixa altitude. Predomínio de processos de pedogênese com formação de solos pouco espessos e, em geral, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão (Feitosa, 2006).
- Tabuleiros dissecados: são formas de relevo tabulares, dissecadas por uma rede de canais com moderada densidade de drenagem e erosão ocasionada pela água do escoamento superficial no período chuvoso sob forma de ravinas (IMESC, 2019).

Figura 4 – Geomorfologia da BHRP.

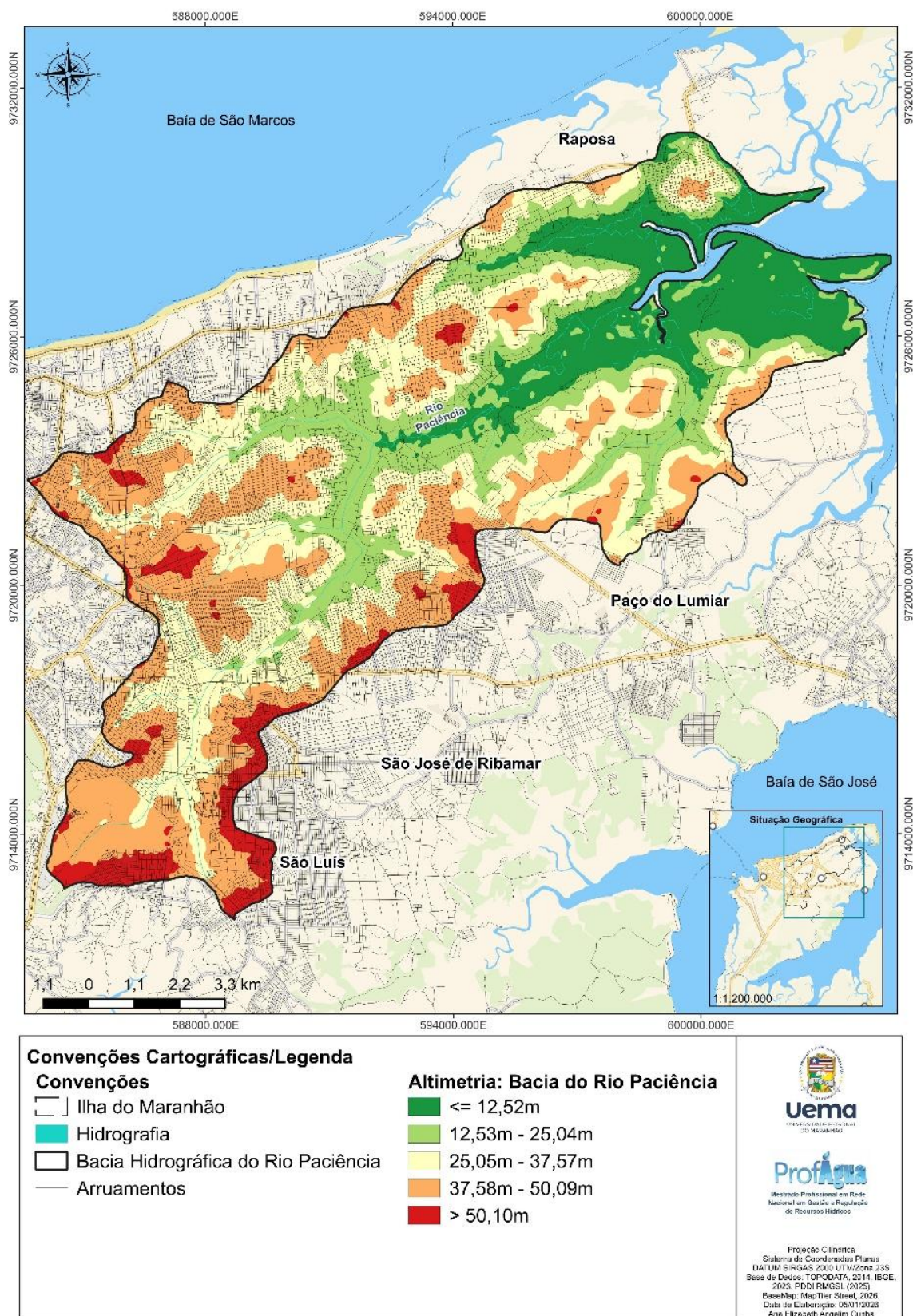


Fonte: autoria própria, 2026.

4.1.3 Altimetria

A altimetria refere-se às diferentes altitudes de uma região usando cores e, principalmente, as curvas de nível, linhas imaginárias que conectam pontos de mesma elevação em relação ao nível do mar, mostrando o relevo e a inclinação do terreno (CPE, 2025). Eles são cruciais para visualizar o perfil de uma bacia hidrográfica, conforme a figura 5, sendo gerados por dados de satélite.

Figura 5 - Altimetria da BHRP.



Fonte: autoria própria, 2026.

4.1.4 Declividade

Os mapas de declividade são representações gráficas que revelam a variação da inclinação do terreno em uma determinada área, e esta inclinação em relação ao plano horizontal pode ser expressa em porcentagem ou graus. Na figura 6, verifica-se a declividade predominante na BHRP menor ou igual a 2,37°. Este grau de declividade, pela classificação da Embrapa (1979), conforme o quadro 02, refere-se a um terreno suavemente ondulado. O grau de declive do terreno influencia diretamente a perda de solo por erosão, visto que, quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento das águas sob o efeito da gravidade, sendo, pois, menor o tempo disponível para infiltração no solo (Gomes *et al*, 2015, p. 54).

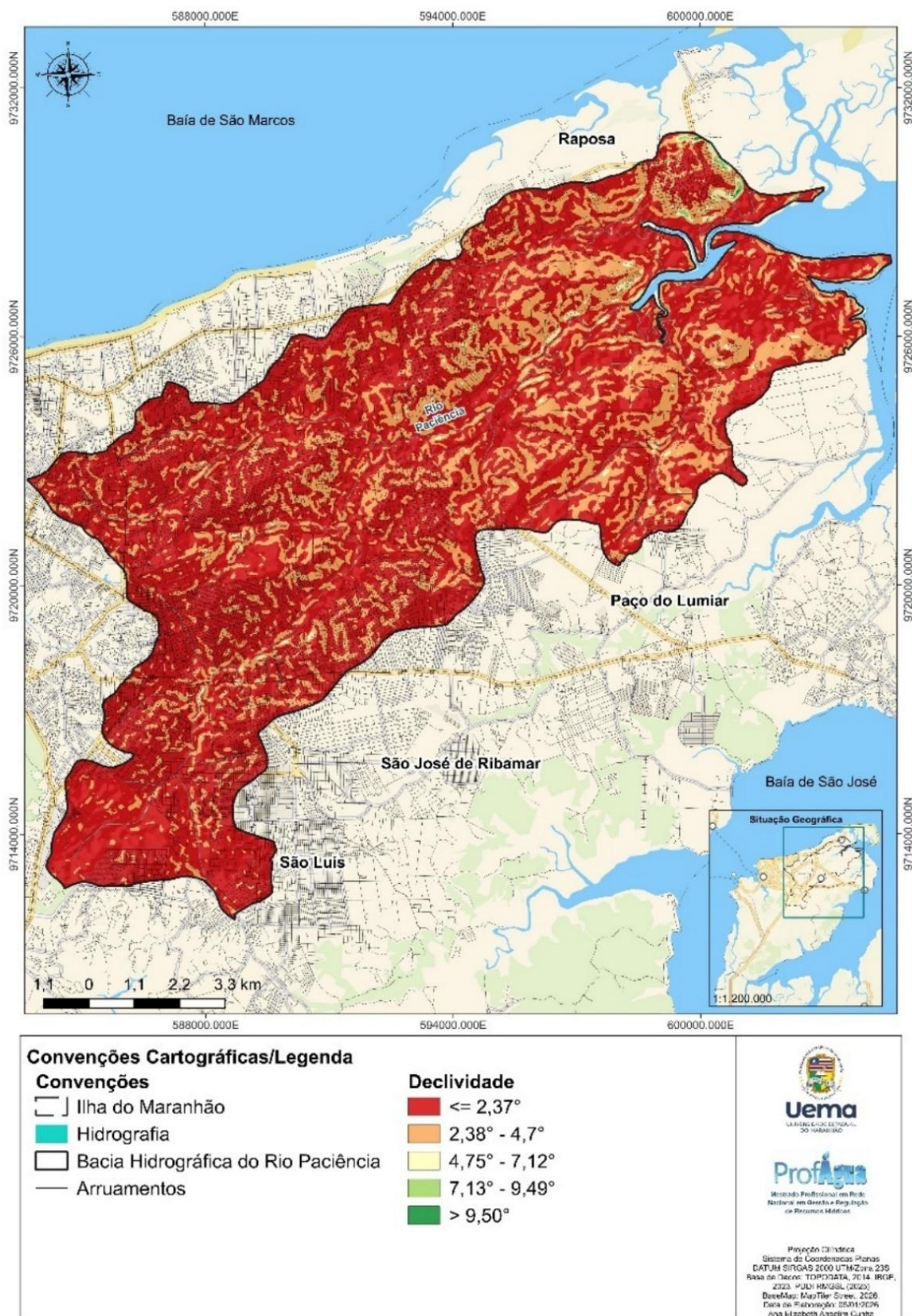
Quadro 2 - Classes de declividade.

