



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

STEPHANIE Jael NEGRÃO DE FREITAS RUIZ

**VULNERABILIDADE À EROSÃO NA ILHA DO MARANHÃO:  
INFLUÊNCIA DO CLIMA E DAS MUDANÇAS DE USO E  
COBERTURA DO SOLO**

São Luís, MA  
2025

**STEPHANIE Jael NEGRÃO DE FREITAS RUIZ**

Engenheira Sanitarista e Ambiental

Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho

Mestra em Ciências Ambientais

**VULNERABILIDADE À EROSÃO NA ILHA DO MARANHÃO:  
INFLUÊNCIA DO CLIMA E DAS MUDANÇAS DE USO E  
COBERTURA DO SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutora em Ciências Agrárias.

Orientador(a): Prof. Dra. FRANCISCA HELENA MUNIZ. Coorientador: Prof. Dr. GIORDANI RAFAEL CONCEIÇÃO SODRÉ.

São Luís, MA

2025

Ruiz, Stephanie Jael Negrão de Freitas

Vulnerabilidade à erosão na ilha do Maranhão: influência do clima e das mudanças de uso e cobertura do solo / Stephanie Jael Negrão de Freitas Ruiz. – São Luis, MA, 2025.

99 f

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientador: Profa. Dra. Francisca Helena Muniz

Coorientador: Prof. Dr. Giordani Rafael Conceição Sodré

1.Antropização. 2.São Luís. 3.Zona costeira. I.Titulo.

CDU: 551.3.053(812.1)

**Elaborado por Cássia Diniz - CRB 13/910**

STEPHANIE JAEL NEGRÃO DE FREITAS RUIZ

Engenheira Sanitarista e Ambiental

Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho

Mestra em Ciências Ambientais

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutora em Ciências Agrárias.

Orientador(a): Prof. Dra. FRANCISCA HELENA MUNIZ.

Coorientador: Prof. Dr. GIORDANI RAFAEL CONCEIÇÃO SODRÉ.

Aprovada em: 28/08/2025

Comissão julgadora:

---

Profa. Dra. Francisca Helena Muniz - UEMA  
ORIENTADORA

---

Profª. Dra. Camila Pinheiro Nobre - UEMA

---

Prof. Dr. Marcos Ronielly da Silva Santos - IFPA  
EXTERNO

---

Prof. Dr. Paulo Amador Tavares - UEAP  
EXTERNO

---

Prof. Dr. Celso Henrique Leite Silva Junior - IPAM  
EXTERNO

Este trabalho é dedicado ao Deus verdadeiro, o El-Shaday, o mais que suficiente.

עבודה זו מוקדשת לאלוהים האמיתי, אל שדי, האחד שהוא יותר ממספיק

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa e pelo apoio técnico-científico. Agradeço também à Universidade Estadual do Maranhão, que me proporcionou valiosas oportunidades acadêmicas e profissionais. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCIAG), pela assistência incondicional ao longo de minha trajetória, e a todos os professores de excelência que compõem seu corpo docente. A minha orientadora, Dra. Francisca Helena Muniz, é merecedora de meu reconhecimento e gratidão. Seu acolhimento humano e amigável, sua compreensão e a liberdade que me concedeu no processo criativo e singular que foi o desenvolvimento desta tese foram fundamentais para o meu progresso. Agradeço-lhe por ser uma profissional diferenciada, sempre disposta a me apoiar, potencializando minhas capacidades, sendo uma referência de gentileza, graciosidade e humildade. Agradeço também ao meu coorientador, o Meteorologista da UFPA, Dr. Giordani Sodré, que esteve ao meu lado durante todo o percurso, desde o mestrado até o doutorado. Sua orientação técnica e incentivo constante foram essenciais para a concretização deste trabalho. Sem sua valiosa coorientação, esta tese não teria sido possível. Aos meus pais, o Pastor José Freitas e Suzana Negrão, expresso meu amor e gratidão, por suas orações e por me ensinarem o maior valor da vida: amar a Deus acima de todas as coisas. Sempre me vi como o reflexo do meu pai, mas, com o desenvolvimento dessa tese, percebi que carrego em mim muito mais da minha mãe do que imaginava. Ela, uma geógrafa com um olhar tão atento e profundo sobre as cidades, que enxerga além do óbvio, com uma visão holística que inspira. Uma mulher apaixonada pelo trabalho de Milton Santos, que me ensinou a apreciar o mundo com a mesma sensibilidade e curiosidade. É incrível perceber como esse legado dela vive em mim, florescendo a cada dia. Ao meu amado esposo, Breno, um geólogo brilhante que dedica seu talento à maior empresa do Brasil, a nossa querida Petrobras, deixo aqui minha mais profunda gratidão e amor eterno. Sua inteligência, seu apoio incondicional e sua presença ativa na construção desta tese foram fundamentais, não apenas para o trabalho, mas para fortalecer ainda mais o nosso vínculo. Por você, Breno, e pela nossa família, entrego meu coração e minha vida, sempre. Minha gratidão também vai para as minhas amadas sobrinhas, Júlia e Susie, que ocupam um

espaço imenso no meu coração. Apesar de serem ainda tão pequeninas, elas têm o dom de me oferecer o que há de mais puro e precioso neste mundo: o amor. Esse amor, tão genuíno e desinteressado, é o que me sustenta e me dá forças nos dias mais difíceis. Talvez elas não leiam estas palavras agora, mas deixo aqui este registro com todo o meu carinho, para que um dia, no futuro, possam ler e sentir orgulho de sua tia, assim como eu tenho delas. Que saibam o quanto significam para mim e como seus nomes, gravados aqui, carregam um pedaço do meu coração. Agradeço as minhas irmãs Suhelen, Sally e Débora, que têm sido meu porto seguro desde o primeiro dia da minha vida. A vocês, que sempre estiveram ao meu lado, ofereço meu amor e mais profunda admiração. Agradeço ao meu querido grupo de amigos, carinhosamente chamado de “Jurunas” composto por Jucyanna, José, Railson, Vinícius e Mayara, que conheci na universidade onde iniciei minha graduação em Engenharia Ambiental. Vocês foram mais do que amigos; foram minha família nos momentos mais desafiadores e caóticos. Sem o apoio, a amizade sincera e a união que compartilhamos, eu jamais teria chegado até aqui para escrever estes agradecimentos. Nosso laço é tão profundo e cheio de histórias que guardo com carinho. Ao olhar para trás, ao final deste ciclo de graduação, mestrado e doutorado que durou 12 anos, meu coração se enche de saudade daqueles dias na Uepa, em Marabá-PA, onde tudo começou. É impossível não lembrar com gratidão e alegria dos momentos que vivemos juntos, que marcaram profundamente minha jornada e posso afirmar que tudo o que vivi me conduziu até este momento. Obrigada por tudo, meus irmãos. Por fim, elevo minha gratidão mais profunda e minha devoção suprema ao meu Deus, o El-Shaday, o Mais que Suficiente. Ele, que é o centro da minha vida, que amo acima de todas as coisas, planejou meu caminho de forma tão extraordinária, conduzindo-me a vivenciar milagres que jamais imaginei. Foi Ele quem me presenteou com uma família abençoada e me permitiu alcançar o título de Doutora em Ciências Agrárias, algo que, com a força dos meus próprios braços, seria impossível. Cada linha, cada pensamento e cada conquista desta tese são reflexos da infinita graça que Ele derramou sobre mim. Sem Ele, todos os nossos esforços são como cinzas. A Ele dedico toda honra, toda glória e todo louvor, pois é somente por Ele e para Ele que tudo existe.

*“Mil cairão ao teu lado, e dez mil à tua direita, mas não chegará a ti. Porque aos seus anjos dará ordem ao teu respeito, para te guardarem em todos os teus caminhos.”*

***Salmos 91:7;11.***

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>15</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
2.1 Vulnerabilidade ambiental .....	18
2.2 Erosão do solo e Mudanças de uso da terra.....	20
2.3 Características climáticas da Amazônia Oriental.....	22
<b>3. HIPÓTESES.....</b>	<b>25</b>
<b>4. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>25</b>
4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO II MAPEAMENTO E ANÁLISE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL SAZONAL NA ILHA DE SÃO LUÍS, MARANHÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>32</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>33</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
Caracterização da Área de Estudo.....	38
Mapeamento Geoambiental.....	40
Adaptação metodológica.....	41
Embasamento Geológico.....	41
Tipos de solos que ocorrem na Ilha.....	41
Caracterização do relevo.....	42
Caracterização climática.....	42
Vegetação e uso da terra.....	42
Geoprocessamento de vulnerabilidade ambiental.....	43
Processamento de dados.....	43
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>44</b>
Geoformas mapeadas na Ilha.....	44
Análise de vulnerabilidade ambiental.....	49
<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>53</b>
Correlação entre os cenários mapeados e a realidade na região metropolitana de São Luís.....	53
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

<b>CAPÍTULO III - Impactos da Urbanização Desordenada na Cobertura Vegetal, Microclima e Sustentabilidade da Ilha do Maranhão.....</b>	<b>62</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>62</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>63</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>66</b>
Caracterização da Área de Estudo.....	66
Base de dados.....	67
Precipitação.....	67
Temperatura do ar.....	68
Dados de cobertura do solo.....	68
Análise de dados.....	69
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
Antropização da superfície.....	70
Antropização acumulada relativa e absoluta.....	72
Precipitação.....	75
Padrão sazonal, análise comparativa na Ilha.....	77
Temperatura .....	79
<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>80</b>
Impactos da análise diante da realidade na Ilha de São Luís.....	80
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>
<b>CAPÍTULO IV INTEGRADOR.....</b>	<b>89</b>
Reflexões sobre os resultados dos estudos de vulnerabilidade, mudanças de uso da terra e seus impactos na agricultura familiar na Ilha do Maranhão.....	89
Impactos na Agricultura familiar .....	91
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>93</b>
<b>CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização geográfica da Ilha de São Luís - MA.....	39
Figura 2: Fluxograma metodológico de análise de vulnerabilidade ambiental à perda de solo.....	44
Figura 3: Geoformas na Ilha de São Luís-MA.....	47
Figura 4: Cenário da primavera gerado na avaliação de vulnerabilidade à perda de solo.....	51
Figura 5: Cenário do inverno gerado na avaliação de vulnerabilidade à perda de solo.....	51
Figura 6: Cenário do verão gerado na avaliação de vulnerabilidade à perda de solo.....	52
Figura 7: Cenário do outono gerado na avaliação de vulnerabilidade à perda de solo.....	52
Figura 1: Localização geográfica da Ilha de São Luís - MA.....	66
Figura 2: Fluxograma metodológico da análise de antropização.....	70
Figura 3: Evolução da perda de áreas naturais e o aumento de áreas antrópicas nos municípios da Ilha: (a) São Luís; (b) São José de Ribamar; (c) Paço do Lumiar e (d) Raposa.....	71
Figura 4: Evolução da perda de áreas naturais e o aumento de áreas antrópicas nos municípios da Ilha de forma cumulativa em percentual: (a) São Luís; (b) São José de Ribamar; (c) Paço do Lumiar e (d) Raposa .....	73
Figura 5: Evolução da perda de áreas naturais e o aumento de áreas antrópicas nos municípios da Ilha de forma absoluta em percentual: (a) São Luís; (b) São José de Ribamar; (c) Paço do Lumiar e (d) Raposa .....	74
Figura 6: Precipitação máxima , mínima e média ao longo da serie histórica da Ilha de São Luís (a) e especificamente para cada município (b).....	77
Figura 7: Padrão de precipitação anual dos municípios da Ilha de São Luís.....	78
Figura 8: Padrão mínimo, médio e máximo de temperatura dos municípios da Ilha de São Luís.....	80

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CHIRPS - CLIMATE HAZARDS GROUP INFRARED PRECIPITATION WITH STATIONS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

CPRM – COMPANIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA

ENOS – EL NINO OSCILAÇÃO SUL

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

IBGE – ISNTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

UNISDR – UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCION

SCU – SISTEMA CLIMÁTICO URBANO

LI – LINHAS DE INSTABILIDADE

MDT – MODELO DIGITAL DO TERRENO

MMA – MODO MERIDIONAL DO ATLÂNTICO SUL

NASA – AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION

IVA – ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

RADAM – PROJETO RADAR AMAZONIA

QGIS – QUANTUM GIS

SRTM – SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION

SCMC – SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA CIRCULAR

ZCIT – ZONA DE CONVERGENCIA INTER TROPICAL

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL. SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION

## RESUMO

As zonas costeiras, como a Ilha de São Luís, enfrentam desafios relacionados à urbanização desordenada e processos erosivos, agravados pela degradação florestal e alterações no escoamento superficial. Este estudo analisou a relação entre a antropização e a vulnerabilidade socioambiental e climática na região, investigando como mudanças no uso da terra e na vegetação intensificam os processos erosivos e impactam o microclima local. A pesquisa considerou variáveis como solos, uso e cobertura da terra, precipitação, geomorfologia e geologia para identificar áreas suscetíveis à erosão. Foram adotadas duas abordagens metodológicas: na primeira, mapas foram elaborados via geoprocessamento para delimitar áreas vulneráveis à erosão, considerando as características das estações meteorológicas da Amazônia Oriental; na segunda, analisou-se o crescimento urbano, a perda de áreas naturais e as variações climáticas ao longo de 30 anos. Os resultados indicaram elevada vulnerabilidade à erosão na Ilha de São Luís, com impactos significativos do uso da terra no microclima, evidenciados por variações de precipitação e temperaturas (máxima, mínima e média). A pesquisa destacou a necessidade de fortalecer o ordenamento territorial, especialmente nos municípios de Paço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar, por meio de instrumentos como o Plano Diretor e a criação de unidades de conservação. Também é essencial preservar áreas protegidas ameaçadas pelo desmatamento e promover uma urbanização sustentável integrada à conservação florestal. Para melhorar o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida, especialmente nas comunidades que dependem da agricultura e pesca, é fundamental valorizar o conhecimento tradicional das comunidades pesqueiras. Estudos futuros devem focar em eventos climáticos extremos para mitigar impactos erosivos. A pesquisa reforça a importância de ações integradas para enfrentar os desafios ambientais e socioeconômicos da Ilha de São Luís.

**Palavras – chave:** Antropização. São Luís. Zona costeira.

## ABSTRACT

Coastal zones, such as São Luís Island, face challenges related to unplanned urbanization and erosive processes, exacerbated by forest degradation and changes in surface runoff. This study analyzed the relationship between anthropization and socio-environmental and climatic vulnerability in the region, investigating how changes in land use and vegetation intensify erosive processes and impact the local microclimate. The research considered variables such as soils, land use and cover, precipitation, geomorphology, and geology to identify areas susceptible to erosion. Two methodological approaches were adopted: first, maps were created through geoprocessing to delineate areas vulnerable to erosion, taking into account the characteristics of the meteorological stations of the Eastern Amazon; second, urban growth, loss of natural areas, and climatic variations over 30 years were analyzed. The results indicated a high vulnerability to erosion in São Luís Island, with significant impacts of land use on the microclimate, as evidenced by variations in precipitation and temperatures (maximum, minimum, and average). The study highlighted the need to strengthen territorial planning, particularly in the municipalities of Paço do Lumiar, Raposa, and São José de Ribamar, through instruments such as the Master Plan and the creation of conservation units. It is also essential to preserve protected areas threatened by deforestation and promote sustainable urbanization integrated with forest conservation. To improve environmental balance and quality of life, especially in communities dependent on agriculture and fishing, it is crucial to value the traditional knowledge of fishing communities. Future studies should focus on extreme climatic events to mitigate erosive impacts. The research reinforces the importance of integrated actions to address the environmental and socioeconomic challenges of São Luís Island.

**Keywords:** Anthropization. São Luís. Coastal area.

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, mais de 80% dos brasileiros vivem em áreas urbanas e o acelerado crescimento urbano tem criado espaços fragmentados com ampla segregação espacial, agravando a desigualdade social e a degradação ambiental (IBGE, 2022). Os grandes centros urbanos têm apresentado mudanças ambientais significativas nas últimas décadas, diversos fatores tem contribuído para essas alterações, como a migração rural - urbana, a transformação do uso e coberturado solo, criação de assentamento urbanos, invasões, dentre outras atividades antrópicas. A carência no planejamento, gerenciamento e infraestrutura nas cidades resultam nas ocupações em áreas de risco, em ambientes sujeitos a eventos críticos como enchentes e inundações, e um maior acometimento por doenças (Silveira e Ferreira, 2024).

A expansão urbana tornou-se rápida em comparação com a capacidade das instituições de se adaptarem; geralmente zonas costeiras (naturalmente expostas) que são o alvo de processos de urbanização, sofrem com processos erosivos de forma que ocupações em locais inadequados degradam florestas, modificam o percurso do escoamento superficial e posteriormente geram voçorocas e taludes. (UNISDR, 2009; Galera e Souza, 2023).

A erosão dos solos é um fenômeno resultante da desagregação, transporte e deposição ou sedimentação das partículas de solos pela ação da chuva ou do vento. Este fenômeno, geralmente, ocorre na superfície do solo removendo a porção mais fértil, onde há melhores condições físicas, biológicas ao desenvolvimento radicular das plantas. Esta ocorre quando o solo permanece desnudo e exposto a ação abrasiva dos ventos e da água. A retirada da mata ciliar, depósitos irregulares de resíduos e alta impermeabilização da bacia urbana aumentam o transporte e sedimentação das partículas de solos afetando a frequência e intensidade das partículas em cursos d'água (Santos e Guerra, 2021).

Além da realidade supracitada, a erosão é um fenômeno natural que atua na formação das paisagens e possui fatores que a condicionam, são esses: precipitação, relevo, solos, cobertura vegetal e geomorfologia. Entretanto, é acentuada com a ação antrópica não planejada, as chamadas “mudanças de uso da terra”. O processo de urbanização desenfreado dando origem a loteamentos em lugares inadequados pela perspectiva geotécnica, além da precariedade dos sistemas de drenagem de águas pluviais maximiza a degradação, prejudicando em sua maioria a população menos favorecida economicamente. Ou seja, o ritmo acelerado do crescimento de um território, se não for bem planejado, o torna vulnerável (Santos e Santos, 2022).

Nessa discussão, emerge o conceito de risco, desastre e vulnerabilidade ambiental, esta que pode ser definida como o grau em que um sistema experimenta danos devido à exposição, sendo o inverso da resiliência e capacidade de resistência (Birkmann, 2014; De Alba, et al., 2021).