Classe de Declividade	Porcentagem (%)	Graus (°) (Aprox.)	Descrição/Usos Potencial
Plano	0 - 3%	0° - 1.7°	Áreas planas, adequadas para agricultura mecanizada.
Suavemente Ondulado	3 - 8%	1.7° - 4.6°	Áreas com ligeira inclinação, aptas para mecanização com algumas limitações.
Ondulado	8 - 20%	4.6° - 11.3°	Áreas com inclinação moderada, requerem práticas de conservação do solo.
Forte Ondulado	20 - 45%	11.3° - 24.2°	Áreas íngremes, inadequadas para mecanização e com alto risco de erosão, mais indicadas para pastagem ou
Montanhoso/Escarpado	> 45%	> 24.2°	Áreas muito íngremes, impróprias para uso agrícola, geralmente preservação ou uso restrito com manejo

Fonte: adaptação da Embrapa, 1979.

Fator formador de relevo, a declividade é um parâmetro morfométrico extremamente relevante no diagnóstico físico e na gestão dos recursos hídricos, pois este orienta e agrega velocidade o fluxo de uma bacia (Menezes, *et al*, 2013). O relevo proporciona energia ao escoamento superficial em encostas e canais, ou seja, em bacias pequenas a energia desprendida é diretamente proporcional à velocidade do runoff (Granell-Perez, 2001).

Figura 6 - Declividade da BHRP.



Fonte: autoria própria, 2026.

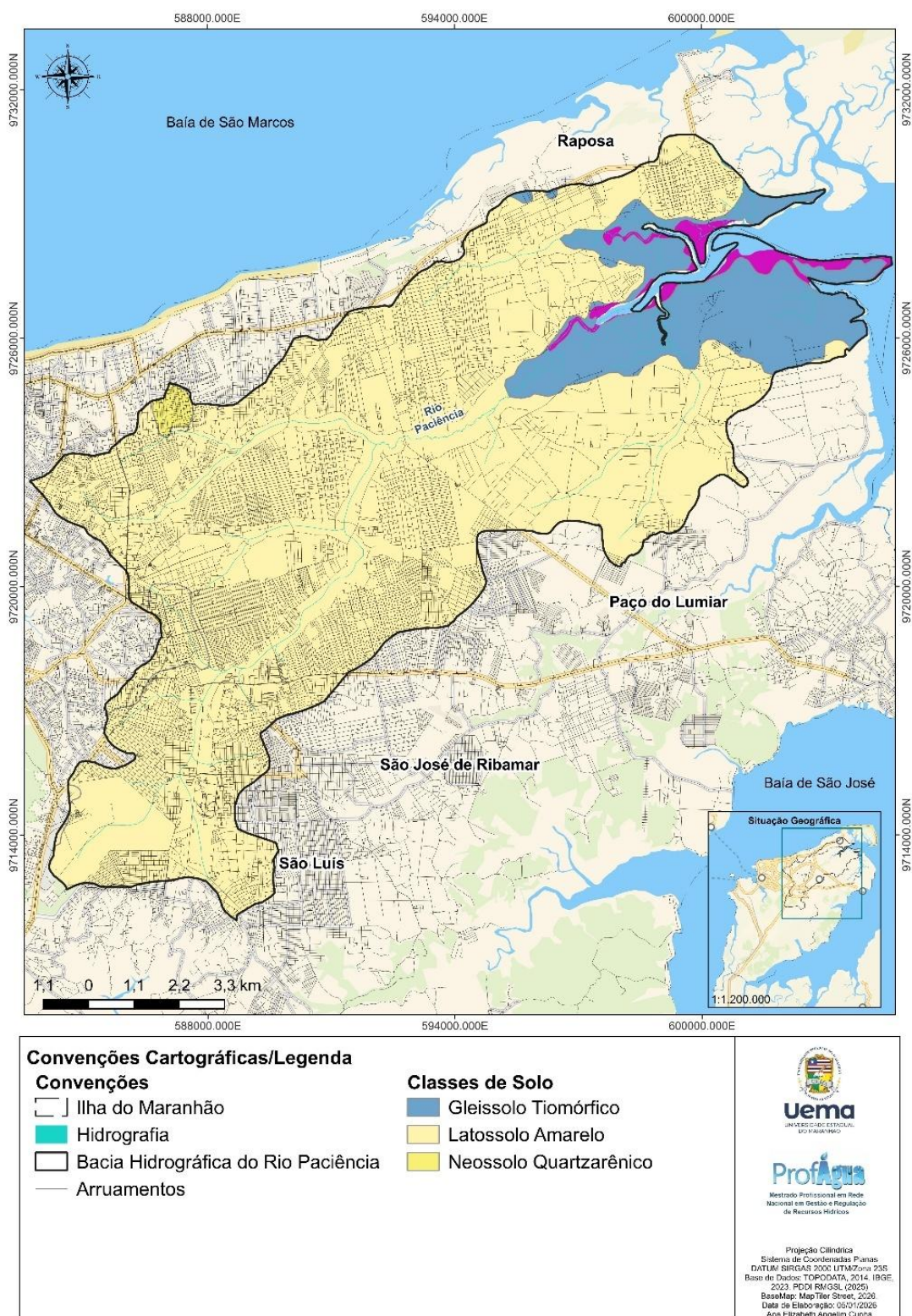
4.1.5 Pedologia

A Pedologia estuda a origem, a morfologia e a classificação de solos. O solo é um corpo de material inconsolidado, que recobre a superfície terrestre emersa, entre a litosfera e a atmosfera. É produto do intemperismo sobre um material de origem, cuja transformação se desenvolve em uma determinada relevância, clima, bioma e ao longo de um tempo (ANA, 2024).

Conforme a figura 7, a BHRP possui três classes de solo, sendo o Gleissolo Tiomórfico, Latossolo Amarelo e Neossolo Quartzênico.

- Gleissolo Tiomórfico: são formados por materiais organominerais e apresentam propriedades físico-químicas ainda mais diferentes dos outros gleissolos. São solos com horizontes sulfúrico e/ou sulfídrico que se formam sob forte influência das águas salinas (Valente *et al.*, 1999). São encontrados na região costeira do Estado nas áreas conhecidas regionalmente como manguezal. Ferreira (1989), citado por Melo *et al.* (1995), descrevem o manguezal como um importante ecossistema cuja estrutura oferece grande número de nichos ecológicos para espécies de importância econômica como: peixes, crustáceos e moluscos que encontram nesse ambiente um local de alimentação, reprodução, desova, crescimento e proteção contra inúmeros predadores.
- Latossolo amarelo: são solos minerais profundos e muito profundos, bem drenados que apresentam como principal característica o horizonte diagnóstico subsuperficial “B” latossólico (Bw). O horizonte B latossólico apresenta avançado estágio de intemperização com alteração completa dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo. Em geral é constituído por quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio, minerais de argila 1:1 (caulinita), quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo, com predominância de qualquer um deles (IMESC, 2019).
- Neossolo Quartzênico: são solos minerais, profundos, hidromórficos ou não hidromórficos, que apresentam classe de textura arenosa, essencialmente quartzosos, com sequência de horizontes A e C. Os mesmos apresentam fortes limitações físico-químicas, que praticamente inviabilizam qualquer tipo de utilização agropecuária (IMESC, 2019).

Figura 7 – Pedologia da BHRP.

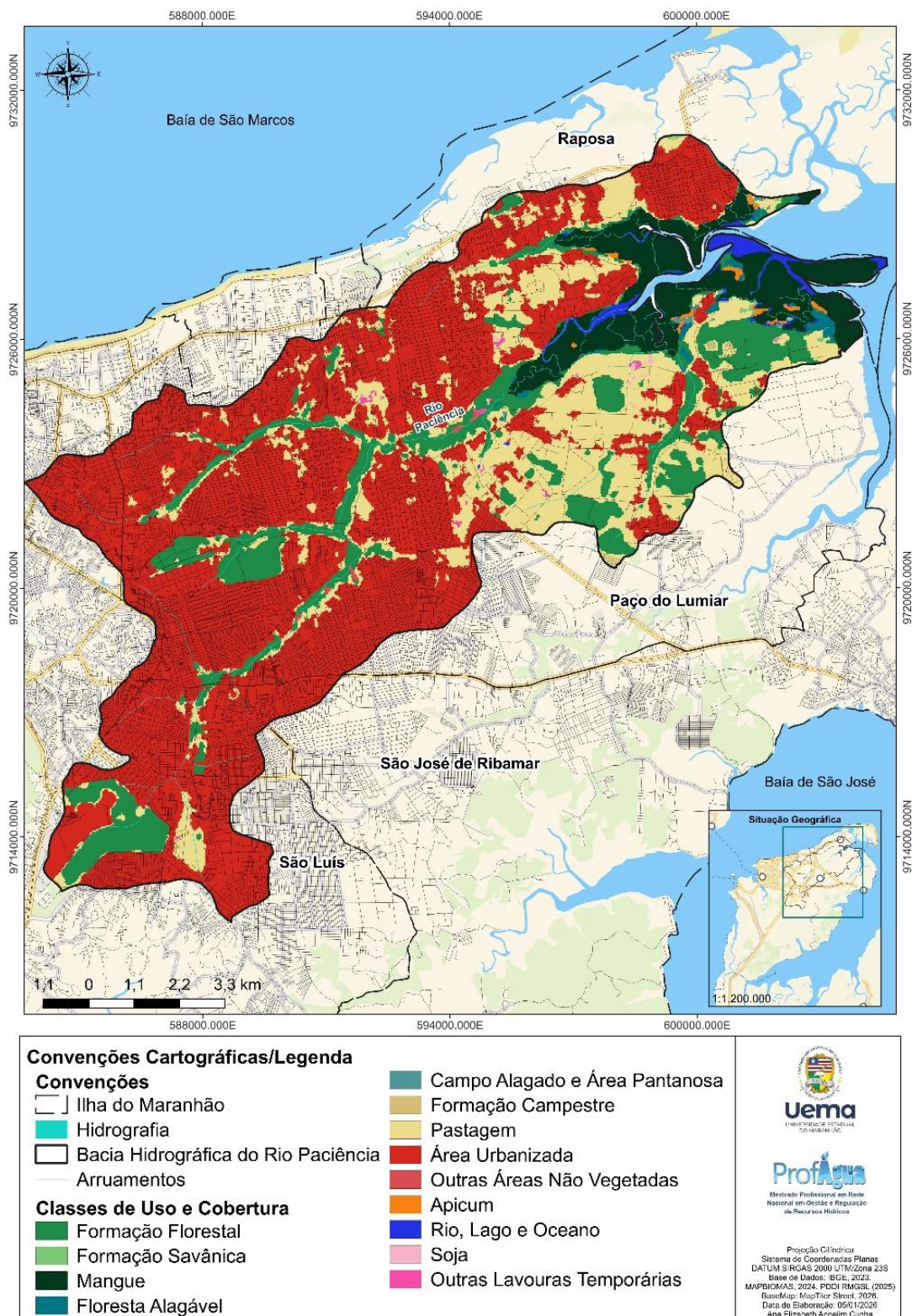


Fonte: autoria própria, 2026.

4.1.6 Uso e cobertura da terra

A cobertura da terra evidencia os usos do qual decorre, podendo tanto ajudar a controlar e prevenir os processos erosivos e degradantes, quanto facilitar que eles ocorram (Silva, 1999). A Bacia Hidrográfica do rio Paciência é urbanizada em sua maior parte, no alto e médio curso do rio, conforme a Figura 8. Há outras classes de uso e cobertura da terra, em destaque, áreas com formação florestal no curso do rio (APPs – Áreas de Preservação Permanente) e manguezais. Outro ponto importante é que a área de pastagem é predominante no baixo curso do rio, ao norte e leste do referido mapa, assim como uma área ao sul.

Figura 8 - Uso e cobertura da terra da BHRP.



Fonte: autoria própria, 2026.

4.2 Vulnerabilidade Ambiental

A vulnerabilidade ambiental é compreendida como o potencial que o sistema possui para modular suas respostas frente a fatores estressores ao longo do tempo e do espaço, a partir das suas características ecossistêmicas (Williams; Kaputska, 2000). Esse conceito está relacionado com uma condição intrínseca dos territórios, uma vez que cada fração deste apresenta capacidade de responder às perturbações, as quais em interação com o tipo e magnitude do evento induzido resultam numa grandeza de efeitos adversos (Santos; Caldeyro, 2007).

Com o crescimento da urbanização e o rápido desenvolvimento socioeconômico, as pessoas enfrentam desafios na gestão da vulnerabilidade dos ambientes ecológicos urbanos. Nesse campo, explorar e descrever os mecanismos que impulsionam a vulnerabilidade são problemas urgentes. Em especial, a construção de índices de vulnerabilidade do ambiente ecológico urbano de maneira cientificamente eficaz é crucial para retratar com precisão as tendências evolutivas da vulnerabilidade ecológica e fornece uma base fundamental para a gestão eficaz dos ambientes ecológicos urbanos (X. Wu e X. Huang, 2024).

Um estudo realizado sobre a vulnerabilidade ambiental em 35 cidades da China ao longo de 20 anos, de 2000 até 2020, os métodos de síntese do Índice Ponderado Linear e de síntese do Índice Ponderado Geométrico mostraram mudanças perceptíveis nos valores médios de picos e vales, apesar de ser um processo relativamente lento, com destaque, para quatro cidades: Chengdu, Shenyang, Wuhan e Zhengzhou. O crescimento do PIB foi significativo nas cidades citadas pelo investimento no controle da poluição urbana, acompanhada por uma expansão gradual de novas áreas verdes, assim como, na ampliação de investimentos em proteção ambiental (X. Wu e X. Huang, 2024).

Existe uma variedade de estruturas conceituais para tratar da vulnerabilidade de um sistema ecológico-econômico, entre as quais se destacam as abordagens de Kaspersen *et al.* (2005) e Turner *et al.* (2003) que apresentam três componentes que determinam a vulnerabilidade: exposição, sensibilidade e resiliência.

A exposição é composta pelas características que definem as ações humanas às quais a vulnerabilidade ambiental responde devido às perturbações e impactos gerados (Turner *et al.*, 2003).

O grau do dano que ocorre em um sistema submetido a uma determinada exposição é determinado pela sua sensibilidade (Kasperson *et al.*, 2005), ou seja, pelas condições ambientais do território que podem ser alteradas significativamente pelas forças motrizes (Turner *et al.*, 2003).

Por fim, a resiliência do sistema é o conjunto de respostas naturais e humanas aos danos, no sentido do restabelecimento do padrão anterior (ou próximo deste) de equilíbrio dinâmico do ambiente (Turner *et al.*, 2003). Se as perturbações persistirem ao longo do tempo, o tipo e a qualidade da resiliência podem ser alterados, levando o sistema a funcionar em torno de um novo ponto de equilíbrio dinâmico (Kasperson *et al.*, 2005).