A vulnerabilidade ambiental é definida como o inverso da capacidade da paisagem de absorver possíveis alterações sem perda da qualidade. Os estudos sobre esta temática tornam-se cada vez mais necessários, pois permitem obter informações em curto espaço de tempo sobre estrutura da paisagem tendo em vista suas características, utilizadas na elaboração de estratégias de manejo de paisagens (Leal et al., 2019; De Alba et al., 2021).

No contexto de desastres ambientais, o risco é compreendido como a possibilidade de perdas humanas, materiais e sociais, resultante da interação entre quatro componentes principais: o perigo, entendido como eventos naturais ou ações antrópicas com potencial de causar danos; a exposição, que se refere à presença de pessoas, bens e sistemas em áreas suscetíveis; a vulnerabilidade, relacionada à fragilidade desses elementos frente aos impactos; e a capacidade, definida como a habilidade de resistir, responder e se recuperar dos efeitos adversos. A combinação desses fatores determina o grau de risco enfrentado por uma sociedade ou ecossistema (UNDRR, 2020)

Tendo como referência a definição do Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (2018), desastre constitui qualquer evento ou situação que resulta em uma grave perturbação no cotidiano de uma comunidade ou sociedade, produzindo um conjunto de impactos ambientais, econômicos e sociais, bem como efeitos sobre as condições de vida e saúde, que irão se manifestar em curto, médio e longo prazos. A depender da magnitude do evento, outra característica é exceder as capacidades da comunidade ou sociedade de lidar com o conjunto de seus impactos fazendo uso de seus próprios recursos.

Nessa perspectiva, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm facilitado análises de vulnerabilidade ambiental e as atividades relacionadas à caracterização, ao diagnóstico e ao planejamento ambiental e urbano, auxiliando em tarefas como a simulação do espaço geográfico e de seus processos naturais, na integração de informações espaciais (Palheta et al., 2022).

Para que o planejamento ambiental possa incorporar a análise da vulnerabilidade ambiental é necessário um estudo integrado de seus elementos, objetivando definir as áreas que requerem maior proteção ou que apresentam maiores restrições e, sobretudo, que necessitam de ações diferenciadas para a gestão por parte dos órgãos públicos (Freitas et al., 2020).

Um dos indicadores de vulnerabilidade é a precipitação; nesse contexto, a ilha de São Luís, situada no Estado do Maranhão, está inserida na América do Sul (AS), a qual possui uma geografia diversificada, propícia ao desenvolvimento e atuação de diferentes sistemas atmosféricos que contribuem para não-homogeneidade espacial e temporal da precipitação.

A expansão urbana na Ilha tem gerado modificações que envolvem adversidades socioeconômicas, culminando em degradação do meio natural, ocasionando então um histórico de vulnerabilidades ambientais para o meio rural e urbano (Cabral e Cândido, 2019).

As alterações ocorridas devido ao rápido e desordenado crescimento urbano leva a alteração do Sistema Climático Urbano (SCU) (Luna et al., 2019), que além de tornar as regiões mais vulneráveis aos desastres naturais, impacta diretamente as condições de conforto ambiental, sustentabilidade e a dinâmica de vida.

Para agravamento desta trajetória histórica, Santos et al., (2023) entende que toda a Amazônia brasileira tem sentido os impactos da mudança do clima, principalmente em termos de secas mais severas e períodos de intensas precipitações. Os fenômenos hidrometeorológicos em geral são acompanhados por desastres, com dimensões sociais e ambientais, ampliando ainda o seu impacto nas áreas urbanas sujeitas a algum tipo de inadequação, seja fundiária ou por carência de infraestrutura, ou em decorrência da produção improvisada do espaço (tais como as invasões e loteamentos clandestinos), que foram designadas pelo IBGE como aglomerados subnormais (IBGE, 2022).

As zonas costeiras estão entre os ecossistemas mais produtivos e valiosos do mundo, com quase metade da população humana do planeta vivendo a menos de 100 km da costa. Em todo o mundo, as zonas costeiras abrangem uma diversidade de atividades humanas e seus impactos, incluindo desenvolvimento residencial e industrial, atividades de navegação e atividades de lazer, que podem contribuir para a perda da qualidade ambiental (Rêgo et al., 2018).

No contexto de perda de qualidade ambiental, a erosão do solo é uma problemática recorrente na Ilha de São Luís, apresentando eventos severos que frequentemente geram impactos ambientais e sociais significativos. A região, caracterizada por episódios de precipitação intensa, tem experimentado efeitos devastadores causados pela erosão, como evidenciado por eventos como a formação de crateras no asfalto da BR-135 entre a Vila Maranhão e Maracanã, em 2021, e deslizamentos de encostas, como o ocorrido no Bairro São Raimundo em 2022. Esses fenômenos, além de comprometer a infraestrutura urbana e rural, colocam em risco a segurança da população local, como aconteceu com a ameaça de erodir edificações, e com a destruição de partes do calçadão no Terminal Praia Grande,

devido à força da maré (Rede Mirante do Maranhão, 2020; 2021; 2022).

O impacto da erosão, que compromete tanto a paisagem quanto a qualidade de vida, ocorre em um contexto de crescente urbanização e antropização da Ilha de São Luís. As questões ambientais, especialmente relacionadas à erosão e às mudanças no uso da terra, estão entre os principais desafios que os gestores urbanos e os tomadores de decisão enfrentam atualmente. Como apontado por Ribeiro (2016), a dinâmica dos sistemas ambientais é interdependente, e os efeitos de impactos locais podem reverberar em outras áreas, ampliando os danos. Este contexto reflete uma relação falha entre o homem e a natureza, que, ao invés de ser harmoniosa, tem se tornado cada vez mais problemática, contribuindo para a vulnerabilidade ambiental da região.

A região metropolitana de São Luís, que concentra o principal polo econômico do Estado do Maranhão, apresenta uma vulnerabilidade ambiental crescente devido a essa dinâmica. A rápida urbanização, associada à exploração do solo sem uma gestão adequada, tem levado ao agravamento dos processos de degradação. Portanto, entender como os indicadores ambientais e antrópicos influenciam a vulnerabilidade da cidade é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental mais eficazes, que visem reduzir os riscos de erosão e mitigar os efeitos da antropização.

Dessa forma, a importância deste estudo reside em proporcionar uma análise detalhada dos processos de erosão e da mudança do uso da terra, utilizando técnicas de sensoriamento remoto para a coleta de dados ambientais. A pesquisa visa identificar os fatores que contribuem para a vulnerabilidade à erosão e ao uso inadequado do solo, além de fornecer subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas e ferramentas de gestão que maximizem o desenvolvimento sustentável da Ilha de São Luís. O estudo da vulnerabilidade à erosão do solo é essencial para antecipar os impactos ambientais, orientar a atividade humana para práticas mais sustentáveis e, assim, contribuir para a conservação do meio ambiente e a qualidade de vida da população local (Jacobi et al., 2015).

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Vulnerabilidade Ambiental**

Ser vulnerável no contexto ambiental, significa estar exposto a riscos significativos de danos ou perdas devido a mudanças no meio ambiente. Isso pode ocorrer em diferentes níveis, como: Indivíduos ou comunidades que enfrentam dificuldades para lidar com desastres naturais ou antrópicos, como inundações, secas ou tempestades. Essas dificuldades muitas vezes estão enraizadas em fatores como pobreza, falta de infraestrutura adequada ou localização em áreas de risco. Ecossistemas que estão propensos a sofrer degradação devido

a fatores como poluição, desmatamento ou mudanças climáticas tem sua capacidade de regeneração ou adaptação afetadas (Mudashiru et al., 2021).

Ou seja, essas vulnerabilidades podem ser maximizadas por fatores sociais, econômicos e políticos, que limitam a capacidade de adaptação e mitigação aos impactos ambientais (Nandam e Patel, 2025).

Frequentemente, os conceitos de risco e vulnerabilidade se entrelaçam e, em algumas situações, até se confundem. Por isso, é importante esclarecer as diferenças entre eles e o que cada um representa no contexto desta tese. O risco é determinado como a ocorrência potencial de um evento físico, enquanto a vulnerabilidade é a suscetibilidade de uma região a ser afetada adversamente, e a exposição descreve a presença de elementos que podem ser afetados (Nandam e Patel, 2025).

Para De Alba et al., (2021), vulnerabilidade ambiental é definida pela relação entre as características ecossistêmicas e a influência antropogênica de um determinado recorte espacial. Já para Luo et al., (2021), a vulnerabilidade refere-se à propensão do sistema ambiental a sofrer danos devido à estressores externos.

Como uma medida crítica dos efeitos das atividades antrópicas no ambiente físico, estimar o grau de vulnerabilidade de um recorte espacial pode ajudar a entender a estrutura dos sistemas ambientais e fornecer informações valiosas para controlar outros perigos, construindo assim um ambiente mais sustentável. É importante ressaltar que a vulnerabilidade ambiental é um conceito interdisciplinar tem sido usada em muitos campos diferentes, como ecologia, agricultura e gestão de desastres (Fuchs et al., 2012; Luo et al., 2021).

A expansão agrícola, por exemplo, como uma atividade comum induzida pelo homem que altera o ambiente físico, pode facilmente causar problemas ambientais como erosão do solo de forma superficial à profunda, degradação da terra e seca em muitas regiões do mundo (Nelson et al., 2016; Gomes et al., 2019).

Além disso, alguns estudos concluíram que as mudanças de uso da terra que desencadeiam mudanças climáticas são um dos principais fatores de impacto ambiental de alta vulnerabilidade (Aryal et al., 2019; Abdulrazzaq et al., 2019). Assim, é importante estimar a vulnerabilidade ambiental considerando esses fatores mencionados.

Estudar os componentes naturais e antrópicos que levam à perda de solo no sistema

ambiental tem sido recorrente no Brasil como as pesquisas de Crepani et al. (2001), Ribeiro (2016), Santos et al. (2018), Leal et al. (2019), também na Amazônia, a exemplo de Oliveira et al. (2018) e Freitas et al. (2020), que integraram informações, gerando resultados assertivos.

Dessa forma, estudos de vulnerabilidade ambiental que consideram unidades da paisagem como a geologia, pedologia, geomorfologia, precipitação e vegetação, podem retratar de modo eficaz as particularidades de uma unidade territorial. Ponderar e associar parâmetros a índices gera significância na categorização final. Lançar mão destes indicadores através de mapas é uma escolha excelente, pois problemas de alta complexidade são simplificados através da cartografia para auxiliar tanto o poder público, comunidades e a iniciativa privada na tomada de decisão que considere o bem estar socioambiental de maneira mais justa e equitativa (Papathoma Kohle et al., 2019).

## **2.2 Erosão do solo e mudanças de uso da terra**

Já as mudanças de uso da terra referem-se à alteração das atividades humanas realizadas em uma determinada área, como transformar uma floresta em área agrícola, uma zona rural em urbana, ou conversões de terrenos para diferentes tipos de cultivo ou urbanização. Essas mudanças podem ser impulsionadas por fatores como crescimento populacional, desenvolvimento econômico ou mudanças na infraestrutura (Parven et al., 2022).

Na Amazônia Brasileira ocorreram mudanças ambientais significativas nas últimas décadas em decorrência de desmatamento e mudança de uso e cobertura do solo, e da transformação da região em fronteira de capital natural (Sousa et al., 2025).

A compreensão desses processos ao longo do tempo pode ser fundamental para avaliar o papel da cobertura vegetal e os danos que sua falta pode ocasionar, de forma que o intenso processo de urbanização é o cerne das transformações geográficas e especificamente na Amazonia, está ligado às políticas federais que promoveram grande migração para a região norte desde os anos 1960, e que resultaram em migração rural – urbana nos anos 1980, após a interrupção dos investimentos nas frentes de obra e nos assentamentos de reforma agrária (Cardoso et al., 2020; Sousa et al., 2025).

A partir da década de 50, em meio ao crescente e atuante debate mundial acerca do conceito de desenvolvimento sustentável, as taxas demográficas de São Luís passaram a aumentar de maneira vertiginosa e, como consequência direta, eclodiram novos bairros por toda a cidade, não apenas no já consagrado eixo estruturante centro-anil mas também sobre o Rio Bacanga e, posteriormente, sob o mar (faixa litorânea). Dessa forma, a implantação de infraestrutura urbana mas pareceu tentar acompanhar tal crescimento, do que se antecipar a ele. Dessa forma, o crescimento demográfico, teve e ainda tem reflexos na descentralização

espacial da cidade (Leite, 2017).

Neste período foram criados vários centros urbanos e houve periferação dos já existentes, a partir de processos de expansão urbana incrementais, constituídos por parcelamento de antigas glebas rurais, ocupação informal ou mesmo implantação de conjuntos habitacionais, em áreas afastadas das manchas urbanas consolidadas, sem atenção às características ambientais e ecossistêmicas (Cardoso et al., 2020).

Os projetos desenvolvimentistas provocaram o deslocamento de grande contingente populacional do interior do estado, de estados vizinhos e outras regiões para a capital maranhense induzindo, desse modo, uma ampliação do setor de serviços e uma rápida e desordenada expansão urbana. A cidade passa então a ser um polo de atração das pessoas que vem do meio rural em busca de empregos e serviços.” (Leite, 2017).

As alterações ocorridas devido ao rápido e desordenado crescimento urbano leva a alteração do Sistema Climático Urbano (SCU) (Luna et al., 2019), que além de tornar as regiões mais vulneráveis aos desastres, impacta diretamente as condições de conforto ambiental, sustentabilidade e a dinâmica de vida.

Para agravamento desta trajetória histórica, Santos e Soares (2020) informa que toda a Amazônia brasileira tem sentido os impactos da mudança do clima, principalmente em termos de secas mais severas e períodos de intensas precipitações. Os fenômenos hidrometeorológicos em geral são acompanhados por desastres, com dimensões sociais e ambientais, ampliando ainda o seu impacto nas áreas urbanas sujeitas a algum tipo de inadequação, seja fundiária ou por carência de infraestrutura, ou em decorrência da produção improvisada do espaço (tais como as invasões e loteamentos clandestinos), que foram designadas pelo IBGE como aglomerados subnormais (IBGE, 2022).

Desse modo, na região Norte os danos humanos são mais numerosos durante o período chuvoso, nos meses de janeiro a maio, em comparação com as regiões Sudeste e Sul, onde os desastres são mais frequentes no decorrer do ano (Santos e Soares, 2020).

O acelerado processo de urbanização e expansão das cidades alteram severamente a paisagem, daí a processos de degradação no ambiente físico, muitas vezes expressa em processos de erosão (Santos e Guerra, 2021).

A erosão é um conjunto de processos ligados ao desnudamento da terra e é responsável pela modelagem do relevo e depósitos sedimentares. O conceito de erosão acelerada, relacionado à liberação de partículas do solo utilizadas para agricultura e pecuária, e

transporte e deposição pela água da chuva, é já bem estabelecido no campo da agronomia (Tricart, 1966).

No Brasil, os processos de erosão acelerada foram classificados como: 1. Erosão causada por escoamento difuso ou laminar, também chamada de erosão laminar; 2. Erosão por escoamento concentrado, que alguns autores diferenciam como: (a) erosão de riachos, que podem ser rasos, o que significa que podem ser desfeitos pelo solo, na preparação para a agricultura, ou profunda; esta última também é conhecida como erosão de ravina; (b) voçorocas de erosão, ou boçorocas, quando os riachos se tornam extremamente profundos, atingindo até o lençol freático (Castro, 2009).

A erosão ocorre devido ao manejo inadequado da terra ou equívocos no planejamento urbano, que geralmente resulta em processo de assoreamento, exacerbando as atividades de inundação nos períodos chuvosos (Lollo e Sena, 2013).

A erosão do solo é um fenômeno com graves consequências que preocupa a humanidade há muito tempo, e tem chamado a atenção de muitos pesquisadores em relação à suas causas, progressão e controle, devido à extensão de suas ações em degradar grandes áreas de terra, mesmo completamente desfigurando o ambiente físico, resultando em sérios problemas na produção de alimentos (Nasem, 2019).

Embora o processo de erosão seja estudado em vários locais, seus mecanismos de ativação, incluindo as condições predisponentes, são específicos para cada local e são contingentes sobre uma série de fatores naturais, como clima, relevo, rocha, solo e cobertura vegetal e precipitação pluviométrica. As atividades humanas podem também desempenham papéis decisivos na ocorrência de tais processos e são avaliados por estudos de ocupação e uso do solo (Panagos et al., 2018).

### **2.3 Características climáticas da Amazônia Oriental**

A região da Amazônia Oriental, localizada no norte da América do Sul, é reconhecida pela sua vastidão e diversidade climática, influenciada pela densidade de vegetação nativa e zonas de transição com o cerrado, pela sua localização dentro da região equatorial, as massas de ar quente que atuam sobre a região e as interações com os oceanos Atlântico e Pacífico (Silva e Costa, 2022).

O clima da Amazônia Oriental é marcado, em grande parte, por condições tropicais úmidas, com grandes variações sazonais de precipitação e temperatura do ar. Dentro deste contexto, a Ilha de São Luís, no Maranhão, possui particularidades climáticas que a distinguem das demais áreas amazônicas, devido a fatores locais e geográficos que afetam

seu clima de maneira única.

A umidade relativa do ar em São Luís, tem índices que frequentemente superam os 80%. Isso se deve à proximidade do Oceano Atlântico, que fornece umidade constante através dos ventos marítimos / brisa marítima. O ar úmido, combinado com a temperatura do ar elevada, gera um ambiente quente e abafado, gerando instabilidade atmosférica, especialmente durante a estação chuvosa. Além disso, os ventos predominantes de leste são fundamentais na modulação da temperatura do ar, e frequentemente transportam massas de ar quente e úmido, intensificando o calor percebido pela população (Torres et al., 2021).

As particularidades climáticas da ilha de São Luís, como a alta umidade, a regularidade dos ventos e a forte variação sazonal das chuvas, configuram um cenário climático único dentro da região Amazônica Oriental. A caracterização climática de São Luís é essencial para o planejamento urbano, a agricultura e a gestão dos recursos hídricos, considerando as variações sazonais de precipitação e as particularidades térmicas que afetam diretamente a vida cotidiana da população (Portella et al., 2022).

São Luís está situada em uma ilha entre os rios Anil e Bacanga, em uma região onde as características climáticas tropicais se misturam com influências oceânicas. Segundo as análises de Almeida et al., (2020), o clima de São Luís é classificado como tropical úmido.