A compreensão da vulnerabilidade ambiental seria melhor considerada nos processos de planejamento e gestão do território, principalmente no caso do Brasil que ainda é dotado de considerável quantidade de capital natural. As diversas dimensões do conceito da vulnerabilidade ambiental, como as sensibilidades do sistema ambiental alvo de uma dada intervenção, são tipologias de informação cruciais para as fases de diagnóstico e de elaboração de alternativas em processos de planejamento e gestão (Jordão e Moretto, 2015).

4.2.1 Suscetibilidade à inundação

No mapa de Suscetibilidade à Inundação na Bacia Hidrográfica do rio Paciência (Figura 9), é possível observar, a partir dos fatores naturais e das atividades humanas expressas por meio do uso e cobertura da terra e demais mapas listados, uma planície de inundação, na foz do rio Paciência (baixo curso), porção Norte, caracterizada pelo mangue e formação florestal, o baixo grau de urbanização, e o uso voltado para atividades como a pesca e culturas agrícolas de subsistência.

Na porção Sul da bacia hidrográfica em questão, essas áreas apresentam um grau de urbanização médio a alto e podem ser severamente atingidas por inundações ocasionadas por altos índices pluviométricos de precipitação intensa e frequente, devido ao elevado grau de urbanização nesses ambientes, caracterizado pela significativa impermeabilização do solo, bem como pelo solo exposto e desprotegido. Por conseguinte, o carreamento sedimentar e de resíduos sólidos

urbanos em direção aos canais fluviais, a retificação e canalização dos cursos d'água com planejamento de tempo de recorrência considerados baixos e insuficientes (até 10-15 anos), a retirada de vegetação ripária e ciliar, e as pressões de ocupação irregular e desordenada de margens de cursos hídricos que compõem a bacia hidrográfica contribuem direta e significativamente para o aumento da vazão e pico de cheia, ocorrência de inundações localizadas e consequente inundações em pontos críticos da região hídrica em análise (IMESC, 2021).

No período de 2013 a 2015, foram identificadas quatro áreas suscetíveis às inundações no alto curso do rio Paciência, a saber: Vila Apaco, Cidade Operária, São Bernardo e São Jorge. Tendo em vista que a urbanização da bacia é um fator que intensifica as cheias, por conta das modificações de variáveis como estoque de infiltração e escoamento (Steavaux e Latrubesse, 2017). É possível inferir que já na primeira fase com a devastação da vegetação para a prática de agricultura de subsistência inicia-se o processo de degradação, advindos da substituição das matas ciliares por terras cultivadas e o avanço do processo de urbanização.

De acordo com Cunha (2010) os desmatamentos indevidos, não controlados pela legislação e o crescimento das áreas urbanas sem as necessárias condições de manutenção das áreas verdes, e sem as condições mínimas de saneamento, são exemplos de impactos indiretos que causam degradação dos canais e desequilibram o ciclo hidrológico.

De acordo com Sousa *et al* (2006), desde 1988 e até os dias atuais, que a ocupação da área de entorno da Cidade Operária houve um agravamento dos problemas ambientais, tornando-se mais perceptíveis, e tomando maiores proporções devido à ocupação de sua área de entorno sem intervenção por parte do Estado.

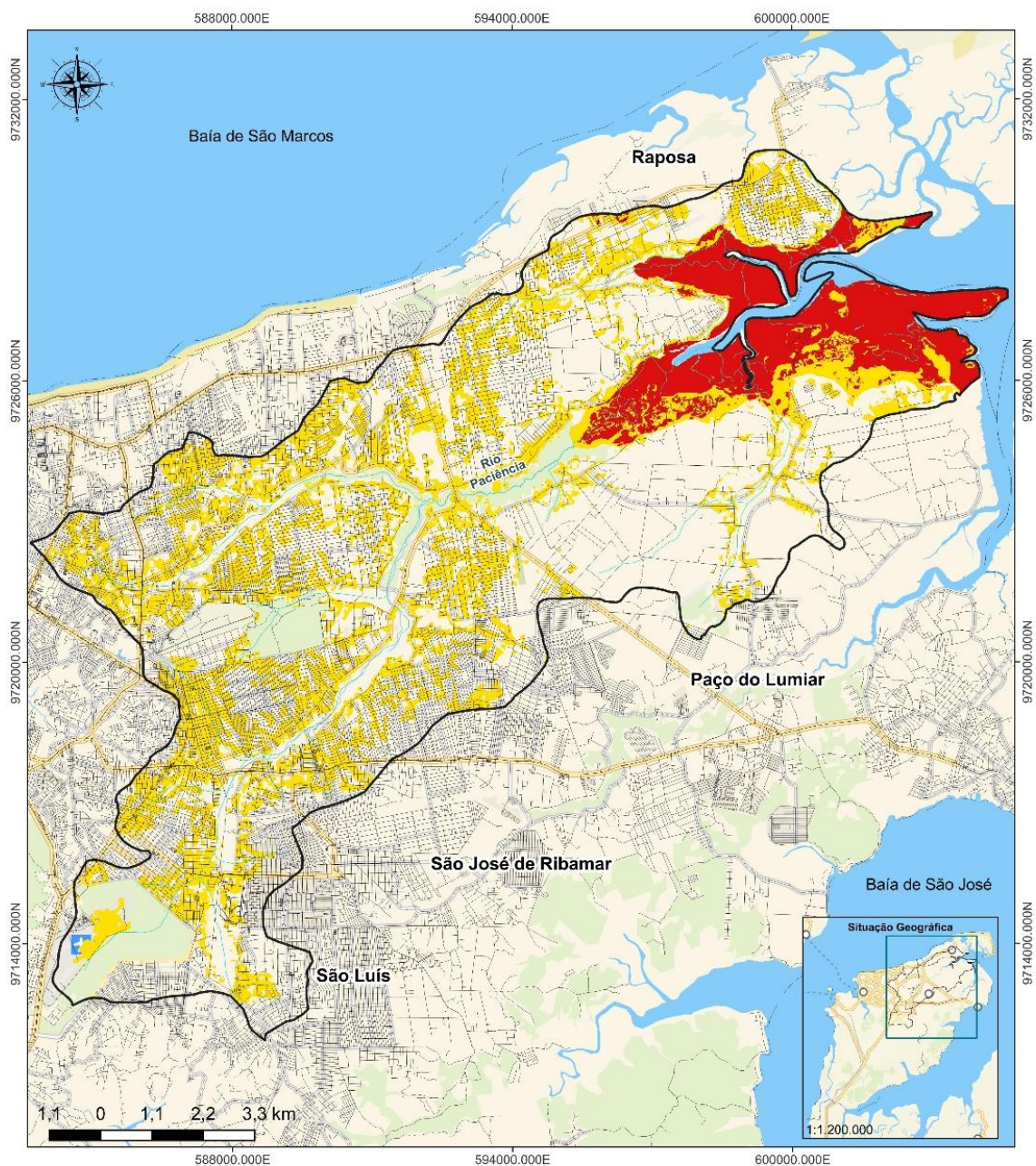
Conforme Polivanov e Barroso (2011) os problemas das inundações não devem ser observados apenas pela ótica da ocupação das áreas vizinhas aos corpos fluviais principais, deve-se atentar para as ações na bacia de drenagem, se estas ações forem inadequadas, contribuem para tornar os efeitos das inundações ainda mais sérios. Os autores citam quatro ações que podem agravar os problemas de inundações, a saber: retirada da mata ciliar; mudança da geometria do canal; altas taxas de impermeabilização na bacia de drenagem e barramentos artificiais

formados por corpos de aterro. Com a retirada da mata ciliar, muitas vezes para construção de casas próximas aos canais, ou retificação do canal, leva a ocorrência de erosão das margens, assoreamento e redução da capacidade de descarga, quanto às mudanças na geometria do canal no alto curso, de todas as áreas suscetíveis à inundações, houve mudança na geometria do canal, ou aterramento de parte dele, quanto às mudanças na geometria, estas acarretam aumento da energia fluvial, erosão das margens, assoreamento a jusante e redução da capacidade de descarga, e os corpos de aterro que são barramentos artificiais, tornam a drenagem mais difícil e disponibiliza material particulado para assoreamento.