Embora muitos estudos considerem o clima da Amazônia Oriental como sendo composto apenas por dois períodos – seco e chuvoso (Almeida et al., 2020; Costa et al., 2019), esta pesquisa adota uma abordagem meteorológica mais detalhada, propondo a análise do clima da região a partir das quatro estações do hemisfério sul, considerando que como o auge do período chuvoso o último mês da estação de verão e os primeiros meses da estação do outono (fevereiro, março e abril) e os meses de dezembro e maio como os meses de transição entre período seco/chuvoso e chuvoso/seco, respectivamente. Da mesma forma que o período seco terá seu auge entre os meses de agosto, setembro e outubro, e junho e novembro como transição.

A justificativa para essa escolha está na observação de que a Amazônia Oriental passa por períodos de transição climática, ainda que de forma mais sutil e gradual. Esses períodos de transição, entre as estações chuvosa e seca, desempenham um papel relevante nas variações de temperatura do ar, precipitação e umidade, influenciando diretamente a dinâmica ambiental da região (Silva et al., 2021).

Em termos meteorológicos, o período de dezembro a fevereiro corresponde ao verão no hemisfério sul, enquanto o outono ocorre entre março e maio. Já a estação seca vai de junho

a agosto, marcando o inverno no hemisfério sul, e a primavera se estende de setembro a novembro. Ambas as estações apresentam características sazonais influenciadas pela dinâmica atmosférica e pelos ventos predominantes na região (INMET, 2023).

Embora o clima da Amazônia Oriental seja tipicamente equatorial e não apresente estações bem definidas como nas regiões temperadas, a divisão em quatro fases climáticas pode ser útil para compreender a dinâmica sazonal dessa área. Tais divisões são baseadas principalmente na variabilidade das chuvas e nas flutuações da temperatura do ar e umidade ao longo do ano. A seguir, são descritas as quatro principais "estações" climáticas na Amazônia Oriental, com ênfase na região maranhense (Torres et al., 2021).

Durante o período de dezembro a maio, a Amazônia Oriental experimenta a estação chuvosa, caracterizada pela maior concentração de precipitação ao longo do ano. Esse período é influenciado pela posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que se desloca para o hemisfério sul, provocando uma intensificação das chuvas na região. O clima é marcado por precipitações frequentes e volumosas, com um aumento significativo da umidade relativa do ar, que pode ultrapassar os 80% em algumas áreas. A temperatura do ar média permanece estável, em torno de 26°C a 28°C, mas a sensação de calor é atenuada pela alta concentração de nuvens que reduz a incidência direta dos raios solares sobre a superfície e assim provocando um menor aquecimento (Torres et al., 2021).

Este período de chuvas intensas é crucial para a manutenção dos ecossistemas amazônicos, pois garante a recarga dos aquíferos e o aumento da disponibilidade de recursos hídricos. Além disso, a estação chuvosa também afeta a agricultura e a infraestrutura da região, dado o risco de enchentes e alagamentos em áreas mais vulneráveis (Costa et al., 2020).

O período de junho a agosto pode ser considerado uma estação de transição, quando as chuvas começam a diminuir, mas ainda ocorrem de forma intermitente. Durante essa fase, a ZCIT já se encontra posicionada no hemisfério norte, o que reduz a intensidade das precipitações. No entanto, o clima ainda apresenta períodos de chuvas esparsas e tempestades, que são intercalados com dias mais secos. A temperatura do ar média começa a se elevar, podendo atingir até 30°C durante o dia, com mínimas ao redor de 24°C à noite (Silva e Costa, 2022).

A umidade relativa do ar começa a reduzir gradualmente, embora ainda se mantenha em níveis elevados, variando entre 70% e 80%, devido as constantes brisas marítimas, típicas de regiões costeiras. Esse período é caracterizado por um clima quente e abafado, o que pode

gerar desconforto térmico para a população local, especialmente em áreas urbanas como São Luís (Almeida et al., 2020).

O período de setembro a novembro corresponde à estação seca, que é uma das fases mais notáveis do clima na Amazônia Oriental. Durante esse período, as precipitações são significativamente reduzidas, com poucas chuvas ocorrendo esporadicamente. Com as condições atmosféricas desfavoráveis a formação de nebulosidade intensa, passa a ter o domínio de massas de ar secas, associadas aos ventos alísios mais intensos, contribuindo para transportar a umidade para o interior do continente e impedindo a formação de grandes sistemas de precipitação (Pinheiro et al., 2020). A temperatura média pode atingir até 32°C nos dias mais quentes, enquanto as mínimas caem para cerca de 23°C (Silva e Costa, 2022).

Esse período é marcado por baixos índices de umidade relativa do ar, que podem cair para níveis abaixo de 60%, especialmente nas áreas mais centrais da ilha. O clima seco e quente influencia diretamente a agricultura e o fornecimento de água, uma vez que as chuvas se tornam escassas e a evaporação aumenta (Silva et al., 2021).

### **3. HIPÓTESES**

H1: Através da interação de variáveis (solos, uso da terra, precipitação, geomorfologia e geologia), a suscetibilidade ambiental aos processos erosivos contribui diretamente para a existência de recortes espaciais propícios à erosão. De forma que os processos erosivos podem estar contribuindo para o contínuo agravamento das condições ambientais e sociais, uma vez que a vulnerabilidade decorrente deste efeito pode tornar as localidades mais suscetíveis a eventos adversos nos principais núcleos econômicos da Ilha.

H2: As modificações na vegetação impactam diretamente no clima da ilha de São Luís, sendo assim, a antropização interfere nas variáveis meteorológicas e no aumento da frequência de eventos ambientais adversos.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo Geral**

O objetivo desta pesquisa é analisar a relação entre o processo contínuo de antropização e a ocorrência de cenários propensos à erosão na Ilha de São Luís, investigando como essa dinâmica contribui para a intensificação da vulnerabilidade social, ambiental e climática na região.

#### **4.1 Objetivos Específicos**

a) Identificar as áreas de erosão do solo aplicando o índice de vulnerabilidade

ambiental(IVA) à perda de solo;

- b) Analisar o histórico de precipitação, expansão antrópica e avariabilidade da temperatura do ar (Conforto Térmico);
- c) Correlacionar os indicadores de vulnerabilidade ambiental (IVA), comportamento sazonal da precipitação e mudanças de uso da terra.

**REFERÊNCIAS**

- Abdulrazzaq, Z.T., Hasan, R.H., Aziz, N.A., 2019. Integrated TRMM data and standardized precipitation index to monitor the meteorological drought. **Civ. Eng. J.** 5, 1590–1598. DOI 10.28991/cej-2019-03091355.
- Almeira, R. A., SANTOS, L. M., Silva, T. T., & Souza, C. F. (2020). Caracterização climática da região de São Luís, Maranhão, e suas implicações para o planejamento urbano. **Revista Brasileira de Meteorologia**. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG259970567>.
- Aryal, K., Thapa, P.S., Lamicchane, D., 2019. Revisiting agroforestry for building climate resilient communities: a case of package-based integrated agroforestry practices in Nepal. **Emerg. Sci. J.** 3, 303–311. DOI: 10.28991/esj-2019-01193
- Birkmann, J., Kienberger, S., & Alexander, D. E. Introduction Vulnerability: a key determinant of risk and its importance for risk management and sustainability. **Assessment of Vulnerability to Natural Hazards**, v.4, n.2, p.30-50, 2014.
- Cabral, L. N., Candido, G. A. Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões e causa e efeito. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.11 n.2, p. 35-50, 2019.
- Cardoso, A. C. D., Lima, J. J. Ponte, J.P.X., J. Morfologia urbana das cidades amazônicas: a experiência do Grupo de Pesquisa Cidades na Amazônia da Universidade Federal do Pará. **Urbe. Revista Brasileira de gestão urbana**, v. 12, p. 1-18, 2020.
- Castro, S. S. de, & Neto, J. P. de Q. (2009). Soil Erosion in Brazil from Coffee to the Present-day Soy Bean Production. **Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America**, 195–221. DOI:10.1016/s0928-2025(08)10011-6.
- Crepani, E. M.; Medeiros, J. S. de; Hernandez Filho, P.; Florenzano T. G.; Cirino, L. D. S.; Vitorino, M. I.; De Holanda, B. S. 2019. Análise climática da variabilidade natural e antrópica para uma metrópole amazônica. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, 6(2), 3-26.
- Costa, A. P., Oliveira, M. G., & Pereira, F. L. (2019). Influência dos ventos de leste na modulação do clima do Maranhão. **Science of the Total Environment**. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134629>.
- De Alba, M. I. M.; Rodríguez, O. J. O.; Pinilla, I. D. V. Preliminary valuation of environmental importance of Brazilian sites, with regards to ecological and sociocultural axes. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, 2021. DOI: 10.1590/1809-4422asoc20200209r1vu2021L5AO.

- Galera, R.A.; Souza, C.R.D.G. Impactos locais das mudanças climáticas na Zona Costeira do estado de São Paulo- Brasil. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**. 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.10-221.
- Freitas, S. J. N.; Silva, M. A.; Sodr e, G. R. C.; Santos, M. R. S. Vulnerabilidade aos processos erosivos relacionada com a sazonalidade no município de Barcarena, Pará. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p.448-462, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0036>
- Gomes, L., Simões, S.J.C., Forti, M.C., Ometto, J.P.H.B., Nora, E.L.D., 2017. Using geotechnology to estimate annual soil loss rate in the Brazilian cerrado. **J. Geogr. Inf. Syst.** 9, 420– 439. DOI: <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.94026>.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia 2023. Boletins climáticos e meteorológicos de São Luís. Disponível em: <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:VA6C2:f02dd662-6e49-4c7e-b93d-5624d091aa48>. Acesso em 3 de fevereiro de 2025.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/pa\\_geomorfologia.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades_da_federacao/pa_geomorfologia.pdf). Acesso em: 15 de junho de 2022.
- Jacobi, P. R., Cibim, J., Leão, R. De S. (2015). Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estudos Avançados**, 29(84), 27–42. 2015, Doi: 10.1590/S0103- 40142015000200003.
- Leite, Adriana Salles G. São Luís do Maranhão: uma leitura da cidade   luz da sintaxe espacial. *Estudos Especiais em Desenho Urbano I e II*, 2017.
- Leal, J.; Aquino, C. M.; Aquino, R. P.; Valladares, G. S. Vulnerabilidade Ambiental no Município de São Miguel do Tapuio, Piauí: Bases Para o Ordenamento Territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, v.2, p.608-621, 2019. DOI: <http://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p608-621>
- Luna, V. F., Gomes, J. F., Silva, C. C. J., Silva, J. M. O. Ilhas de Calor na Zona Urbana do Crato-Ceará na Perspectiva do S.C.U (Sistema Clima Urbano) Sob o Nível Termodinâmico. **Revista GeoUECE (Online)**, v. 08, n. 14, p. 371-387, jan./jun. 2019. ISSN 2317-028X.
- Luo, D., Caldas, M. M., & Goodin, D. G. (2021). Estimating environmental vulnerability in the Cerrado with machine learning and Twitter data. **Journal of Environmental Management**, 289, 112502. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.112502.
- Nasem (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine) Science breakthroughs to advance food and agricultural research by 2030. **The National Academies**

Press, Washington, DC (2019), DOI: 10.17226/25059

Nelson, M.C., Ingram, S.E., Dugmore, A.J., Streeter, R., Peoples, M.A. 2016. Climate challenges, vulnerabilities, and food security. **Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.** 113, 298–303. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1506494113>.

Oliveira, A. A. Borges, J.T. Analysis of population vulnerability to environmental technological risks in the urban area of the city of Manaus-AM. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v.49, 2018. DOI:<http://doi.org/10.5380/dma.v49i0.59260>.

Palheta, Dayara Bastos; Dourado, Fábio Ferreira; Meneses, Anderson Alvarenga de Moura; Rodrigues, Suzan Waleska Pequeno; Andrade, Milena Marília Nogueira de. Vulnerabilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo em Santarém (PA). **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 276–287, 2022. DOI: 10.21664/2238-8869.2022v11i1.p276-287.

Papathoma-Kohle, M.; SCHOGL, M.; Funchs, S. Vulnerability indicators for natural hazards: an innovative selection and weighting approach. **Scientific Reports**, v.9, 2019. DOI: <http://doi:10.1038/s41598-019-50257-2>.

Panagos, G. Standardi, P. Borrelli, E. Lugato, L. Montanarella F. Bosello. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models *Land Degradation & Development*, 29 (3) (2018), pp. 471-484, DOI: 10.1002/ldr.2879

Pinheiro, J. M; Bittar Venturi, L. A; Galvani, E. Atmospheric pollution: a case study of the Municipality of São Luís do Maranhão. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 32, p. 808–819, 2020. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-56162.

Portella, D. A. P. DA C.; Blanco, L. DE S.; Mello Filho, M. E. T. DE; Santos, J. L. A. A importância da Amazônia na dinâmica climática do centro-sul brasileiro: influência nas dinâmicas ambientais e socioeconômicas. **Ensaios de Geografia**, v. 9, n. 19, p. 66-86, 20 dez. 2022.

REDE IMIRANTE MARANHÃO. Chuva provoca erosão e derruba estátua em São Luís. (2021). Disponível em: <https://imirante.com/noticias/sao-luis/2021/02/17/chuva-provoca-erosao-e-derruba-estatuas-em-sao-luis-alerta-para-temporais-no-maranhao>. Acesso: 12 de Maio de 2022.

REDE IMIRANTE MARANHÃO. Erosão toma conta do asfalto e abre cratera no Turu. (2022). Disponível em: [imirante.com/noticias/sao-luis/2016/04/27/erosao-toma-conta-do-asfalto-e-abre-crateras-em-rua-do-turu](https://imirante.com/noticias/sao-luis/2016/04/27/erosao-toma-conta-do-asfalto-e-abre-crateras-em-rua-do-turu). Acesso: 16 de Maio de 2022.

REDE IMIRANTE MARANHÃO. Erosão toma conta do asfalto e abre cratera no turu. (2022). Disponível em: [imirante.com/noticias/sao-luis/2016/04/27/erosao-toma-conta-do-asfalto-e-abre-crateras-em-rua-do-turu](https://imirante.com/noticias/sao-luis/2016/04/27/erosao-toma-conta-do-asfalto-e-abre-crateras-em-rua-do-turu). Acesso: 16 de Maio de 2022.

REDE IMIRANTE MARANHÃO <https://imirante.com/noticias/sao-luis/2020/04/01/muro-cai-em-trecho-com-erosao-na-av-jeronimo-de-albuquerque>. Acesso: 16 de Maio de 2022

Rego, J. C. L., Gomes, A., & Silva, F. S. (2018). Loss of vegetation cover in a tropical island of the Amazon coastal zone (Maranhão Island, Brazil). **Land Use Policy**, 71, 593–601. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.10

Ribeiro, A, S. R. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.1, p.16-31, 2016. DOI: 10.26848/rbgf.v9.1.p016-03

Ribeiro, A, S. R. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.1, p.16-31, 2016. DOI: 10.26848/rbgf.v9.1.p016-03.

Santos, L. C. A., & Soares, I. G. (2020). Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Preto, Maranhão – Brasil. **GEOGRAFIA (Londrina)**, 29(1), 85–105. DOI: 10.5433/2447-1747.2020v29n1p85.

Santos, P. T.; Martins, A. P. Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) Utilizando Geotecnologias. **Geography Department University of São Paulo**, v.36, n.2, p.155-170, 2018. DOI: <http://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.143665>

Santos, R. C.; Guerra, A. J. T. Avaliação da erosão dos solos na bacia hidrográfica do Rio Pequeno, Paraty-RJ. **Geosaberes**, v. 12, p. 1-10, 2021. DOI: 10.26895/geosaberes.v12i0.1060.

Santos Quaresma, M.N.N.S., Cruz, C. B., Santos, M.L.S. Santos, M.R.S. Análise climática e a identificação de extremos de precipitação na Ilha do Marajó/Pará. **Geoambiente Online**, Goiânia, n. 47, 2023.

Silva, J. L., Oliveira, J. B., & Pinto, F. B. (2021). Análise da variabilidade climática no litoral do Maranhão: Enfoque na precipitação. **Revista de Climatologia Tropical**. DOI: 10.1590/1809-4422asoc20200167r1vu2021L3AO.

Silva, T. S., & Costa, F. R. Clima e hidrologia no litoral do Maranhão: Impactos das mudanças climáticas. (2022) **Revista Brasileira de Meteorologia**.

Silveira, A. F.; Ferreira, H. S. Impactos socioambientais e mineração na Amazônia Oriental brasileira: da produção de riqueza à distribuição de riscos. **Revista de Direito Ambiental**,

São Paulo, n. 114, p. 1-15, abr./jun. 2024.

Torres, M. A. N., Ribeiro, P. C., Garcês Junior, A. R., Rodrigues, Z. M. R., & Aquino Junior, J. (2021). Climatologia Aplicada Ao Estudo Da Dengue Na Cidade De São Luís, Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira De Geografia Física**, 14(7), 3842–3856. DOI: 10.26848/rbgf.v14.7.p3842-3856.

Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 91 p. 1977.

UNISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate. Geneva, Switzerland, 2009.

## CAPÍTULO II

### Mapeamento e análise de Vulnerabilidade ambiental sazonal na Ilha de São Luís, Maranhão

*Stephanie Jael Negrão de Freitas Ruiz*

*Giordani Rafael Conceição Sodré*

*Breno Ruiz de Lima Verde da Silva*

*Francisca Helena Muniz*

Artigo publicado na íntegra conforme formatação exigida na Revista Brasileira de Geografia Física v.17, n.06 (2024) 4459-4475

Artigo recebido em 04/04/2024 em e aceito em 10/09/2024.

#### RESUMO

A erosão do solo é um fenômeno natural que desempenha um papel na configuração da paisagem e é influenciado por diversos fatores, tais como clima, relevo, tipo de solo, cobertura vegetal, geomorfologia e inclinação do terreno. No entanto, sua intensificação ocorre devido à ação humana não planejada, conhecida como 'mudanças de uso da terra'. Neste estudo, o objetivo foi analisar a vulnerabilidade ambiental à erosão do solo na ilha de São Luís, considerando a interferência sazonal, utilizando um método baseado na álgebra de mapas. Os resultados revelaram a significativa influência do clima e dos manguezais na ilha, em quatro cenários distintos. As estações mais vulneráveis foram identificadas como verão e outono, associadas aos períodos mais chuvosos na Amazônia brasileira. Assim, a utilização de estações meteorológicas como ferramenta de monitoramento emergiu como um aspecto crucial neste estudo. Portanto, a implementação de uma rede de drenagem urbana adequada e adaptada ao cenário urbano, diretamente impactado pelo rápido crescimento populacional, é uma medida prioritária. Isso visa evitar que eventos de chuvas intensas transformem a região em ambientes propícios a desastres.

**Palavras-chave:** Erosão. Mudanças climáticas. Riscos.

**ABSTRACT**

This Soil erosion is a natural phenomenon that plays a role in the configuration of the landscape and is influenced by several factors, such as climate, relief, soil type, vegetation cover, geomorphology and terrain slope. However, its intensification occurs due to unplanned human action, known as 'land use changes'. In this study, the objective was to analyze environmental vulnerability to soil erosion on the island of São Luís, considering seasonal interference, using a method based on map algebra. The results revealed the significant influence of climate and mangroves on the island, in four different scenarios. The most vulnerable seasons were identified as summer and autumn, associated with the rainiest periods in the Brazilian Amazon. Thus, the use of meteorological stations as a monitoring tool emerged as a crucial aspect in this study. Therefore, the implementation of an adequate urban drainage network adapted to the urban scenario, directly impacted by rapid population growth, is a priority measure. This aims to prevent intense rain events from transforming the region into disaster-prone environments.

**Key words:** Erosion. Climate changes. Scratches.

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças de uso da terra nos grandes centros urbanos desencadearam e ainda desencadeiam mudanças ambientais significativas nas últimas décadas e fatores como a migração rural - urbana, a transformação do uso e cobertura do solo, criação de assentamento urbanos, desmatamentos e invasões são somente alguns exemplos de atividades antrópicas marcantes na fragmentação espacial. A inexistência de planejamento, ordenamento e infraestrutura territorial resultam em ocupações em áreas de risco, em ambientes sujeitos a eventos críticos como enchentes e inundações, deslizamentos de terra e um maior acometimento por doenças (Camello et al., 2009; Coutinho et al., 2017).

Diferentes formas de uso do solo os tornam vulneráveis e com a intensificação das atividades humanas, pode existir a remoção de partículas e transporte de material mineral pelas excessivas chuvas para as áreas mais baixas do terreno ocasionando a formação de erosão laminar, podendo acarretar sulcos, ravinas ou voçorocas (FioresE et al., 2021).

A erosão do solo é um fenômeno natural que atua na formação da paisagem e possui fatores que a condicionam, são esses: clima, relevo, solos, cobertura vegetal, geomorfologia, declividade do terreno. Entretanto, é acentuada com a ação antrópica não planejada, as chamadas “mudanças de uso da terra”. O processo de urbanização desenfreado dando origem a ocupações em lugares inadequados pela perspectiva geotécnica, além da precariedade dos sistemas de drenagem de águas pluviais maximiza a degradação, prejudicando em sua maioria a população menos favorecida economicamente. Ou seja, o ritmo acelerado do crescimento de um território, se não for bem planejado, o torna vulnerável (Rostam et al., 2010; Siwar et al., 2016).

No que tange aos fatores que expressam o grau de suscetibilidade à erosão a que um sistema ambiental está exposto; um destes indicadores reside na precipitação, a qual influencia no desgaste e transporte de material do solo e das rochas. No contexto de regiões costeiras do Estado do Maranhão, a capital São Luís, caracteriza-se por uma geografia diversificada propícia ao desenvolvimento e atuação de diversos sistemas atmosféricos, que contribuem para a heterogeneidade espacial e temporal da precipitação. Dessa forma, pesquisas que consideram a variabilidade da precipitação, enriquecem e subsidiam ações governamentais em tomadas de decisão quanto ao ordenamento do território (Cabral e Candido, 2019).

Na presente análise, destaca-se o conceito de vulnerabilidade ambiental, que se refere ao nível de impacto que um sistema sofre devido à sua exposição, representando o oposto de resiliência e capacidade de resistência. Isso porque, a resiliência é a capacidade de um

sistema em resistir a eventos adversos, se adaptar, recuperar rapidamente de eventos adversos. Um sistema resiliente é capaz de minimizar danos e retornar ao seu estado original ou se transformar em um estado melhor pós crise (Birkmann et al., 2014).

No que tange à centros urbanos que abrigam regiões costeiras, entende-se que são particularmente vulneráveis às alterações climáticas, uma vez que são diretamente influenciadas por processos oceânicos, atmosféricos e continentais (Mu et al., 2021).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) confirmou que as regiões costeiras são as áreas mais afetadas pelas alterações climáticas, se tivermos em conta consideração o aumento médio do nível dos oceanos e a intensidade dos eventos climáticos extremos.

A zona costeira brasileira apresenta grandes extensões territoriais ocupadas. São, 463 municípios cobrem os primeiros 100 km do litoral e abrangem mais de 17,4 milhões de domicílios ou aproximadamente 30% da população, o que corresponde a 50,7 milhões de habitantes (IBGE, 2019). Esses municípios e suas populações estão expostos aos riscos ambientais costeiros causados pelas mudanças climáticas no Brasil.

O litoral amazônico é uma região que abrange uma das maiores áreas de concentração humana. Isto compreende três regiões metropolitanas: Macapá (AP), Belém (PA) e São Luís (MA), e concentra aproximadamente 3 milhões de habitantes (IBGE, 2019). As regiões são caracterizadas por processo de urbanização rápido e desordenado, e leva a graves problemas socioambientais como ocupação territorial em áreas de risco, desmatamento, pesca predatória e contaminação de lençóis freáticos, rios e estuários (Santos et al., 2021).

Se tratando especificamente da ilha de São Luís, zona costeira que a qual registra eventos de chuva intensa que muitas vezes são precedidos por episódios de erosão. Os veículos midiáticos do Estado noticiam constantemente episódios de eventos adversos. Um dos exemplos é o caso do evento ocorrido na zona rural da ilha de São Luís, as margens da BR-135, na região entre a vila maranhão e o maracanã, onde foram formadas crateras no asfalto, ao ponto de colidir a estátua do antigo prefeito Luís Edivaldo de Holanda Júnior, além da ameaça de erodir edificações, sendo grave risco para a população (Rede Imirante Maranhão, 2021; Serra et al., 2024).

No mês de fevereiro de 2022 com episódios de intensa precipitação, houve deslizamento de uma encosta no Bairro São Raimundo, em São Luís, gerando uma voçoroca que ameaçou inúmeras residências do bairro (Rede Imirante Maranhão, 2022).

No ano de 2020 fora noticiado que o calçadão que dá acesso a uma parte do Terminal Praia Grande, em São Luís, estava deteriorado por conta da força da maré, que ultrapassou

o muro de contenção. A erosão também atingiu o gradeado instalado na parte traseira do terminal. Crateras de lixo são encontradas espalhadas pela parte onde a força da maré danificou a estrutura. Com a maré, o calçamento diminuiu, o que preocupa os comerciantes que trabalham na área, além de ameaçar as construções existentes no local (Rede Imirante Maranhão, 2020).

Em abril de 2024, durante um episódio de precipitação intensa uma voçoroca se formou às margens da rodovia MA-203, via de acesso ao município de Raposa, na região metropolitana de São Luís, e colocou em risco a vida de motoristas e pedestres. O período de chuvas mais pronunciadas amedronta a população de que a situação piore e cause problemas de mobilidade ou até uma tragédia (Rede Imirante Maranhão, 2024).

Um fato importante é que as questões ambientais estão entre as questões mais importantes que os tomadores de decisão enfrentam hoje. A dinâmica dos sistemas atmosféricos e hidrológicos da Terra mostram que todos os sistemas ambientais são dinâmica e espacialmente inter-relacionado. Os impactos ambientais em um determinado local geográfico geralmente afetam outros locais geográficos (Lourenço et al., 2022).

A Ilha de São Luís, ao mesmo tempo que representa o principal núcleo econômico do Estado do Maranhão, torna-se vulnerável por todo o histórico controverso exposto, onde a relação homem e natureza não está sendo tão bem-sucedida. Dessa forma, o desafio está em entender como indicadores ambientais e antrópicos interferem na vulnerabilidade ambiental do município.

Portanto, estudos de vulnerabilidade à erosão do solo tornam-se tão importantes pois quando realizado com dados refinados, representam a realidade da área de estudo e antecipam o conhecimento que pode direcionar a atividade humana para usos sustentáveis do solo (Jacobi et al., 2015).

No âmbito de estudos de suscetibilidade, o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm facilitado análises de suscetibilidade e as atividades relacionadas à caracterização, ao diagnóstico e ao planejamento ambiental e urbano, auxiliando em tarefas como a simulação do espaço geográfico e de seus processos naturais, na integração de informações espaciais (Ribeiro, 2016).

As alterações ocorridas devido ao rápido e desordenado crescimento urbano na Ilha de São Luís, acarretaram alterações do Sistema Climático Urbano (SCU) (Luna et al.; 2019), como a ZCIT (zona de convergência inter tropical), ventos alísios e sistema de brisas atmosféricas e os mecanismos oceano-atmosfera: EL Niño Oscilação Sul (ENOS); que além de tornar as regiões mais vulneráveis aos desastres naturais, impactam diretamente as

condições de conforto ambiental, sustentabilidade e a dinâmica de vida (Santos et al.; 2024). Tricart (1977) destaca que a organização ou reorganização do território requer um diagnóstico preliminar que proporcione o conhecimento das características, aptidões e, principalmente, limitações das áreas a serem utilizadas. Isso possibilita a escolha adequada do tipo de uso da terra e cobertura vegetal compatíveis com tais limitações.

Como exemplo de análise de vulnerabilidade ambiental, que utilizou e adaptou a metodologia proposta por Crepani et al.; (2001), foram aplicados estudos em diferentes locais no Estado do Maranhão, como a Lagoa do Bacuri (Rabelo, 2016), Bacia do Ribeirão do Rio Preto (Santos e Soares, 2020), bacia do Córrego Pequiá, Açailândia, Maranhão (Rizzo et al., 2022) Bacia Hidrográfica do Rio Buriticupu (Medeiros et al., 2023). Os resultados obtidos pelos autores revelaram áreas críticas aos processos erosivos e informações valiosas para o planejamento e gestão ambiental dessas unidades territoriais.

Sabendo que o estado do Maranhão possui geodiversidade complexa, por abranger três biomas distintos (amazônia, cerrado e caatinga), especificamente a Ilha de São Luís é um locus de estudos científicos nas ciências atmosféricas, ambientais e agrárias; esta pesquisa visa obter dados valiosos a partir de técnicas de sensoriamento, para análise de vulnerabilidade ambiental e antropização; para assim propor ferramentas de gestão assertivas, que controlem e minimizem as problemáticas que incidem sobre o território e maximizando a potencialidade de desenvolvimento (Lima et al., 2022).

A hipótese desse estudo postula que através do cruzamento de fatores ecossistêmicos (solos, vegetação, precipitação, geomorfologia, declividade e geologia), a suscetibilidade ambiental aos processos erosivos contribui diretamente para a existência de recortes espaciais propícios à erosão. De forma que os processos erosivos podem estar contribuindo para o contínuo agravamento das condições ambientais e sociais, uma vez que a vulnerabilidade decorrente deste efeito pode tornar as localidades mais suscetíveis a eventos adversos nos principais núcleos econômicos da Ilha.

Nesse contexto, este estudo objetiva analisar a vulnerabilidade ambiental da Ilha de São Luís, importante locus amazônico de desenvolvimento, capital do Estado do Maranhão, com o uso da metodologia proposta por Crepani et al., (2001) adaptada, sob a ótica das quatro estações meteorológicas: verão (dezembro, janeiro e fevereiro); outono (março, abril e maio); inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Isso porque, cenários climáticos e medições históricas apontam para o risco da variação de precipitação, o que constitui um agravante adicional ao ambiente urbano e à sua população, dados os potenciais impactos, na dinâmica social e ambientes naturais e construídos

(Vommaro et al., 2020; Santos et al., 2021).

A gravidade dos impactos é relacionada ao fenômeno climático e à vulnerabilidade do sistema, o que se traduz em sua propensão a ser afetado negativamente (IPCC, 2014). Existe um consenso entre os cientistas de que a avaliação da vulnerabilidade dos sistemas socioecológicos aos processos erosivos podem contribuir para o planejamento de medidas eficazes estratégias de adaptação e redução de potenciais impactos do clima. As características de um sistema socioecológico podem ser agrupadas de acordo com sua exposição, sensibilidade e/ou capacidade adaptativa (Santos et al., 2021).

Desse modo, o clima na região amazônica é caracterizado pela presença de um vasto espectro de variações espaço-temporais na atividade convectiva, com altos índices pluviométricos, principalmente durante o verão e outono austral (mas é importante abordar as quatro estações, porque entre o período mais e seco e mais chuvoso há meses de transição sendo de extrema importância analisar a continuidade dos cenários situacionais e disponibilizar dados para subsidiar o planejamento e a gestão ambiental do território (Santos et al., 2024).

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

A Ilha de São Luís, situada no Estado do Maranhão, integra a região amazônica no norte do litoral brasileiro, que representa 35% do total do litoral do país (figura 1). Esse setor é caracterizado por um relevo suave, vasta planície costeira e uma extensa plataforma continental adjacente. O litoral maranhense estende-se ao longo de uma área de transição entre a costa amazônica-paraense, influenciada pelas marés, e a costa afetada pelos ventos, característica do litoral do Estado do Ceará ao sul (Szlafestein, 2012).

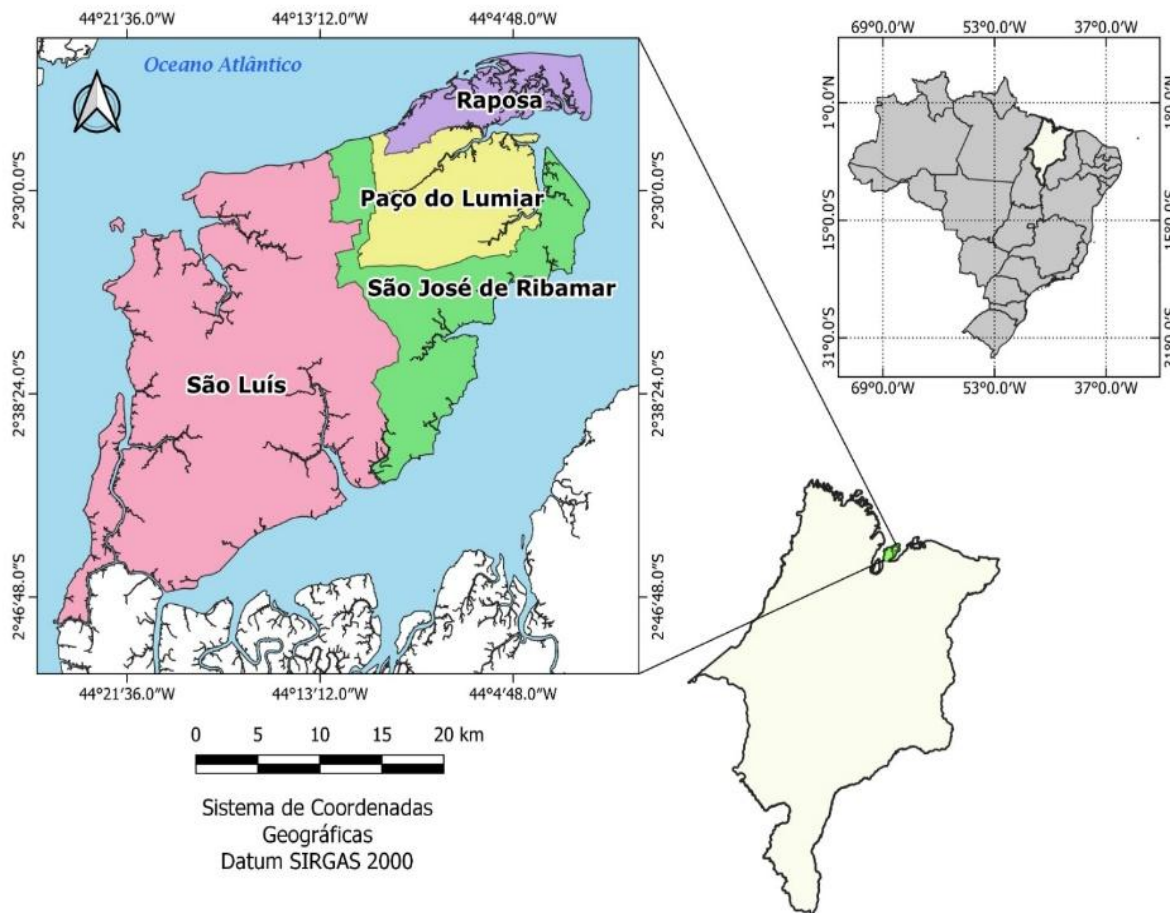


Figura 1 - Localização geográfica da Ilha de São Luís-Ma. Fonte: Autora, (2025).

A precipitação anual na região atinge aproximadamente 2200 mm, enquanto a temperatura média do ar mantém-se em torno de 27°C, sem variações significativas ao longo do ano (INMET, 2023). De acordo com Rêgo et al. (2018), a Ilha do Maranhão encontra-se numa zona de transição entre a vegetação típica da Amazônia e a do Nordeste. Essa característica resulta em uma diversidade botânica notável, abrangendo cerca de 260 espécies. A vegetação herbácea, arbustiva e arbórea que prevalece nas proximidades da zona costeira, ocupando solos arenosos como orlas, dunas, restingas e margens lagunares, é conhecida localmente como restinga e é considerada um componente do ecossistema da Mata Atlântica.

Os manguezais são ecossistemas típicos encontrados nos sedimentos lodosos intertidais locais, que cobrem extensas áreas da porção sul da ilha e pequenas manchas de a porção norte. Há quatro municípios na Ilha do Maranhão: São Luís, São José do Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar. A população humana de a ilha tem mais de um milhão, a maioria dos quais vive em São Luís, capital do Estado do Maranhão. As principais atividades econômicas da ilha são navegação, pesca, turismo e comércio em geral (Pereira et al., 2016).

A escala aplicada e área de estudo desta pesquisa, corresponde a ilha de São

Luís inserida na bacia hidrográfica do Sistema Hidrográfico das Ilhas Maranhenses, situada ao centro norte do Maranhão, na região Amazônica, com grandes e massivos problemas ambientais, tais como: fragmentação da paisagem, retirada de vegetações nativas, conflitos socioambientais, agriculturas, pastagens, mineração, entre outros vários usos e conflitos que se entrelaçam nessa complexa Ilha (Medeiros et al., 2023).

Logo, compreendê-la do ponto de vista ambiental é fundamental para sanar e/ou minimizar seus problemas e propiciar informações que auxiliem na produção de um banco de dados efetivo ao ordenamento do território.