Um das ações mais significativas na contribuição do agravamento das inundações e comuns nas cidades brasileiras são as altas taxas de impermeabilização na bacia de drenagem que apresenta como efeito a redução da área superficial dos terrenos destinados à infiltração e aumento do escoamento superficial para o canal fluvial, com o conseqüente aumento do volume hídrico, o aumento do escoamento superficial também carrega para o canal fluvial resíduos sólidos nas cidades cujos sistemas de coleta são pouco eficientes (Polivanov e Barroso, 2011).

Desta forma, a partir do exposto, pode-se inferir que apesar das inundações serem recorrentes no período chuvoso, o processo de ocupação e urbanização no alto curso do rio Paciência sem o cumprimento da legislação ambiental onde o processo foi altamente predatório e ausência de medidas de controle até os dias atuais, por isso, pode-se afirmar que as práticas e ações citadas no decorrer do texto são fatores que vem contribuindo para o agravamento dos fenômenos de inundações no alto curso do rio Paciência.

Figura 9 - Suscetibilidade à inundação da BHRP.

**Convenções Cartográficas/Legenda****Convenções**

- Ilha do Maranhão
- Hidrografia
- Bacia Hidrográfica do Rio Paciência
- Arruamentos

Suscetibilidade a Inundação na Bacia do Rio Paciência

- Risco Intermediário à Ocorrência de Inundação
- Risco Elevado à Ocorrência de Inundação



Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

ProfÁgua

Mestrado Profissional em Rede
Nacional em Gestão e Regulação
de Recursos Hídricos

Projeção Cilíndrica
Sistema de Coordenadas Planas
DATUM SIRGAS 2000 UTMZona 23S
Base de Dados: TOPODATA, 2014, IBGE,
2023, PDI RMGSL (2025)
BaseMap: MapTier Street, 2026.
Data de Elaboração: 05/01/2026
Ana Elizabeth Angelim Cunha

Fonte: autoria própria, 2026.

4.2.2 Suscetibilidade à erosão

No interior de uma bacia hidrográfica, a interação entre as águas das chuvas e os elementos naturais, como os solos, a vegetação e as rochas, propicia fluxos de matéria e energia responsáveis pela formação da paisagem (Hutton, 2012). O solo (ou afloramentos rochosos) representa a face de contato com a água precipitada das chuvas, facilitando ou dificultando o escoamento superficial das águas precipitadas. Esse contato provoca a movimentação das partículas de solo por meio da energia gravitacional, que é capaz de transformar sua forma, ocasionando a erosão.

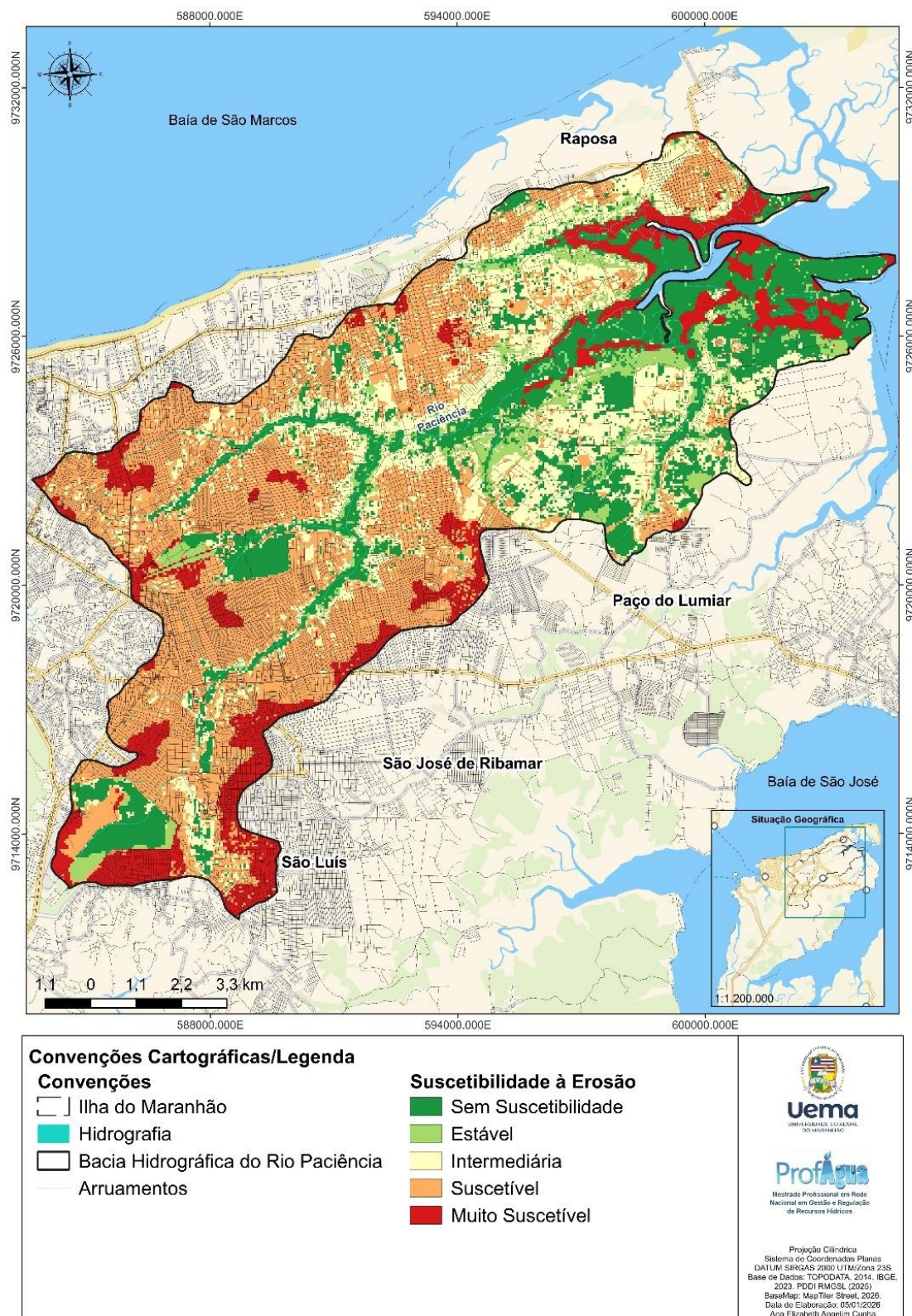
A erosão é, portanto, um processo natural, que tem por principais fatores condicionantes: a erosividade, a erodibilidade, o relevo e a cobertura vegetal. Além do mais, é possível citar diversos outros fatores intensificadores ou amenizadores da erosão, como as práticas de manejo do solo, mudanças climáticas, entre outros (Bertoni e Neto, 2012).

A erodibilidade representa a suscetibilidade do solo ao processo erosivo e pode ser determinada de forma direta, pela razão entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas, sob chuva natural ou chuva simulada, e por meio de análise de regressão linear simples entre essas duas variáveis (Wischmeier & Smith, 1978). O latossolo amarelo, predominante na BHRP, apresenta um baixo fator de erodibilidade, ou seja, menos suscetível a ser desagregado e transportado pela ação da água da chuva ou do vento.

A erodibilidade do solo está diretamente relacionada à sua gênese e às suas características (textura, permeabilidade e densidade). Nesse caso, o tamanho das partículas do solo (textura) influencia diretamente no seu transporte. Como exemplo, os solos arenosos possuem grandes espaços entre suas partículas, o que aumenta sua porosidade e diminui a possibilidade de escoamento superficial. (Sousa, 2019).

A suscetibilidade à erosão na BHRP (figura 10) é perceptível ao longo do alto e médio curso do rio. Infere-se, conforme supracitado nos tópicos anteriores, que o processo erosivo tem como causas principais: a ocupação urbana desordenada, as características do solo e relevo, assim como, a falta de saneamento e desmatamento em algumas áreas.

Figura 10 - Suscetibilidade à erosão da BHRP.



Fonte: autoria própria, 2026.