### **Mapeamento geoambiental**

A ilha de São Luís é um lócus complexo do ponto de vista geoambiental. Logo, compreendê-la sob a ótica de quatro cenários situacionais através estações meteorológicas: verão (dezembro, janeiro e fevereiro); outono (março, abril e maio); inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Isso porque, clima na região amazônica é marcado por uma ampla variedade de variações espaço-temporais na atividade convectiva, com elevados índices pluviométricos, especialmente durante o verão e o outono no hemisfério sul. É fundamental considerar as quatro estações, pois entre os períodos mais seco e mais chuvoso há meses de transição que são cruciais para a análise contínua dos cenários ambientais. Essa análise é essencial para fornecer dados que apoiem o planejamento e a gestão ambiental do território; de extrema valia para sanar e/ou minimizar seus problemas e propiciar informações que auxiliem na produção de um banco de dados efetivo ao ordenamento do território

### **Adaptação metodológica**

A metodologia para a análise de vulnerabilidade ambiental à perda de solo é uma adaptação do método proposto por Crepani et al., (2001) para elaborar cartas de vulnerabilidade a partir do conceito da Ecodinâmica; assim, Tricart (1977) propôs a estratificação da paisagem em três tipos de unidades ecodinâmicas: 1) estáveis, com domínio da pedogênese sobre a morfogênese; 2) integradas, com interferência permanente da morfogênese e da pedogênese no mesmo espaço e 3) instáveis, com domínio da morfogênese sobre a pedogênese.

A partir da concepção de unidades ecodinâmicas, Ross (1994; 2012) propôs a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, estratificando em cinco classes a vulnerabilidade da paisagem: muito fraca, fraca, média, forte, e muito forte, em que a vulnerabilidade das unidades de paisagem é determinada por meio de uma escala dos valores de 1 a 3 estabelecidos previamente de acordo com os processos de morfogênese e pedogênese (tabela 1) de cada critério, ou seja, o grau de

fragilidade apresentado, analisando individualmente os temas imprescindíveis Geologia, Geomorfologia, Solo, Vegetação e Clima e posteriormente cruzar os dados através da técnica de álgebra de mapas no ambiente do software QGIS 3.28.

### **Embasamento geológico**

Conforme o Mapa Geológico da Ilha de São Luís, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (2019) a geologia da Ilha assim se enquadra: Formação pós barreiras, depósitos aluvionares, depósitos de pântanos salinos, depósitos de mangues, Depósito de cordões litorâneos antigos, grupo itapecuru, Depósitos eólicos litorâneos e depósitos eólicos praias. A espacialização desses dados consta na Figura 3 e a pontuação conforme o grau de vulnerabilidade à erosão na tabela 2.

### **Tipos de solos que ocorrem na ilha**

Segundo CPRM (2019), os tipos de solos que ocorrem na Ilha de São Luís são: Argissolo vermelho distrófico, gleissolo háplico distrófico, Argissolo vermelho amarelo distrófico, neossolo quartzenico órtico, Solo de mangue e tipo de terreno-dunas, argissolo vermelho distrófico, e neossolo quartzenico órtico (tabela 3). Pelo que consta na figura 3, predominam na bacia a associação argissolo vermelho distrófico + neossolo quartzenico órtico. Portanto, predominam na Ilha solos rasos a profundos, conforme mapeado.

### **Caracterização do relevo**

A declividade, é caracterizada pela máxima inclinação (ângulo vertical) de um plano tangente a um ponto na superfície do terreno, em relação ao horizonte. Pode ser medido em graus ou porcentagem. O aspecto é o azimute (ângulo horizontal) da projeção da direção determinada pela declividade; corresponde a uma linha perpendicular às curvas de nível, medido em graus (Evans, 1972).

Os dados foram obtidos, através de Modelo Digital do terreno (MDT), Shuttle Radar Topography Mission – SRTM baixado é o resultado de aquisição e interpolação de uma amostra de pontos para representar o terreno através do banco de dados da National Aeronautics and Space Administration (NASA), disponível no site: <https://search.asf.alaska.edu>.

A espacialização da declividade consta na Figura 3 e a quantificação na tabela 4. De acordo com os dados da Tabela 2, a declividade predominante na ilha vai de 0° a 2° de planície, sendo que, acima de 2° à 5° a inclinação é suavemente ondulada. Isso porque, ocorre em alguns fragmentos de forma espaçada inclinação de 5° à 10° e nas bordas da ilha surgem angulações maiores de 10° podendo chegar até 25°.

As características geomorfológicas da ilha são diversificadas e estão especializadas na

figura 3, tabela 5, sendo predominante as feições que variam entre trabuleiros e tabuleiros dissecados; nas bordas predominam planícies fluviomarinhas e alguns fragmentos de campos de dunas e depósitos tectogênicos. A quantificação completa consta na tabela 2 de acordo com o grau de suscetibilidade e foram mapeadas a partir da base cartográfica disponibilizada no site do Serviço Geológico do Brasil - CPRM na escala de mapeamento de 1:50.000, que disponibiliza arquivos no formato shapefile através do site <https://www.sgb.gov.br/>.

### **Caracterização climática**

A espacialização do clima na ilha foi gerada a partir da base de dados globais CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station) com série temporal anual da precipitação 1991/2021 incorporando imagens de satélite de resolução de 0,05° com informações de estações pluviométricas para criar séries temporais de pluviometria em grade. Os dados para a ilha de São Luís foram processados no software QGis 3.28. Após realizar a quantificação da intensidade pluviométrica a partir da divisão da precipitação anual pelo número de meses que comportam o verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto), e primavera (setembro, outubro e novembro), sendo possível quantificar a média climatológica de cada estação que consta na tabela 6.

### **Vegetação e uso da terra**

A base de cobertura vegetal e uso da terra foi extraída do projeto MapBiomas Brasil em escala 1:50.000, disponível no site <https://brasil.mapbiomas.org/>. Dessa forma, a ilha possui uma geodiversidade bastante complexa que pode ser observada na tabela 7 com fragmentos de formações florestais fragmentadas, mangue nas bordas, uma grande e intensificada área urbana e pastagem.

### **Geoprocessamento de vulnerabilidade ambiental**

A análise geológica, geomorfológica e pedológica se deu através da base cartográfica disponibilizada no site do Serviço Geológico do Brasil - CPRM na escala de mapeamento de 1:50.000, que disponibiliza arquivos no formato shapefile através do site <https://www.sgb.gov.br/>. A base cartográfica sobre cobertura vegetal foi extraída do projeto MapBiomas Brasil em escala 1:50.000, disponível no site <https://brasil.mapbiomas.org/>.

Ressalta-se que as variáveis estavam em formato vetorial, escala geográfica de detalhamento 1:50.000 e foram convertidas para raster, uma vez que há necessidade de todas as variáveis estarem nesse formato, para ocorrer a atribuição dos pesos. Desta forma, baseado na revisão bibliográfica realizada, atribuiu-se pesos para cada característica representada, de tal forma que os maiores valores foram concedidos aos atributos que indicaram maior grau

de influência na vulnerabilidade.

Portanto neste método optou-se por não atribuir grau de importância a estas variáveis para que o resultado fosse o mais próximo da realidade sem qualquer intervenção externa, para que fosse possível observar qual seria o fator mais influente na vulnerabilidade à erosão.

### Processamento de dados

Por fim, na geração dos mapas de vulnerabilidade ambiental, as cartografias foram agrupadas utilizando um Raster Calculator no QGIS, Desktop 3.28, no método chamado de Álgebra de Mapas, isto é, uma sobreposição cartográfica em que cada elemento não terá um peso sobre o outro, uma combinação pixel a pixel que resulta em uma cartografia de síntese. Os procedimentos podem ser de subtração, adição e multiplicação, nesse caso, utilizou-se a equação 1. A tabela 1 apresenta a definição de classes de vulnerabilidade de acordo com a relação morfogênese/pedogênese.

$$V = \frac{G+R+P+C+Ve+D}{6} \dots \dots \dots (1)$$

V= Vulnerabilidade à Perda de Solo

G= Critério Geologia

R= Critério Geomorfologia

P= Critério Pedologia

C= Critério Clima

Ve= Critério Vegetação

D= Critério Declividade

Como é possível observar na equação 1, não fora atribuído peso de relevância em uma variável específica em detrimento de outra. Isso porque, optou-se por simplesmente aguardar a resposta do software diante da álgebra e qual poderia ser o fator determinante na vulnerabilidade à perda de solo nas quatro estações meteorológicas. A figura 2 esquematiza de forma resumida a metodologia

Tabela 1: Determinação de estabilidade conforme às condições de vulnerabilidade ambiental.

Grau de vulnerabilidade	Valor	Relação entre morfogênese/pedogênese
Estável	1,0-1,3	Prevalece a Pedogênese
Medianamente estável	1,4-1,7	
Moderadamente vulnerável	1,8-2,2	Equilíbrio
Vulnerável	2,3-2,6	Prevalece a morfogênese

Muito vulnerável 2,7-3,0

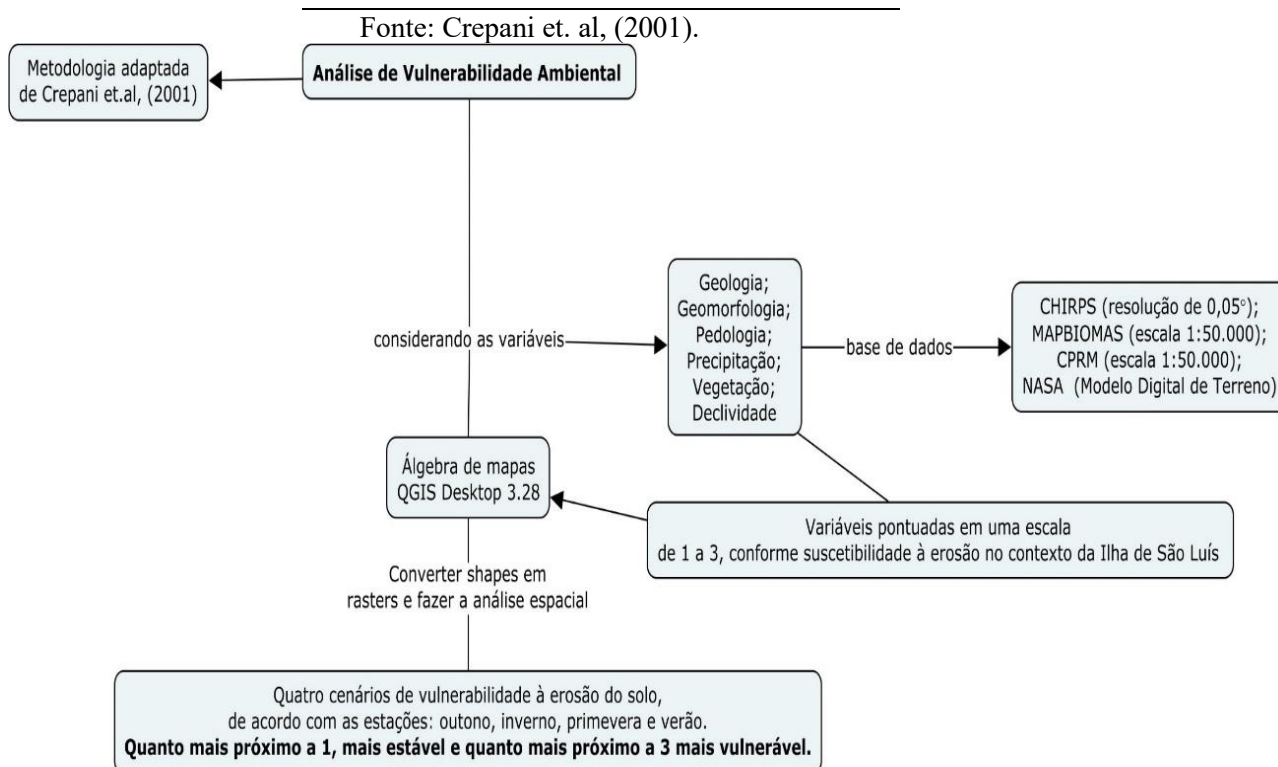


Figura 2 – Fluxograma metodológico de análise de vulnerabilidade ambiental à perda de solo. Fonte: Autora (2025).

### 3. RESULTADOS

#### Geoformas mapeadas na Ilha

O mapeamento dos componentes físicos, climáticos e bióticos são essenciais para entender o nível de suscetibilidade da Ilha. No caso desta pesquisa, a relação sistêmica se deu diante da geologia, relevo, solos, vegetação, declividade e clima uso e cobertura da terra que compõem a Ilha (tabelas 3,4,5,6,7 e figura 3).

Tabela 3 - Valoração das Unidades de Mapeamento Geológico da Ilha quanto à vulnerabilidade.

Classe geológica	Pesos	Crítérios
Formação pós barreiras, Depósito de pântanos salinos e Depósitos de mangues	2	O tempo obedecerá se é mais ou menos recente, logo, rochas mais recentes tendem a ser mais vulneráveis aos processos pedo e morfogenéticos. A estabilidade e resistência trata-se dos minerais e rochas e sua vulnerabilidade ao intemperismo.
Grupo Itapecuru	2,7	
Depósitos aluvionares, Depósito de cordões litorâneos antigos, Depósitos eólicos litorâneos e Depósitos litorâneos praias.	3,0	

Fonte: Autora (2025).

Tabela 4 - Valoração das classes de solos da Ilha quanto à vulnerabilidade.

Classe de solos	Pesos	Crítérios
Argissolo vermelho distrófico e Argissolo vermelho amarelo distrófico	1,5	A porosidade corresponderá se um solo é mais ou menos permeável, valores mais elevados significam mais impermeável. A profundidade e maturidade vai corresponder ao fator formação "tempo", que se relaciona ao grau de estabilidade pedogenética, valores mais elevados significam rasos e pouco evoluídos. A textura discorre sobre agranulometria, arenosa, argilosa a siltosa, valores mais elevados vão ser siltosa (mais frágil).
Tipos de terreno – dunas	2,5	
Solo de mangue	2,8	
Gleissolo háplico distrófico, Neossolo quartzênico órtico e Neossolo quartzênico órtico típico	3,0	

Fonte: Autora (2025).

Tabela 5 - Valoração das classes de declividade da Ilha quanto à vulnerabilidade.

Angulação	Pesos	Crítérios
Plano (0° a 2°)	1,0	Corresponde o quanto o relevo é íngreme ou aplainado dentro das classificações do SRTM.
Suave ondulado (2° a 5°)	1,4	
Ondulado (5° a 10°)	1,7	
Forte ondulado (10° a 25°)	2,8	

Fonte: Autora (2025).

Tabela 6 - Valoração da precipitação da Ilha quanto à vulnerabilidade.

Precipitação	Pesos	Crítérios
Primavera 50-75 mm/mês	1,1	O clima influencia diretamente no intemperismo. A principal causa da perda de solos é a ação pluviométrica agindo sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica. Dessa forma, valores mais altos de intensidade tornam o território mais suscetível ao intemperismo.
75-100 mm/mês	1,2	
100-125 mm/mês	1,3	
Verão >500 mm/mês	2,7	

Outono	1108-1128 mm/mês	3,0
Inverno	270-300 mm/mês	2,0
	300-320 mm/mês	2,2
	320-340 mm/mês	2,4

Fonte: Autora (2024).

Tabela 7 - Valoração das classes de vegetação e uso da terra quanto à vulnerabilidade.

Classe de Vegetação e uso da terra	Pesos	Crítérios
Formação florestal	1,0	Esse aspecto diz respeito a proteção ao solo isso, porque a menor ou maior proteção é dada pelo dossel vegetativo. Valores menores significam maior proteção e menor vulnerabilidade.
Formação savânica, mangue e formação campestre	1,5	
Pastagem	2,5	
Campo alagado/pantanosos, praia, duna, areal, área urbana e mineração	3,0	

Fonte: Autora (2025).

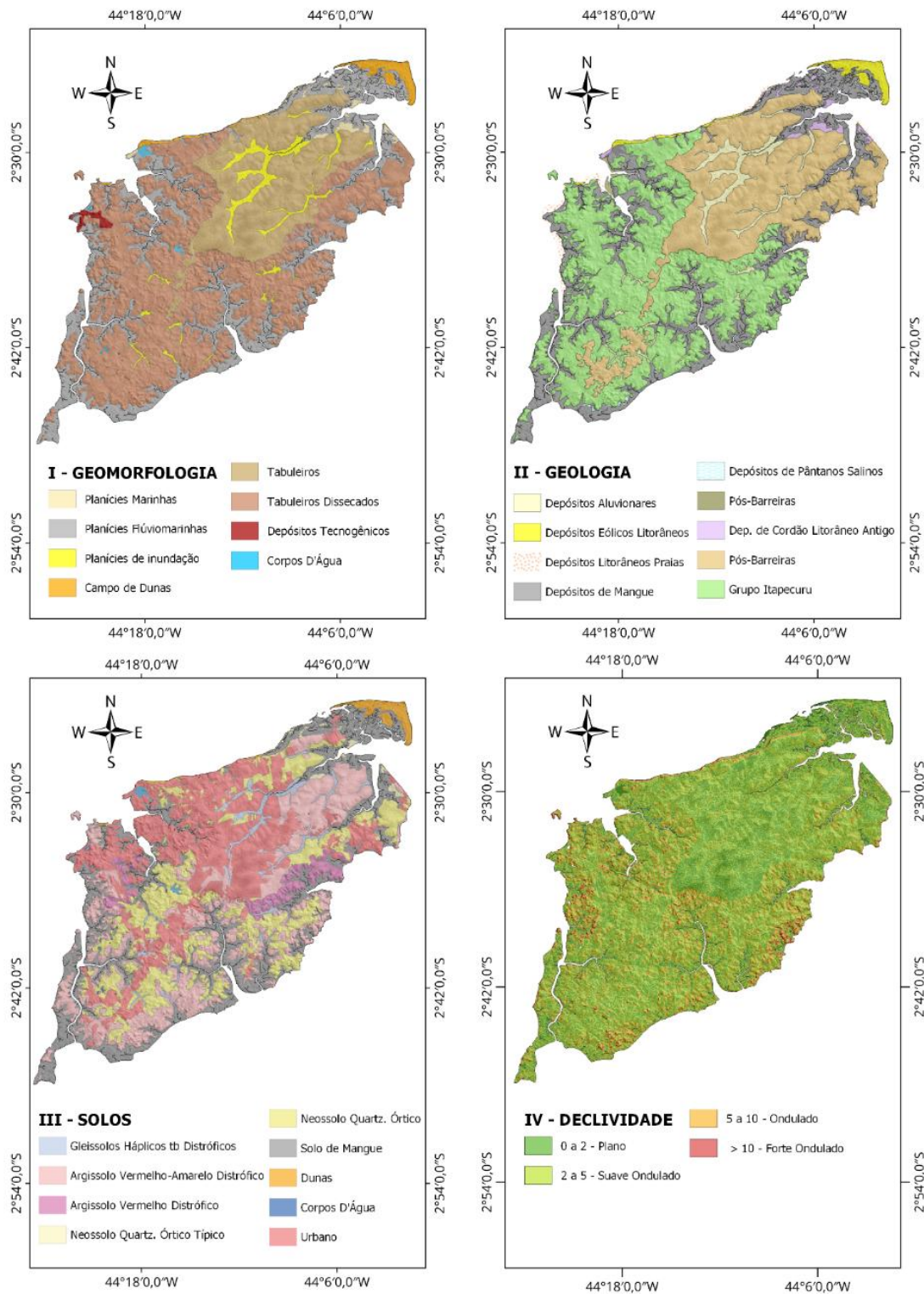


Figura 4 - Geoformas da Ilha de São Luís-MA. Fonte: Adaptado de CPRM (2019).

A geologia da ilha de São Luís (figura 4) abrange diversos domínios, os quais destacam-se os mais vulneráveis à erosão, sendo referentes a era mesozoica o grupo Itapecuru, o qual ocorre praticamente em toda a área, perfazendo pelo menos 80% da Ilha de São Luís, sendo observado em cortes de estradas, morrotes, cavas de extração de areia e falésias. Compõe-se

principalmente de arenitos e pelitos intercalados com arenitos finos, bem selecionados, com coloração amarela, roxa, vermelha e esbranquiçada, bem laminados, às vezes ondulados. Já na era cenozoica e período quaternário os depósitos aluvionares e depósitos eólicos litorâneos apresentam características parecidas, com sedimentos esbranquiçados, quartzosos, finos, bem selecionados, presentes nas dunas móveis e fixas ao longo da faixa litorânea (IMESC, 2020).

Os depósitos litorâneos praias ao longo de toda a faixa litorânea referem-se aos sedimentos e formações geológicas que se acumulam nas áreas costeiras. Já os depósitos e cordões litorâneos antigos, presente no conhecido bairro ponta d'areia, apresenta sedimentos arenosos e areno-argilosos costeiros. Dessa forma, atribuiu-se maior peso à estas formações isso, porque essas áreas costeiras são naturalmente vulneráveis, por serem altamente dinâmicas e devido à interação entre processos marinhos, fluviais e eólicos (Freitas et al., 2020).

De forma geral, a geomorfologia da região (figura 4) que apresenta maior vulnerabilidade são os campos de dunas, dominantes nas praias do Meio, São Marcos, Calhau, Olho d'água, Araçagi, e Ilha do Cururupu. A formação de depósitos tectogênicos apresenta composição de aterros sobre corpos d'água e consta sobre a faixa da ponta da madeira. As planícies de inundação contêm áreas de várzea e se distribuem ao longo dos corpos d'água urbanos, a exemplo do rio paciência e riacho das pedrinhas. A planície de mangues, é uma geoforma associada a ecossistemas de manguezais, recorrente em grande parte da ilha envolvendo suas bordas.

Neste cenário, a declividade da ilha se apresenta diversa (figura 4), entretanto a maioria dos fragmentos vai de plano a suave ondulado. A região da linha costeira, Nova república Vila Maranhão e Guarapiranga apresentaram hipsometria mais pronunciada, oscilando entre plano, suave ondulado, ondulado e forte ondulado.

De acordo com o mapeamento de uso da terra (tabela 6), no MapBiomas, destaca-se que a ilha de São Luís vivenciou uma grande expansão imobiliária, entretanto ainda apresenta extensão de formações florestais, e notáveis mangues especialmente nas regiões de Paço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar, a ilha possui fragmentos de atividades de mineração na Vila Maranhão, a qual comporta o complexo portuário Itaqui.

Em relação aos solos (figura 4), dentre os mais suscetíveis estão os gleissolos háplicos tb distróficos, que compreendem solos mal drenados, relacionados às áreas mais deprimidas do terreno, com deficiência de oxigênio, dando ao solo uma coloração acinzentada a azulada, quase sempre implicando em presença de ferro. Pela proximidade do mar, é comum estarem associados a solos com excesso de sais (solos salinos). Tais solos possuem estruturas

prismáticas, comumente colunares, com baixíssima permeabilidade.

Com relação ao neossolo quartzênico órtico, esses estão correlacionados principalmente aos tabuleiros da formação terciária do grupo barreiras, abrangendo grande parte da ilha e os solos indiscriminados de mangue com ocorrência restrita às áreas de baixadas, que é recorrente em diversos pontos do território.

No que tange ao clima, pesquisas sobre a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica em regiões litorâneas ainda são tímidas, principalmente quando os estudos são baseados em dados de sensoriamento remoto e analisados em distintas escala de tempo (Vantuan et al., 2023). De forma que, nesta análise, houve maior suscetibilidade nos meses que compõem o verão (dezembro, janeiro e fevereiro), e outono (março, abril e maio).

De modo que, a maior intensidade pluviométrica no verão e outono pode ser explicada através da adjacência da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), as Linhas de Instabilidades (LI), os Sistemas Convectivos de Mesoescala Circular (SCMC), e os mecanismos oceano-atmosfera: EL Niño Oscilação Sul (ENOS) e Modo Meridional do Atlântico Sul (MMA) como também o sistema de circulação de brisa, que compõem as conjunturas dinâmicas de grande e meso-escalas que possibilitam o desenvolvimento de Linhas de Instabilidade por toda extensão longitudinal da região norte e nordeste da Amazônia (Santos et al., 2018; Cavalcante et al., 2020).

### **Análise de vulnerabilidade ambiental**

A avaliação da vulnerabilidade ambiental sob a ótica de observação do comportamento das quatro estações meteorológicas, resultou da interação entre os elementos físicos e antrópicos, fornecendo dados que permitem estabelecer limitações e oferecer sugestões de aprimoramento para o uso e cobertura da terra. Nesse sentido, as atividades humanas introduzem desequilíbrios de diferentes magnitudes no sistema ambiental, e essa vulnerabilidade possibilita a identificação da fragilidade dos ambientes naturais diante das intervenções antrópicas em cada estação do hemisfério sul (figura 4).

Na primavera (figura 5), o índice de vulnerabilidade foi de estável (alguns fragmentos) à medianamente vulnerável (maior extensão territorial). Isso, porque o índice pluviométrico de 50 a 125 mm/mês, de setembro, outubro e novembro possuem tendência histórica na Amazonia oriental a serem mais secos. De forma que estas secas estão cada vez mais acentuadas devido ao fenômeno climático El Niño/Oscilação Sul (ENOS), somado a fatores atores locais e globais mais amplos como o desmatamento contribuem para impactar as condições climáticas na região amazônica, através de secas mais pronunciadas e os impactos se traduzem em alterações na precipitação (Santos et al., 2023).

Durante o período de inverno (figura 6), todas as margens da Ilha se tornam vulneráveis.

Isso ocorre devido à riqueza em remanescentes florestais, associados à Floresta Amazônica (ombrófila densa e aberta). No entanto, essas áreas revelam-se geoambientalmente instáveis, caracterizadas predominantemente por planícies fluviomarinhas, juntamente com depósitos e solos de mangue.

Além disso, o índice pluviométrico mais elevado em comparação com a primavera amplia a suscetibilidade nas margens, que, intrinsecamente, são naturalmente vulneráveis, dada sua natureza de linhas costeiras. Isso porque, a precipitação é a variável climática mais investigada no balanço hidrológico da região amazônica, por esse motivo conhecer a sua variabilidade é indispensável na gestão, no planejamento local, principalmente no desenvolvimento de atividades socioeconômicas em zonas tropicais como a Ilha de São Luís (Gomes et al., 2021).

Durante a estação de verão (figura 7), o índice de vulnerabilidade apresentou um aumento notável em comparação com as demais estações, abrangendo praticamente toda a periferia da ilha, incluindo os municípios de São José de Ribamar e Ilha do Cururupu. Especialmente, observou-se uma elevada vulnerabilidade em toda a extensão do município de Raposa, caracterizado por feições geológicas de manguezais, geomorfologia de planícies fluviomarinhas, maior índice pluviométrico e solos de mangue, criando um ambiente propício à erosão.

O cenário do outono (figura 8) manteve a mesma tendência observada no verão, com poucas alterações significativas. De acordo com o Índice de Vulnerabilidade, algumas regiões demonstraram uma elevada vulnerabilidade em ambas as estações, sendo a maioria dessas áreas situada ao longo das praias do Calhau e Olho d'água, no município de São Luís. A importância dessas áreas destaca a urgência da conservação para um ecossistema que apresenta características distintas em termos de composição e fatores abióticos, além de enfrentar diversas pressões antrópicas (ANA E CPRM, 2019).

## VULNERABILIDADE NA PRIMAVERA

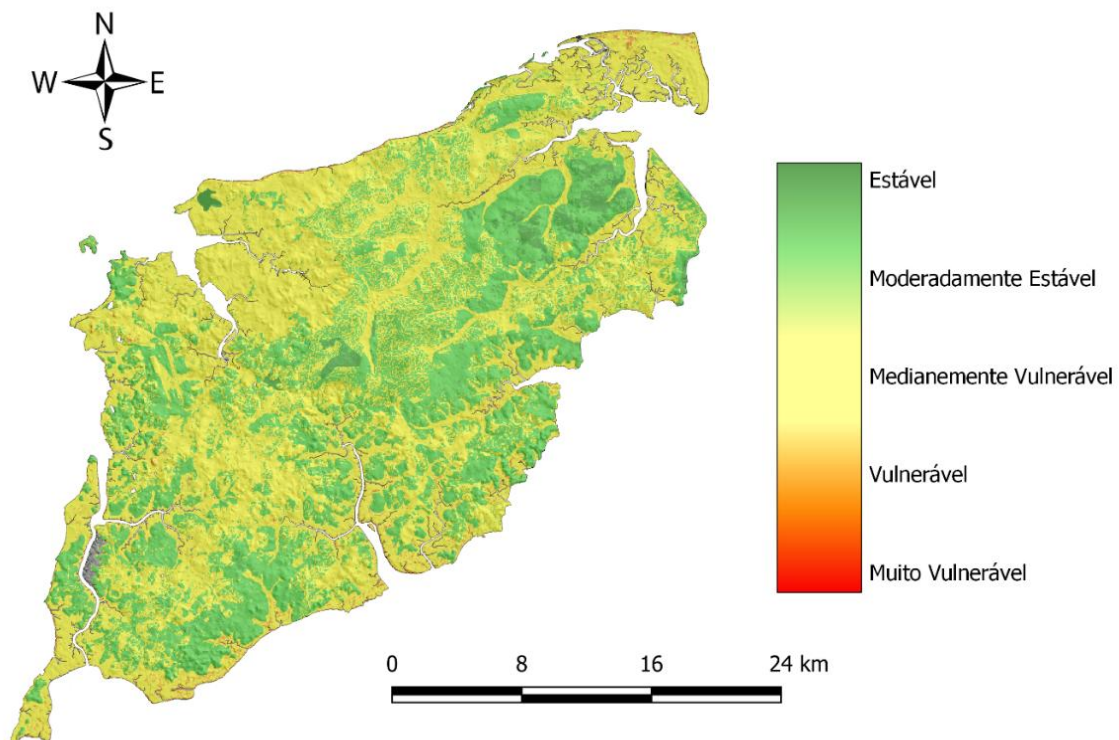


Figura 5 - Cenário da primavera gerado na avaliação de vulnerabilidade à perda de solo. Fonte: Autora, (2025).

## VULNERABILIDADE NO INVERNO

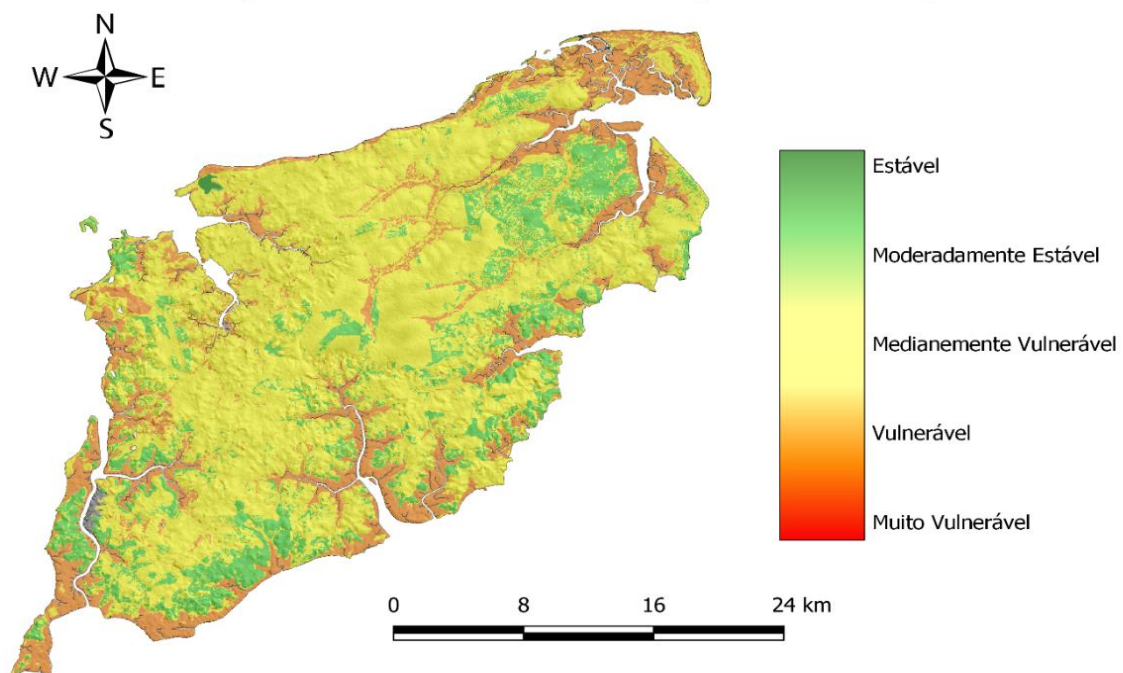


Figura 6 - Cenário do inverno gerado na avaliação de vulnerabilidade à perda de solo. Fonte: Autora, (2025).

## VULNERABILIDADE NO VERÃO

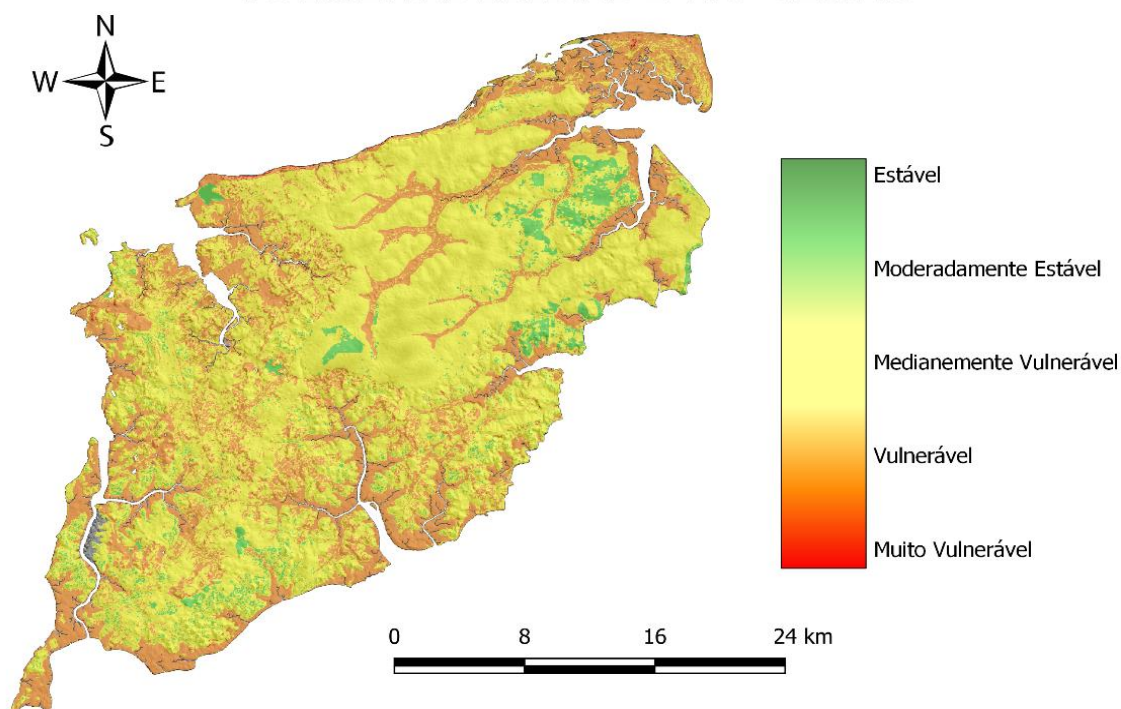


Figura 7- Cenário do verão gerado na avaliação de vulnerabilidade à perda de solo. Fonte: Autora, (2025).

## VULNERABILIDADE NO OUTONO

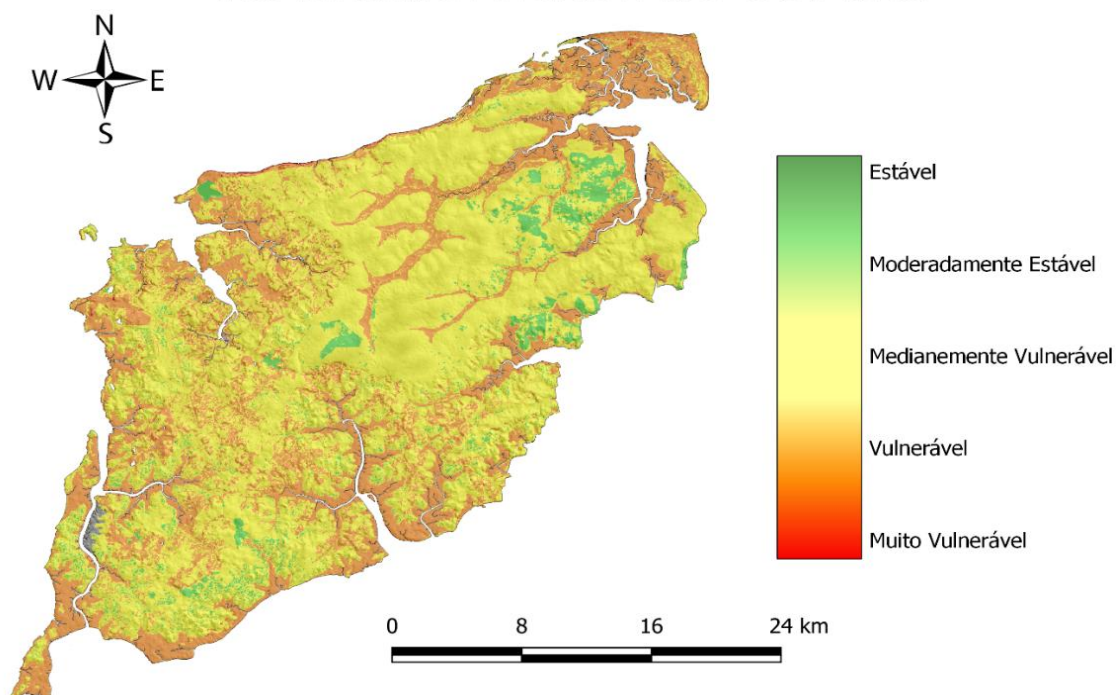


Figura 8 - Cenário do outono gerado na avaliação de vulnerabilidade à perda de solo. Fonte: Autora, (2025).