4.2.3 Suscetibilidade Ecodinâmica

Uma das formas de avaliar a dinâmica dos componentes de forma integrada é por meio da teoria da ecodinâmica, proposta por Tricart (1977), sendo definida como a dinâmica dos ecótopos (menores unidades de uma paisagem), que leva em consideração a morfogênese (processo de modificação do relevo) e a pedogênese (processo de formação do solo). Esta classificação considera as características de todos os elementos da paisagem sendo resumidamente descritos por Almeida (2012, p. 42), como:

- Meios estáveis: cobertura vegetal densa, dissecação do relevo moderada, solos mais profundos e baixos valores de intensidade pluviométrica;
- Meios intergrades: com interferência concorrente da morfogênese e pedogênese, indicam a passagem gradual entre os meios estável e instável;
- Meios fortemente instáveis: condições bioclimáticas agressivas, com ocorrência de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas (altos valores de intensidade pluviométrica), relevo com vigorosa dissecação, presença de solos rasos, inexistência de cobertura vegetal densa, planícies e fundos de vales sujeitos a inundações e presença de atividade socioeconômica.

No caso, para a BHRP, tem-se dois dados importantes, que serviram de base para o mapa de Ecodinâmica (figura 11), são eles, a suscetibilidade à erosão e suscetibilidade à inundação. O mapa de suscetibilidade à erosão possui a seguinte classificação de áreas: sem suscetibilidade, estável, intermediária, suscetível e muito suscetível.

Para gerar o mapa de Ecodinâmica, foi feita uma reclassificação em três zonas, para processar o resultado do zoneamento para Ecodinâmica, a reclassificação ficou assim: 1 (sem suscetibilidade, estável), 2 (intermediária), 3 (suscetível e muito suscetível). Já a suscetibilidade à inundação permaneceu como estava: 1 (risco intermediária à ocorrência de inundação), 2 (risco elevado à ocorrência de inundação).

A classificação de suscetibilidade à erosão e suscetibilidade à inundação, foram cruzadas, interceptadas entre si, espacialmente, e reclassificadas com as seguintes regras:

- **Meio estável**

Quando:

Erosão = 1 (estável) e inundação = 1 (risco intermediário).

Interpretação: baixa atuação dos processos morfodinâmicos dominantes.

- **Meio instável**

Quando ocorre pelo menos uma condição crítica.

Erosão = 3 (instável) ou inundação = 2 (alto risco).

Interpretação: elevada energia morfodinâmica com predominância de processos erosivos e/ou hidrodinâmicos.

- **Meio intermediário**

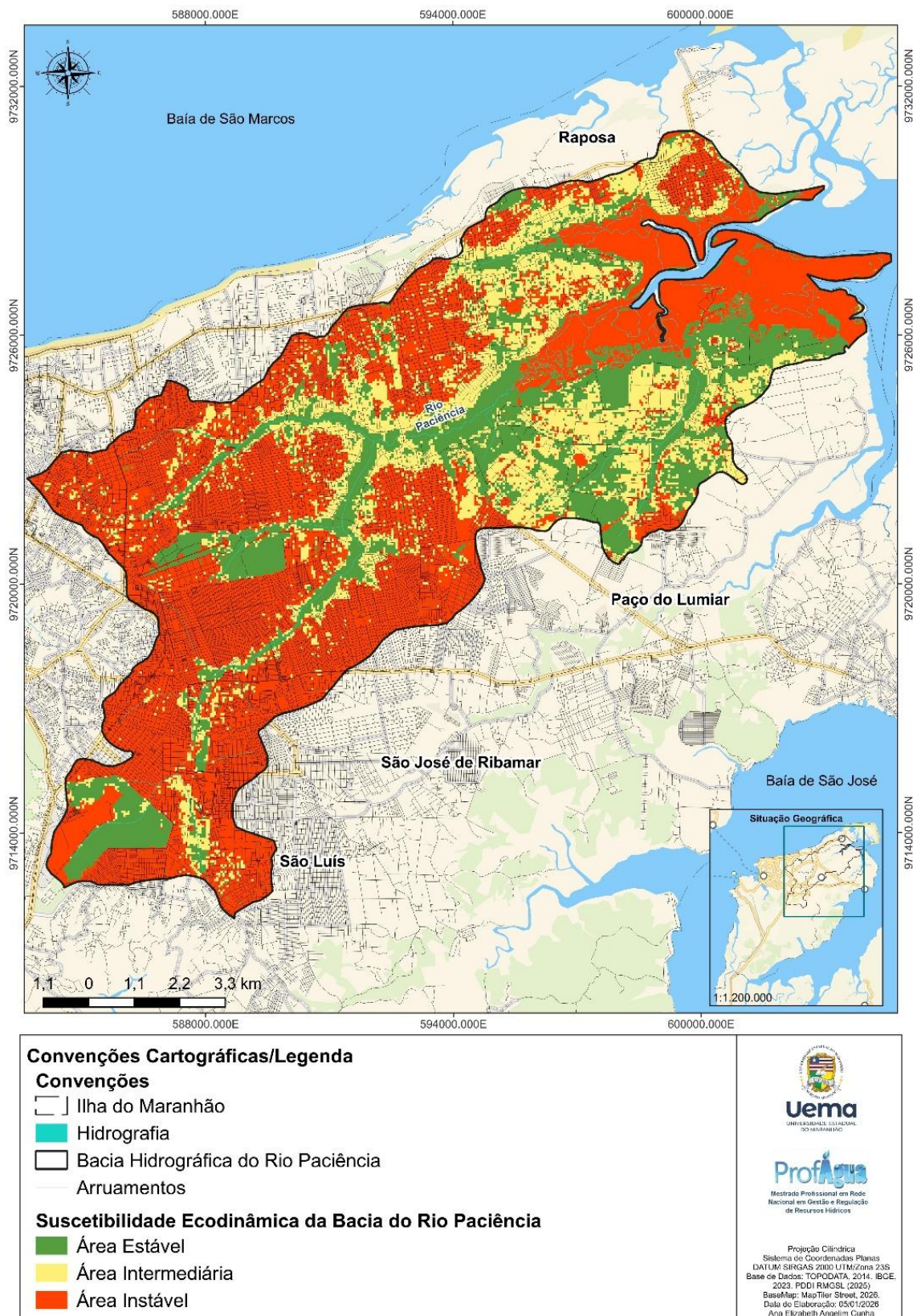
Quando:

- Não atende aos critérios de **estável**;
- Nem aos critérios de **instável**.

Ou seja, combinações como:

- Erosão = 2 e inundação = 1
- Erosão = 1 e inundação = 2 (essa **vai para instável**, por regra)
- Erosão = 2 e inundação = 2 (instável)
- Erosão = 1 e inundação = 1 (estável)

Figura 11 - Suscetibilidade ecodinâmica da BHRP.

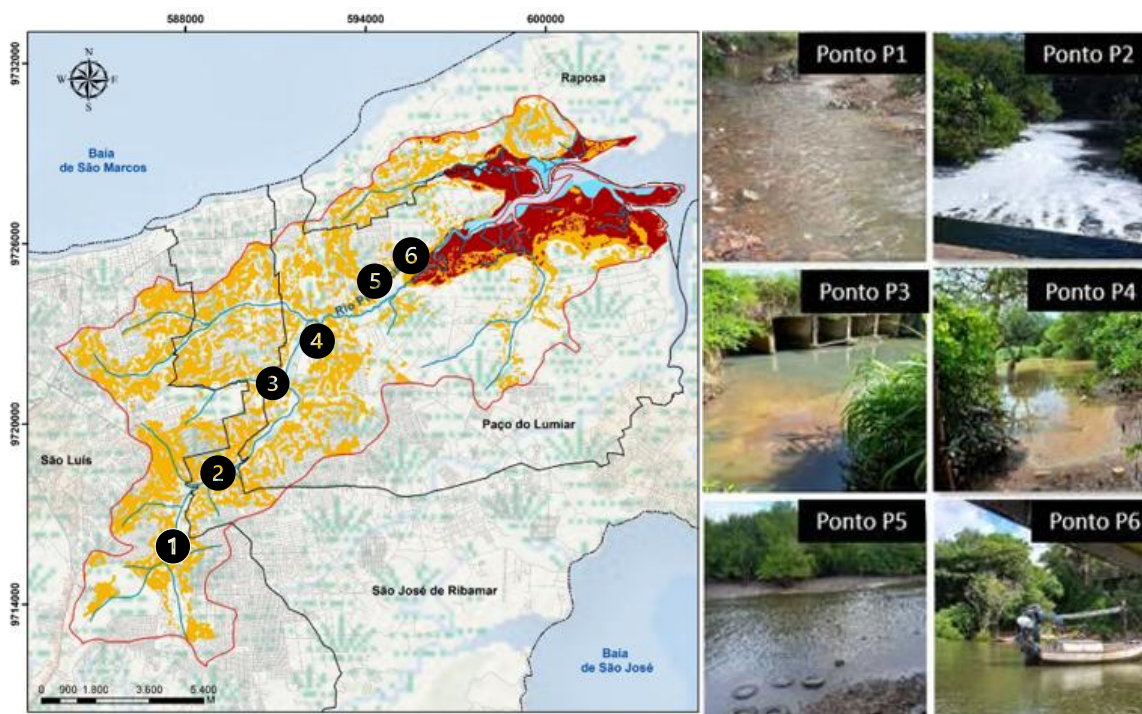


Fonte: autoria própria, 2026.