#### 4. DISCUSSÃO

##### **Correlação entre os cenários mapeados de vulnerabilidade ambiental e a realidade na região metropolitana de São Luís.**

Os cenários se mostraram variáveis de acordo com a variação pluviométrica, provando justamente que o clima influencia diretamente no intemperismo, por meio da precipitação pluviométrica e da temperatura de uma região. A principal causa da perda de solos é a ação pluviométrica agindo sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica, além de promover o arraste de contaminantes (Crepani et al., 2001).

A pesquisa conduzida por Negrão e Ranieri (2022), na região costeira de Marapanim-Pa revelou que a combinação da influência da atividade humana com os processos naturais tem desencadeado o fenômeno de erosão costeira. Notavelmente, as áreas mais densamente ocupadas e situadas em proximidade à linha costeira apresentaram níveis significativos de instabilidade local, aumentando os riscos e danos costeiros. Estas localidades são identificadas como áreas críticas, destacando sua importância especial no contexto do planejamento.

As zonas costeiras são sistemas dinâmicos e complexos que respondem a eventos climáticos extremos, influenciados pela população humana, pelas edificações e pelas atividades socioeconômicas que crescem mais rapidamente do que a média global (Nguyen, 2021). A sua morfologia influencia a sua colonização, tornando-a propícia ao desenvolvimento de comunidades e à expansão agrícola. A localização estratégica da costa, perto da água, facilita o acesso à pesca, ao transporte de matérias-primas e ao comércio. A promoção das indústrias, dos transportes, do turismo e da pesca melhorou enormemente a economia das cidades costeiras, resultando num maior crescimento populacional e no desenvolvimento de infra-estruturas (Abir, 2023).

A instabilidade frequente observadas neste estudo nas bordas da ilha, inclusive no inverno, (junho, julho e agosto) é ratificada pela pesquisa de Lima et.al, (2022) que descreve a construção de um Espigão (que dissipa a energia das ondas) costeiro na região da Ponta d'Areia que, de forma que a estrutura ajuda a conter a erosão e proteger a área urbana contra o avanço do mar. Ele desempenha um papel importante no controle e atenuação das marés e tempestades a fim de proteger a infraestrutura urbana

Esse cenário é reforçado pelos eventos de erosão registrados em 2022, noticiados pelo veículo midiático Rede Imirante, como os casos das crateras na zona costeira e em grande parte da área portuária. Assim, a infraestrutura da orla de Raposa encontra-se completamente comprometida, demandando medidas corretivas urgentes.

A ocupação desordenada da área, impulsionada principalmente pelos empreendimentos industriais, intensificou o surgimento de vários problemas de cunho social, econômico e ambiental, com destaque para a capital maranhense, que se transformou em um polo atrativo de mão de obra. Grande parte da vegetação natural deu lugar a expansão imobiliária, ampliando cada vez mais as áreas impermeabilizadas, acarretando a minimização da infiltração e o aumento das vazões escoadas superficialmente. São constantes as ocorrências de alagamentos em toda a região (ANA E CPRM, 2019).

Os resultados obtidos nos cenários analisados neste estudo estão correlacionados aos desfechos de outras investigações e eventos na ilha, conforme reportado pela mídia. Isso inclui o levantamento presencial conduzido pelo CPRM em 2019, em colaboração com órgãos públicos dos quatro municípios da ilha, que identificou mais de 90 locais propensos a frequentes alagamentos. Em fevereiro de 2022, durante períodos de intensas chuvas, ocorreu um deslizamento de encosta no Bairro São Raimundo, em São Luís, resultando na formação de uma voçoroca que representou uma ameaça significativa para diversas residências do bairro (Rede Imirante Maranhão, 2022).

Em 2020, foi divulgado que o calçadão que conduz a uma seção do Terminal Praia Grande, em São Luís, encontrava-se em estado de deterioração devido à intensidade da maré, que transbordou o muro de contenção. A erosão afetou também o gradil na parte posterior do terminal, e crateras de resíduos foram dispersas na área danificada pela força da maré. O pavimento diminuiu com a influência das marés, causando apreensão entre os comerciantes locais e representando uma ameaça às estruturas existentes na região (Rede Imirante Maranhão, 2020).

Em 2024 houve outro episódio de voçoroca às margens da rodovia MA-203, via de acesso ao município de Raposa, ou seja, não ocorreu na zona costeira mas, é tão recorrente que surgem em diversos recortes espaciais inclusive no caso de uma rodovia, sendo de extremo risco (Rede Imirante Maranhão, 2024). Durante os meses de março, abril e maio, período do outono no hemisfério sul, a distribuição da chuva tende a ser mais pronunciada, bem como o outono apresentou 1108-1128 mm/mês.

Santos et. al, (2024) explica que, o clima na região amazônica é caracterizado pela presença de um vasto espectro de variações espaço-temporais na atividade convectiva, com altos índices pluviométricos, principalmente durante o verão e outono austral.

A pesquisa de Rizzo et.al (2023), concluiu que, a perda de solo nos pontos mais críticos da bacia do córrego Pequiá-Maranhão se deve ao tipo de solo e manejo com altos índices pluviométricos especialmente nos meses de dezembro à abril, que corresponde ao verão e outono.

Os estudos de Cavalcante et al. (2020), apresentam resultados similares de precipitação quando investigados os períodos do verão e outono austral para a região amazônica, incluindo região costeira, a partir de dados extraídos de CHIRPS. A precipitação regional é promovida pela interação de diversos sistemas meteorológicos e mecanismos oceano-atmosfera que interagem em distintas escalas de tempo gerando a convecção local. A saber, os principais sistemas precipitantes são: a Zona de Convergência Intertropical (IT), as Linhas de Instabilidades (LI), os Sistemas Convectivos de Mesoescala Circular (SCMC), e os mecanismos oceano-atmosfera: EL Niño Oscilação Sul (ENOS) e Modo Meridional do Atlântico Sul (MMA) (Santos et al., 2024).

Diante dos cenários situacionais e das comprovações científicas de complexidade ambiental a ilha de São Luís, enquanto epicentro econômico fundamental para o Estado do Maranhão, encontra-se suscetível devido a seu histórico controverso, no qual a interação entre o homem e a natureza enfrenta desafios significativos, resultando em um cenário de desequilíbrio e vulnerabilidade. Diante desse contexto, o desafio reside na formulação de políticas de gestão preventiva e sistemas de alerta eficazes, visando contribuir efetivamente para a prevenção de riscos e desastres. A crescente população e o desenvolvimento econômico nas costas estão a causar mudanças ambientais significativas, a procura de recursos e a exposição a perigos costeiros como a erosão, as inundações e a intrusão de salinidade.

Assim, podem ser considerados sistemas naturalmente instáveis, cujo estado de equilíbrio dinâmico pode ser rapidamente alterado face às alterações climáticas. As alterações climáticas estão agravando estes desafios atuais, a exemplo de chuvas mais intensas e os seus potenciais implicações estão causando muita preocupação nas costas do mundo (Dada, Almae, e Morand, 2024).

A ilha de São Luís, enquanto epicentro econômico fundamental para o Estado do Maranhão, encontra-se suscetível devido a seu histórico controverso, no qual a interação entre o homem e a natureza enfrenta desafios significativos, resultando em um cenário de desequilíbrio e vulnerabilidade. Diante desse contexto, o desafio reside na formulação de políticas de gestão preventiva e sistemas de alerta eficazes, visando contribuir efetivamente para a prevenção de riscos e desastres.

A crescente população e o desenvolvimento econômico nas costas estão a causar mudanças ambientais significativas, a procura de recursos e a exposição a perigos costeiros como a erosão, as inundações e a intrusão de salinidade. Assim, podem ser considerados sistemas naturalmente instáveis, cujo estado de equilíbrio dinâmico pode ser rapidamente alterado face às alterações climáticas. As alterações climáticas estão agravando estes

desafios atuais, a exemplo de chuvas mais intensas e as suas potenciais implicações estão causando muita preocupação nas costas do mundo (Dada, Almar e Morand, 2024).

As taxas de desmatamento na Amazônia brasileira aumentaram mais de 20% no último ano em comparação com anos anteriores e vêm aumentando. O desmatamento tem consequências profundas para a biodiversidade, e o impacto sobre os riachos tropicais é bem documentado. O desmatamento influencia as condições dos riachos direta e indiretamente, alterando a morfologia do canal, a temperatura e a luminosidade da água, mediadas pela abertura do dossel, e aumentando a erosão e o transporte de sedimentos, nutrientes e contaminantes (Val et al., 2022).

## **CONCLUSÃO**

Sugerir modificações na abordagem metodológica tradicional não representa uma novidade ou originalidade singular. No entanto, a concepção de empregar estações meteorológicas como um meio de observação do comportamento dos diversos elementos da paisagem emergindo como um aspecto crucial que se destacou neste estudo pois os dados de sensoriamento remoto são uma alternativa eficiente para estudos de variabilidade espaço-temporal da chuva em extensas regiões, sanando as limitações escalares inerentes das estações meteorológicas de superfície. Assim, este estudo teve como propósito analisar a correlação entre a prevalência de áreas vulneráveis aos processos erosivos na Ilha de São Luís, MA.

A hipótese subjacente sustenta que a combinação de variáveis está diretamente associada à suscetibilidade aos processos erosivos, resultando na formação de áreas espacialmente propensas à erosão. Nesse sentido, os processos erosivos possivelmente desempenham um papel significativo no agravamento contínuo das condições ambientais e sociais. A vulnerabilidade decorrente desses processos pode aumentar a suscetibilidade de localidades a eventos adversos nos principais centros econômicos e turísticos da ilha como Raposa, São José de Ribamar e na faixa litorânea.

É imprescindível a implantação de uma rede de drenagem urbana adequada e compatível com o cenário urbano, diretamente influenciado pelo abrupto crescimento populacional e em um contexto de vulnerabilidade, se constitui em medida prioritária, para que em eventos de chuvas intensas não se tornem ambientes propícios à desastres.

## **REFERÊNCIAS**

ANA; CPRM. (2019). Agência Nacional de Águas, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Estudos hidrogeológicos da Ilha de São Luís, MA: Subsídios para o uso sustentável dos recursos hídricos.

- Abir, L. M. (2023). Impact of tourism in coastal areas: Need of sustainable tourism strategy. Available from [http://www.coastalwiki.org/wiki/Impact\\_of\\_tourism\\_in\\_coastal\\_areas:\\_Need\\_of\\_sustainable\\_tourism\\_strategy](http://www.coastalwiki.org/wiki/Impact_of_tourism_in_coastal_areas:_Need_of_sustainable_tourism_strategy)
- Belato, L. S., Serrão, S. L. C., Gandra, A. L. F., & Amorim, I. L. S. (2018). Aplicação da vulnerabilidade ambiental do município de Moju, Estado do Pará. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9(5), 218-230. <https://doi.org/10.6008/CBPC21796858.2018.005.0020>
- Birkmann, J., Kienberger, S., & Alexander, D. E. (2014). Introduction: Vulnerability: A key determinant of risk and its importance for risk management and sustainability. *Assessment of Vulnerability to Natural Hazards*, 4(2), 30-50.
- Becker, B. (2005). Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, 19(53). <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100005>
- Cabral, L. N., & Cândido, G. A. (2019). Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: Relações conceituais e compreensões de causa e efeito. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11(2), 35-50.
- Camello, T. C. F., Garcia, V. S., Araújo, S. B., & Almeida, J. R. (2009). *Gestão e vigilância em saúde ambiental*. Rio de Janeiro: THEX Editora.
- Cavalcante, R. B., Ferreira, D. B. S., Pontes, P. R. M., Tedeschi, R. G., Costa, C. P. W., & Souza, E. B. (2020). Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. *Atmospheric Research*, 238, 104-179. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.10487>
- CPRM. (2013). Portal GeoBank. <https://geoportal.cprm.gov.br/geosgb/>. Acesso em 2 de maio de 2023.
- Crepani, E. M., et al. (2001). *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento físico-territorial*. São José dos Campos: INPE. <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>
- Coutinho, E. De C., Rocha, E. J. P., Lima, A. M. M., Ribeiro, H. M. C., Gutierrez, L. A. C. L., Barbosa, A. J. S., ... & Tavares, P. A. (2017). Riscos socioeconômicos e ambientais em municípios banhados pelos afluentes do Rio Amazonas. *Revista Ambiente & Água*, 12(5). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2013>
- Dada, O. A., Almar, R., & Morand, P. (2024). Coastal vulnerability assessment of the West African coast to flooding and erosion. *Scientific Reports*, 14, 890. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48612-5>
- Evans, I. S. (1972). General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In R. J. Chorley (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology* (pp. 36-41). Methuen.

Fiorese, C., Carvalho, J., Batista, A., Batista, J., & Torres, H. (2021). Levantamento da perda de solo atual por erosão hídrica do município de Cachoeiro de Itapemirim (ES). *Cadernos Camilliani*, 16(3), 1525-1546.

Freitas, S. J. N., Silva, M. A., Sodré, G. R. C., & Santos, M. R. S. (2020). Vulnerabilidade aos processos erosivos relacionada com a sazonalidade no município de Barcarena, Pará. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(7), 448-462. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0036>

Gomes, F. B. R., Vargas, I. S., Procópio, A. S., & Castro, S. R. (2021). Estudo da variabilidade espaço-temporal e tendências de precipitação na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, 28. <https://doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.74380> IBGE. (2010).

Censo Demográfico de 2010. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. (2019). Estimativas populacionais dos municípios. <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 29 de novembro de 2019

IMESC. (2020). Relatório Técnico de Arranjos Jurídicos Institucionais do Zoneamento Ecológico Econômico do Maranhão (ZEE-MA) - Etapa Bioma Amazônico. São Luís: IMESC.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K Pachauri & L.A. Meyer (Eds.)].

IPCC. [https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf) Lima, L. G., Ferreira, M. S., & Santos, J. H. S. (2022). Morfodinâmica da praia da Ponta da Areia: Considerações sobre a construção de um espigão costeiro e ambiente de macromaré. *Geociências*, 41(2), 503-515. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i02.16457>

Luna, V. F., Gomes, J. F., Silva, C. C. J., & Silva, J. M. O. (2019). Ilhas de calor na zona urbana do Crato-Ceará na perspectiva do S.C.U. (Sistema Clima Urbano) sob o nível termodinâmico. *Revista GeoUECE*, 8(14), 371-387. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21930.43203>

Lourenço, R. W., Sales, J. C. A., Arantes, L. T., Silva, C. V., & Silva, D. C. C. (2022). Reflexos ambientais do desenvolvimento e expansão das atividades humanas sobre a qualidade da água. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15, 176-198. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p176-198>

Mapbiomas. (2020). Coleção MapBiomas. [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomascama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomascama_set_language=pt-BR)

- Medeiros, R. B., Santos, L. C., Bezerra, J. F. R., Silva, Q. D., & Melo, S. N. (2023). Environmental vulnerability of the Buriticupu River Water Basin, Maranhão - Brazil: The relief as a key element. *Sociedade & Natureza*, 35(1). <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66679>
- Mu, Y., Biggs, T., & Shen, S. S. (2021). Satellitebased precipitation estimates using a dense rain gauge network over the Southwestern Brazilian Amazon: Implication for identifying trends in dry season rainfall. *Atmospheric Research*, 261, 105741. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.10574>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2023). ASF Data Search. <https://search.asf.alaska.edu/>
- Negrão, Y. S., Sousa, H. C., & Ranieri, L. A. (2022). Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a ocupação populacional em áreas de riscos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 23(2), 1264-1284. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i2.195>
- Nguyen, Q. H. (2021). Impact of investment in tourism infrastructure development on attracting international visitors: A nonlinear panel ARDL approach using Vietnam's data. *Economies*, 9(3), 131. <https://doi.org/10.3390/economies9030131>
- Pereira, L. C. C., Trindade, W. N., Silva, I. R., Concejo, A., & Short, A. D. (2016). Maranhão beach systems, including the human impact in São Luís beaches. In A. D. Short & A. Klein (Eds.), *Brazilian Beach Systems Coastal Research Library 17* (pp. 125-152). Springer.
- QGIS Development Team. (2023). QGIS Desktop 3.28.5. Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- Rabelo, T. O. (2016). A análise da vulnerabilidade ambiental como subsídio para a gestão da Lagoa do Bacuri, Maranhão – Brasil. *Revista de Geociências do Nordeste*, 2, 1088-1098. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10571>
- Rede Imirante Maranhão. (2021). Chuva provoca erosão e derruba estátua em São Luís. Imirante. <https://imirante.com/noticias/saoluis/2021/02/17/chuva-provocaerosao-ederruba-estatua-em-sao-luis-alerta-paratemporais-no-maranhao>
- Rede Imirante Maranhão. (2022). Porto do Braga sofre com a erosão na cidade de Raposa. G1 Maranhão. <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/202>
- Rede Imirante Maranhão. (2022). Erosão toma conta do asfalto e abre cratera no Turu. Imirante. <https://imirante.com/noticias/saoluis/2016/04/27/erosao-toma-conta-do-asfaltoe-abre-crateras-em-rua-do-turu>
- Rede Imirante Maranhão. (2024). Cratera às margens da MA-203, na Raposa, oferece riscos na via de grande movimentação. Imirante. <https://imirante.com/noticias/raposa/2024/04/1>