4.2.4 Pontos de vulnerabilidade da BHRP

Na Figura 12 estão descritos pontos estratégicos de identificação da vulnerabilidade da bacia: O **ponto 1**, localiza-se no bairro Jardim São Cristovão, na Av. Lourenço Vieira da Silva. No seu entorno encontram-se academia de ginástica, postos de combustíveis, restaurantes e bares. O **ponto 2**, no município de São José de Ribamar, localiza-se na BR-135, conhecida Estrada de Ribamar. No entorno desse ponto, encontram-se postos de combustíveis, escolas e condomínios, como Village do Bosque II, além de conveniências, de loja de autopeças, dentre outros serviços. O **ponto 3**, no município de Paço do Lumiar, localiza-se na rua São Pedro, na Vila Maioba do Jenipapeiro, nas proximidades da Escola de Futebol Fluminense. Já o **ponto 4**, localiza-se na rua Principal da Pindoba, próximo do Valparaíso Adventure Park. O **ponto 5**, localiza-se nas proximidades do Porto de Mocajutuba, no município de Paço do Lumiar. O **ponto 6**, localiza-se no bairro Iguaiá no município Paço do Lumiar, na rua do Porto da Salina.

Figura 12 - Pontos principais da BHRP.



Fonte: autoria própria (2025); Pinheiro, *et al.* (2025).

Na porção Centro-Sul da BHRP abrange todos os cursos d'água principais e secundários, sendo a maior concentração localizada em terrenos de fundo de vale e planícies de inundação densamente ocupadas e urbanizadas, com elevada intervenção e controle humano, no qual tem-se uma expressiva e crescente concentração de casas, condomínios residenciais de médio e alto padrão, além de centros comerciais e de serviços. Além disso, essas áreas de vulnerabilidade muito alta estão diretamente associadas a importantes vias de grande circulação de veículos, sendo que o sentido predominante da expansão da urbanização encontra-se na direção Oeste-Leste, seguindo as rodovias MA-201 e MA-204, com a ampliação acelerada da construção civil voltada para fins residenciais, sobretudo, relacionados à implementação de programas governamentais de habitação popular.

Dessa forma, as principais áreas críticas e mais propensas a impactos negativos são os pontos estratégicos nos quais as vias principais cortam e interceptam os canais fluviais, como a Avenida Lourenço Vieira da Silva e nas proximidades da MA-201 no trecho conhecido como Estrada da Maioba, requerendo atenção especial e medidas urgentes de mitigação e gestão de riscos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de Zoneamento Ambiental realizado classifica a paisagem da Bacia Hidrográfica do rio Paciência em diferentes níveis de suscetibilidade e vulnerabilidade ambiental e apresenta de forma sintética, mapas e informações, subsídios a ocupação racional e preservação dos espaços de maneira equilibrada. Contribui-se, desta maneira, para os estudos ambientais de abordagem de paisagem integrada, aplicação e adaptação de metodologias de zoneamento e vulnerabilidade ambiental.

Diante do exposto, em relação à situação ambiental apresentada para a BHRP, sugere-se a manutenção de remanescentes florestais, notadamente das áreas de maior vulnerabilidade, dada à importância da cobertura vegetal a estabilidade dos ambientes naturais.

Sob esse ângulo, as informações geradas pelo referido estudo, objetivaram contribuir para a elaboração de medidas preventivas pelos órgãos gestores responsáveis pelo planejamento urbano estadual e municipais, frente aos possíveis danos ambientais integrados, intensificados por ações humanas cumulativas nessa região hidrográfica contida na Ilha do Maranhão.

Por fim, a partir das interrelações entre os mapas de suscetibilidade à inundação, suscetibilidade à erosão e suscetibilidade ecodinâmica da BHRP geraram resultados espacializados e georreferenciados, ferramentas úteis de apoio à tomada de decisão quanto à criticidade dos processos configuradores de vulnerabilidade humana e ambiental. Todos os mapas elaborados fazem parte do produto desta dissertação, com destaque, aos três supracitados.

6 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Grata à Universidade Estadual do Maranhão – UEMA pelo acolhimento durante o mestrado, aos professores e técnicos desta casa. Agradeço, também, imensamente à minha orientadora Andrea Christina Gomes de Azevedo Cutrim, assim como, o apoio imensurável do prof. Dr. Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias. Grata à minha família, principalmente, à minha mãe Maria do Socorro Angelim pelo apoio incondicional.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024**: informe anual. Brasília, 2024.

ALMEIDA, N. V. 2012. **Ordenamento territorial geoambiental da bacia hidrográfica do rio Taperoá, semiárido paraibano**. Tese de doutorado em Geografia. Universidade Federal Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. 238p.

BARBOSA, C.F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos - SP. INPE, 1997.

BARBOSA, C. **Operadores zonais em álgebra de mapas e sua aplicação a zoneamento ecológico econômico**, 1998. ISBN 85-17-00015-3.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.

BRASIL. **Decreto 4.297, de 10 de julho de 2002**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm>. Acesso em: 09 ago. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/l9433.htm>. Acesso em: 05 abr. 2025.

BRASIL. **Conferência geral sobre desastres: para prefeitos, dirigentes de instituições públicas e privadas e líderes comunitários**. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília. 2007.

CAMPOS, V. N. O.; FRACALANZA, A. P. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. **Ambiente & Sociedade**, v.13, n.2, p.365-382, jul/dez, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1414-753X2010000200010>>.

CASTRO, F. V. F, et al. A Política Nacional de Recursos Hídricos e a gestão de conflitos em uma nova territorialidade. **Geografias**, Belo Horizonte, v.1, n.1, p.37-50, jul/dez, 2005.

CAVALCANTI Jr, Francisco Afonso. **Zoneamento do escoamento superficial da bacia hidrográfica do Rio Paciência, Ilha do Maranhão - MA**. Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Dissertação de Mestrado. Presidente Prudente – SP, 2016.

CEREZINI, M. T; HANAI, F.Y. Desafios e diretrizes para a gestão integrada da água em bacias hidrográficas: visão dos especialistas. **Sustainability in Debate**, Brasília, v.14, n.2, p.26-42, ago/2023.

CPE_Tecnologia. **Como a cartografia apoia a sustentabilidade ambiental**. Disponível em: <https://blog.cpetecnologia.com.br/como-a-cartografia-apoia-a-sustentabilidade-ambiental/>, 2025. 11 de fevereiro de 2025.

CORREIA, F. N. Algumas reflexões sobre os mecanismos de gestão de recursos hídricos e a experiência da União Europeia. **REGA**, vol. 2, n.2, pp. 5-16. 2005.

COSTA, Brenda. **Mapas de altimetria, declividade, geologia, geomorfologia, pedologia, uso e cobertura da terra e suscetibilidade ao acúmulo hídrico da BHRP**, 2025.

CUNHA, S. B. Canais Fluviais e a Questão Ambiental. In.: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 2119-237.

DANTAS, M.E.; SHINZATO; E.; BANDEIRA, I.C.N.; VARGAS, L.; RENK, J.F.C. Compartimentação geomorfológica do Estado do Maranhão, cap. 3. In: BANDEIRA, I.C.N. (ed.) **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Teresina, 2013. p. 31-62.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (1979). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FEITOSA, A.C. **Relevo do Estado do Maranhão**: uma nova proposta de classificação topomorfológica. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia. 4 Goiânia, Anais... Goiânia: UGB, 2006. P. 1-11. CD-ROM.

GARCIA, M.L.; BRAY, O.H. Fundamentals of technology roadmapping. Report SAND97-0665, **Sandia National Laboratories**, 1997.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). **Integrated water resources management**. Technical Advisory Committee Background Paper No.4. Stockholm: Global Water Partnership. 2000.

GOMES, Weslen Manari; MEDEIROS, Rafael Brugnolli; PINTO, André Luiz. Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego moeda, três lagoas/ms. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 5, 2015.

GRANELL-PÉREZ, M.D.C. **Trabalhando geografia com as cartas topográficas.** Ijuí: Unijuí, 2001.

HUTTON, C. J. **Modelling Geomorphic Systems: Numerical Modelling: Geomorphological Techniques.** Londres: British Society for Geomorphology, 2012.

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Vulnerabilidade ambiental a inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Paciência:** Ilha do Maranhão. São Luís: IMESC, 2021.

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Relatório técnico de Geologia, Geomorfologia e Hidrogeologia do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Amazônico.** São Luís: IMESC, 2019.

_____. **Relatório Técnico de Pedologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Amazônico.** São Luís: IMESC, 2019.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Água, Problemas Complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Capítulo 2 - Segurança Hídrica e seus Múltiplos Significados. 1ª edição. Rio de Janeiro – RJ, 2022.

IORIS, A. A. R. Passado e presente da política de gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Finisterra**, v.41, n.82, p. 87-99, 2006.

JACOBI, P. Impactos socioambientais urbanos – do risco à busca de sustentabilidade. In: MENDONÇA, F. A. (org.). **Impactos Socioambientais Urbanos.** Curitiba: UFPR, 2004.

JORDÃO, C.O; MORETTO, E.M. **A vulnerabilidade ambiental e o planejamento territorial do cultivo de cana de açúcar.** Revista Ambiente & Sociedade. São Paulo v. XVIII, n. 1, 2015.

KASPERSON, R. E.; DOW, K.; ARCHER, E. R. M.; CÁCERES, D.; DOWNING, T. E.; ELMQVIST, T.; ERIKSEN, S.; FOLKE, C.; HAN, G.; IYENGAR, K. VOGEL, C.; WILSON, K. A.; ZIERVOGEL, G. Vulnerable Peoples and Places. In: HASSAN, R.; SCHOLLES, R.; ASH, N. 9 (ed.). Ecosystems and human well-being: current state and trends. **Millennium Ecosystem Assessment.** Washington, DC: Island Press, 2005.

LEITÃO, S. A. M. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. **GeoTextos**, vol. 4, n. 1 e 2, p. 145-163, 2008.

MACIEL FILHO, Carlos Leite; NUMMER, Andrea Valli. **Introdução à geologia de engenharia**. 5. ed. revista e ampliada. Santa Maria: UFSM; [São Paulo]: Ofitexto, 2014. 456 p.

MELO, C.F.; BRITO da SILVA, A.; PERES, A. da C. **Contribuição ao Conhecimento da Fauna dos Manguezais Paraenses**. In: WORKSHOP ECOLAB, 3., 1995, Belém. Livro de resumos expandidos. Belém: UFPA/MPEG/SUDAM, 1995 p. 35-37.

MENEZES, C. G.; LAIO, A.A.M; SANCHES, T.F; CÂNDIDO, A.K.A.A; CORREA, J.S; STEFFEN, J.L; VICTÓRIO, A.C.B; MENEZES, N.G. **Análise de metodologias para determinação de declividade em bacias hidrográficas**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 17 a 22 de novembro de 2013. Bento Gonçalves- RS.

OLIVER-SMITH, A. Theorizing vulnerability in a globalized world: a political ecological perspective. In: BANKOFF, G.; FRERKS, G.; HILHORST, D. **Mapping vulnerability: disasters, development & people**. London: Earthscan, 2004. p. 10-24.

PINHEIRO, K. S. F.; CAMPOS J. E. G.; SOUSA, C. J. S.; SÍRIO, D. L. N, SÍRIO. **Hidroquímica e análise da capacidade de autodepuração do rio Paciência, ilha do Maranhão, nordeste do Brasil**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 44, n. 1, p. 83 - 101, 2025.

POLIVANOV, H.; BARROSO, E. V. Geotecnia Urbana. In: GUERRA, A. J. T.(org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2011. Cap. 5. P.147 – 188.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>>.

RIEKHOF, M. C.; REGNIER, E.; QUAAS, M. F., 2019. Economic growth, international trade, and the depletion or conservation of renewable natural resources. **Journal of environmental economics and management**, 97, 116-133.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993.

SANTOS, R. F.; CALDEYRO, V. S. Paisagem, condicionantes e mudanças. In: SANTOS, R. F. (org). **Vulnerabilidade ambiental**. Brasília: MMA, 2007

SANTOS, G. I. F. A. *et al.* Levantamento das características hidrogeológicas do Aquífero Barreiras e Itapecuru na bacia hidrográfica do Rio Paciência – **Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas**, 2020.

SILVA, R. T.; PORTO, M. F. A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**, v.17, n. 47, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142003000100007>>.

SILVA, T.S. A governança das águas no Brasil e os desafios para a sua democratização. **Revista UFMG**, Belo Horizonte, v.20, n.2, p.236-253, jul./dez. 2013.

SILVA, A. M. da. **Relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica em função das características físicas e de uso do solo estudadas através de técnicas de Geoprocessamento**. 1999. 247fls. Tese Doutorado em Ciências de Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia Ambiental de São Carlos, São Carlos - SP.

SOUSA, I. D. S. MÍLEN, A. F. RIBEIRO, C. S. LOPES, F. C. F. DIAS, L. J. B. **Urbanização e perturbações ambientais em áreas de cabeceiras de drenagem no centro da Ilha do Maranhão**. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. Anais. Goiânia. 2006. 7p.

SOUSA, F.R.C; PAUL, D.P. Análise de perda do solo por erosão na Bacia Hidrográfica do rio Coreaú (CEARÁ – BRASIL). **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 20, nº 3 (2019). ISSN 2236-5664.

STEAUAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

TOMLIN, C. D. Map algebra: one perspective. **Landscape and urban planning**. 30., 1994. 3 - 12. DOI: 10.1016/0169 2046(94)90063-9.

TOMLIN, C. D.; BERRY. A mathematical structure for cartographic modeling in environmental analysis. **American Congress on Surveying and Mapping**. Falls Church. VA. Março 1979. 269-283.

TRICART, J. 1977. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria técnica, SURPREN. 97p.

TUCCI. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/Rhama, 2007. 356 p.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n.70, p.24-35, jun/ago, 2006.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200002>>.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Recursos Hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

TUNDISI, J. G. (Coord). **Recursos Hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 76 p.

TURNER, B. L.; KASPERSON, R. E.; MATSONE, P. A.; MCCARTHYF, J. J.; CORELLG, R. W.; CHRISTENSENE, L., ECKLEYG, N. KASPERSONB, J. X.; LUERSE, A.; MARTELLOG, M. L.; POLSKYA C.; PULSIPHERA, A.; SCHILLERB, A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. n. 14, v. 100, p. 8074–8079, 2003.

UNESCO (2019). **World Water Development Report**. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento da Água 2019 - Não Deixar Ninguém Para Trás Disponível em: <https://www.unesco.org/en/wwap/wwdr/2019>. Acesso em: 01 de nov. 2025.

VALENTE, M.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.C. de; SILVA, J.M.L. da; SANTOS, P.L. dos; RO DRIGUES, T.E.; SILVA, P.R.O da; SILVA NETO, P.B. da. **Solos da ilha de Algodão Maiandeuá, município de Maracanã Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 21p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 22).

WILLIAMS, L. R. R., e KAPUTSKA, L. A. Ecosystem vulnerability: a complex interface with technical components. **Environmental Toxicology and Chemistry**. v. 19, p.1055 1058. 2000.

WISHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978.

X. Wu e X. Huang. Research on the geometric weighting-coupling degree method for the urban ecological environment vulnerability index. **Ecological Indicators**. Available online 17 April 2024. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).