- l/cratera-as-margens-da-ma-203-na-raposaoferece-riscos-na-via-de-grandemovimentacao
- Ribeiro, A. S. R. (2016). Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(1), 16-31. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p016-03>
- Rizzo, F. A., Silva, D. C., & Tonello, P. S. (2023). Análise da vulnerabilidade dos solos quanto à erosão hídrica na bacia do Córrego Pequiá, Açailândia, Maranhão. *Revista do Departamento de Geografia/USP*, 2023. <https://doi.org/10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2023.192740>
- Rostam, K., Jali, M. F. M., & Toriman, E. (2010). Impacts of globalisation on economic change and metropolitan growth in Malaysia: Some regional implications. *Social*, 5, 293-301.
- Ross, J. L. S. (1992). O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia/USP*, 6, 17-29.
- Ross, J. L. S. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia/USP*, 8, 63-73.
- Santos, M. (2006). Por uma outra globalização: Do pensamento único à consciência universal. Record
- Santos, L. C. A., & Soares, I. G. (2020). Caracterização da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Preto, Maranhão – Brasil. *Geografia (Londrina)*, 29(1), 85-105. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2020v29n1p85>
- Santos, P. T., & Martins, A. P. (2018). Análise da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Claro (GO) utilizando geotecnologias. *Revista do Departamento de Geografia/USP*, 36(2), 155-170. <https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.143665>
- Santos, M. R. S., Paula, E. M. S. de, Rabelo, D. R., & Pimentel, M. A. da S. (2024). Variação espaço-temporal (1981-2020) da chuva na região costeira do estado do Pará – Amazônia Oriental. *Caminhos de Geografia*, 25(99), 167-178. <https://doi.org/10.14393/RCG259970567>
- Santos, M. R. S., Vitorino, M. I., Pereira, L. C. C., Pimentel, M. A. S., & Quintão, A. F. (2021). Vulnerabilidad socio-ambiental al cambio climático: Condiciones en los municipios costeros del estado de Pará. *Ambiente & Sociedade*, 24, 1-22. <https://doi.org/10.1590/18094422asoc20200167r1vu2021L3>
- Santos Quaresma, M. de N., Nunes da Silva, C., Brito da Cruz, M. L., & Da Silva Santos, M. R. (2023). Análise climática e a identificação de extremos de precipitação na Ilha do Marajó/Pará. *Geoambiente On-line*, (47).
- Serra Lisboa, G., Rodrigues Bezerra, J. F., & De Govêa, K. V. (2024). Mapeamento de áreas

- potenciais à erosão laminar na Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros, São Luís Maranhão. *Revista Contexto Geográfico*. <https://doi.org/10.28998/contegio.9i.18.16887>
- Siwar, C., Ahmed, F., Bashawir, A., & Mia, M. S. (2016). Urbanization and urban poverty in Malaysia: Consequences and vulnerability. *Journal of Applied Sciences*, 16(4), 154–160.
- Szlafstein, C. F. (2012). The Brazilian Amazon coastal zone management: Implementation and development obstacles. *Journal of Coastal Conservation*, 16(3), 335–343.
- Tricart, J. (1977). *Ecodinâmica*. IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN. Van Tuan, N., et al. (2023). Spatio-temporal analysis of drought in the North-Eastern coastal region of Vietnam using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Atmospheric and Climate Sciences*, 13(2), 175–200. <https://doi.org/10.4236/acs.2023.132011>
- Vommaro, F., Menezes, J. A., & Barata, M. M. L. (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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.13462>

## CAPÍTULO III

### Impactos da Urbanização Desordenada na Cobertura Vegetal, Microclima e Sustentabilidade da Ilha do Maranhão.

*Stephanie Jael Negrão de Freitas Ruiz*

*Giordani Rafael Conceição Sodré*

*Breno Ruiz de Lima Verde da Silva*

*Francisca Helena Muniz*

#### RESUMO

Este artigo objetivou abordar os impactos do crescimento urbano na Ilha do Maranhão, com foco na interação entre mudanças no uso da terra, cobertura vegetal e microclima, analisando dados históricos de 1985 a 2022. A pesquisa destacou o papel da urbanização desordenada na modificação do microclima local e na perda de áreas naturais. Os municípios que compõem a ilha do Maranhão foram analisados quanto às mudanças na cobertura do solo, precipitação e temperatura. Houve uma expressiva perda de vegetação e aumento das áreas antropizadas, principalmente em São Luís e Paço do Lumiar, impulsionado por fatores econômicos e demográficos. Os dados indicam que São José de Ribamar teve a maior taxa de expansão antrópica (179,5%), enquanto Raposa apresentou menor impacto (8,9%). A análise de precipitação mostrou uma diminuição no regime pluviométrico ao longo dos anos, possivelmente atribuída à redução da cobertura vegetal, que afeta o ciclo hidrológico. A temperatura também apresentou elevação, com São José de Ribamar destacando-se pelas maiores médias e máximas, sugerindo maior efeito de ilhas de calor devido à urbanização. A pesquisa ressalta a importância das Áreas de Proteção Ambiental (APAs) na conservação dos ecossistemas, mas aponta a persistência de práticas ilegais de desmatamento, mesmo em áreas protegidas. A ausência de políticas integradas de planejamento territorial e ambiental agrava os impactos da expansão urbana. Como conclusão, este estudo evidenciou que as mudanças no uso da terra na Ilha do Maranhão têm alterado significativamente o microclima local, com perdas ambientais que comprometem a sustentabilidade da região. Recomenda-se o fortalecimento de políticas públicas para preservação ambiental e a promoção de práticas de urbanização sustentável, com o envolvimento das comunidades locais e a valorização dos conhecimentos tradicionais.

**Palavras – chave:** Expansão urbana; Precipitação; Temperatura.

**ABSTRACT**

vegetation cover, and the microclimate, analyzing historical data from 1985 to 2022. The research highlighted the role of unplanned urbanization in modifying the local microclimate and the loss of natural areas. The municipalities that make up Maranhão Island were analyzed regarding changes in land cover, precipitation, and temperature. There was a significant loss of vegetation and an increase in anthropized areas, especially in São Luís and Paço do Lumiar, driven by economic and demographic factors. The data indicate that São José de Ribamar had the highest rate of anthropic expansion (179.5%), while Raposa showed the least impact (8.9%). The precipitation analysis revealed a decrease in the rainfall regime over the years, possibly attributed to the reduction in vegetation cover, which affects the hydrological cycle. Temperature also increased, with São José de Ribamar standing out for its higher averages and maximums, suggesting a greater heat island effect due to urbanization. The research underscores the importance of Environmental Protection Areas (APAs) in ecosystem conservation but points to the persistence of illegal deforestation practices, even in protected areas. The lack of integrated territorial and environmental planning policies exacerbates the impacts of urban expansion. In conclusion, this study demonstrated that land use changes on Maranhão Island have significantly altered the local microclimate, with environmental losses compromising the region's sustainability. Strengthening public policies for environmental preservation and promoting sustainable urbanization practices, with the involvement of local communities and the appreciation of traditional knowledge, is recommended.

**Key – Words:** Urban expansion; Temperature; Precipitation.

## 1. INTRODUÇÃO

Milton Santos (1993) argumenta que a cidade, onde as necessidades emergentes frequentemente não encontram respostas adequadas, está condenada a ser tanto o palco de conflitos crescentes quanto o local geográfico e político onde soluções podem ser buscadas. As cidades localizadas em zonas costeiras, são áreas de transição, onde a terra, o mar e a atmosfera interagem. Essas zonas, historicamente essenciais para assentamentos humanos, portos, mineração e extração de recursos naturais, têm grande valor para a humanidade (Rego et al., 2018).

No cenário das mudanças climáticas, que o mundo enfrenta atualmente, as cidades desempenham um papel crucial. Elas são compreendidas como sistemas complexos de múltiplas interdependências entre o ambiente natural e construído, atividades e fluxos. As cidades não apenas sofrem os impactos dessas alterações climáticas, como também contribuem para sua intensificação (Espíndola e Ribeiro, 2020). A questão das "mudanças climáticas" ainda é pouco abordada nas políticas públicas urbanas municipais, sendo necessária mais profundidade e divulgação desse tema (Espíndola e Ribeiro, 2020; Moraes et al., 2022).

Especificamente em áreas urbanas costeiras, a vegetação tem papel fundamental na resiliência urbana, oferecendo funções ecossistêmicas, como regulação térmica. Contudo, muitas cidades brasileiras estão enfrentando uma rápida perda dessa vegetação (Kabano et al., 2021; Yao et al., 2019). Compreender os impactos da urbanização na vegetação é essencial para proteger a saúde humana e o ecossistema.

Em vez de integrar a cobertura vegetal como parte da solução para as emissões de CO<sub>2</sub>, as estratégias de planejamento urbano continuam excessivamente voltadas para o lucro gerado pela produção da cidade, negligenciando questões como justiça ambiental e acesso equitativo aos serviços públicos e à qualidade do ambiente urbano.

Essa abordagem de gestão, em grande parte desatualizada, remonta aos anos 1970, quando políticas desenvolvimentistas foram implementadas no Maranhão por meio do Programa Grande Carajás (PGC). Esse projeto, que incluiu a construção de uma nova rede de infraestrutura, como a ferrovia da Companhia Vale do Rio Doce e o Porto de Itaqui, foi

fundamental para a exportação do minério de Carajás, no Pará (Vasconcelos e Venâncio, 2024).

No contexto dessa intervenção federal na estruturação urbana, a cidade de São Luís, capital do Maranhão, experimentou uma expansão acelerada durante a década de 1980, com mais de 20 hectares de aumento. Esse processo intensificou o desmatamento, visando a homogeneização do território e desvalorizando formas de vida que preservam a floresta (Vasconcelos e Venâncio, 2024). Os municípios que compõem a ilha de São Luís — São Luís, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e Raposa —, embora politicamente independentes, formam uma área contínua de intensa interação político-administrativa. Esse espaço de urbanização concentrada, conforme Santos (1993), foi marcado por um desmatamento acelerado, originando ocupações desordenadas e levando à perda de áreas estratégicas, como zonas de preservação permanente e mananciais.

O ambiente urbano é um sistema dinâmico e complexo que interage com seu entorno. Ele depende de trocas contínuas de matéria e energia atmosférica para manter seu equilíbrio, sendo influenciado pela relação entre radiação solar incidente e irradiada (Nascimento Jr, 2019). A organização do clima urbano é baseada na interdependência funcional de estruturas internas e processos, subdivididos em três subsistemas principais: termodinâmico, físico-químico e hidrometeorológico. Além disso, considera-se a percepção de três canais essenciais: conforto térmico, poluição atmosférica e fenômenos meteorológicos de impacto (Júnior, 2018).

Na região Amazônica, as mudanças climáticas têm se manifestado por secas mais intensas e períodos de chuvas intensas, resultando em desastres com impactos sociais e ambientais, especialmente em áreas de produção improvisada (Oliveira e Silva, 2019). Comparativamente às regiões Sudeste e Sul do Brasil, onde desastres ocorrem ao longo do ano, na Amazônia eles são mais frequentes durante o período chuvoso, entre janeiro e maio (De Oliveira e Silva, 2019).

Embora a preservação da Amazônia seja uma questão central no debate sobre mudanças climáticas (IPCC, 2022), ainda falta investigação sobre o impacto do desmatamento no microclima dos assentamentos humanos da região e sua contribuição para as alterações climáticas globais. O estudo de Moraes et al. (2020) na Região Metropolitana de Belém, Pará, confirma que as mudanças no uso da terra têm um impacto significativo no microclima local, refletido em variações na precipitação, frequência de eventos intensos de

chuva e na temperatura do ar. A pesquisa de Jochner et al., (2013) destaca a importância da vegetação para controlar e estabilizar o microclima em cidades tropicais.

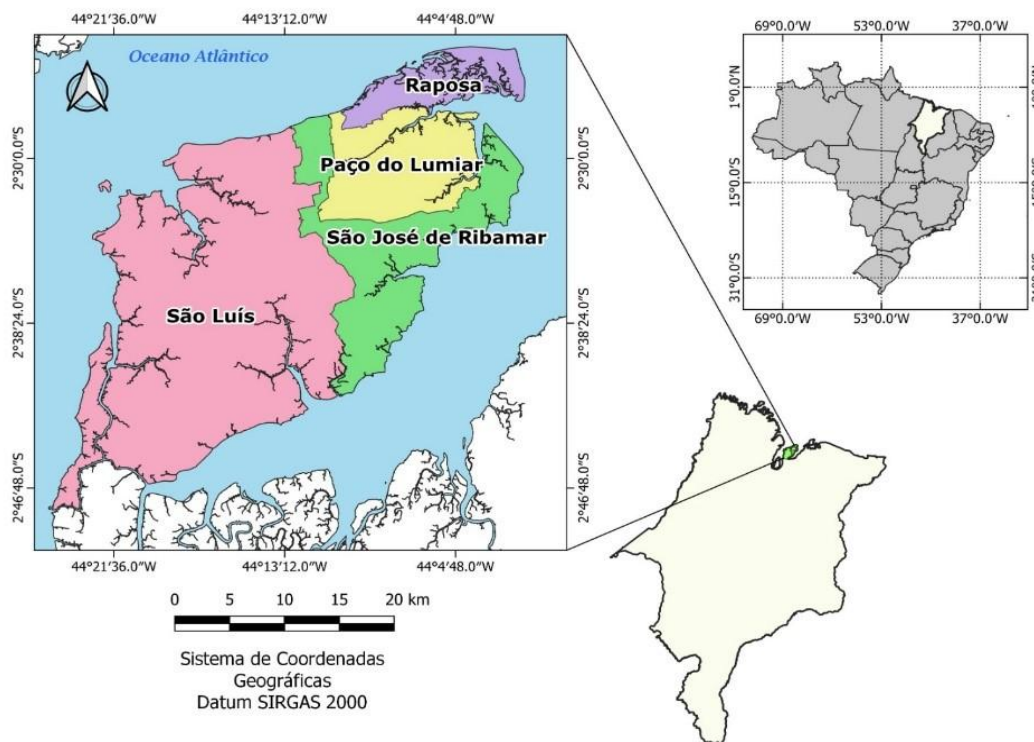
Este estudo se concentra na Ilha de São Luís, com o objetivo de analisar como o sistema termodinâmico interage com as mudanças na cobertura do solo em áreas urbanas. Buscamos entender como essas interações influenciam a dinâmica climática e os eventos de precipitação intensa, especialmente no que se refere ao conforto térmico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

A Ilha de São Luís, situada no Estado do Maranhão, integra a região amazônica no norte do litoral brasileiro, que representa 35% do total do litoral do país (figura 1). Esse setor é caracterizado por um relevo suave, vasta planície costeira e uma extensa plataforma continental adjacente. O litoral maranhense estende-se ao longo de uma área de transição entre a costa amazônica-paraense, influenciada pelas marés, e a costa afetada pelos ventos, característica do litoral do Estado do Ceará ao sul (Szlafestein, 2012).

Figura 1: Localização da Região Metropolitana da Ilha de São Luís, Maranhão.



Fonte: Autora (2025).

A precipitação anual na região atinge aproximadamente 2200 mm, enquanto a temperatura média do ar mantém-se em torno de 27°C, sem variações significativas ao longo do ano (INMET, 2023). De acordo com Rêgo et al. (2018), a Ilha do Maranhão encontra-se

numa zona de transição entre a vegetação típica da Amazônia e a do Nordeste. Essa característica resulta em uma diversidade botânica notável, abrangendo cerca de 260 espécies. A vegetação herbácea, arbustiva e arbórea que prevalece nas proximidades da zona costeira, ocupando solos arenosos como orlas, dunas, restingas e margens lagunares, é conhecida localmente como restinga e é considerada um componente do ecossistema da Mata Atlântica.

Os manguezais são ecossistemas típicos encontrados nos sedimentos lodosos intertidais locais, que cobrem extensas áreas da porção sul da ilha e pequenas manchas de a porção norte. Há quatro municípios na Ilha do Maranhão: São Luís, São José do Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar. A população humana de a ilha tem mais de um milhão, a maioria dos quais vive em São Luís, capital do Estado do Maranhão. As principais atividades econômicas da ilha são navegação, pesca, turismo e comércio em geral (Pereira et al., 2016).

Utilizou-se dados climatológicos mensais de 1985 a 2022 para o presente estudo, conforme detalhado nos subitens abaixo.

### **Precipitação**

Fora extraída da base de dados CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations), composta por diversas fontes de informação: (I) CHPCLim - Climatologia de Precipitação do Climate Hazards Group, (II) Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (TIR) da NOAA, (III) Campos de Precipitação do Coupled Forecast System (CFSv2) da NOAA, (IV) Observações de precipitação por meio de produtos de estações meteorológicas e outros serviços regionais (Prakash, 2019).

Esta base de dados é conhecida por sua alta resolução espacial de aproximadamente 5 km, cobrindo globalmente a faixa de 50°S a 50°N, com registros desde 1981 até a presente data, disponível na UCSB. (<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>), em formato NetCDF, GeoTiff e Esri BIL, nas resoluções temporais diários, pentadais, mensais e anuais.

### **Temperatura do ar**

Os dados de temperatura do ar (máxima, mínima e média) foram obtidos do European Centre for Medium Range Weather Forecast Reanalysis (Era5), pertencente ao European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). O Era5 fornece estimativas de hora em hora de diversas variáveis climáticas atmosféricas, terrestres e oceânicas.

Esses dados abrangem a superfície terrestre em uma grade de 30 km de resolução, com a atmosfera modelada usando 137 níveis desde a superfície até 80 km de altura. As informações de temperatura do ar e umidade relativa utilizadas neste estudo têm uma resolução temporal de 3 horas e espacial de 0,25° (aproximadamente 27 km), abrangendo o

período de 1985 a 2022.

### **Dados de cobertura do solo**

Para avaliar a dinâmica de antropização do solo na Região Metropolitana de Belém (RMB), utilizamos os dados da plataforma MapBiomas. Essa plataforma emprega processamento em nuvem e classificadores automatizados baseados na Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra no Brasil. Inicialmente, foram utilizados os mapas de Biomas Brasileiros do IBGE de 2004, na escala 1:5.000.000, que foram refinados com base no mapa de fitofisionomias do RADAM na escala 1:1.000.000 e nos limites estaduais do IBGE de 2013 na escala 1:250.000.

Os mapeamentos anuais começam em 1985 e se estendem até 2022, utilizando imagens Landsat com resolução espacial de 30 metros. A plataforma realiza uma generalização espacial que descarta áreas isoladas com menos de 0,5 hectares. Um aspecto crucial é a utilização de todas as imagens disponíveis de cada ano, juntamente com índices espectrais, índices de textura e informações de relevo para o aprendizado de máquina, permitindo ao classificador distinguir todas as classes mapeadas. Isso visa gerar mapas consistentes para caracterizar a dinâmica das mudanças de uso e cobertura vegetal do solo.

Os dados do MapBiomas são públicos, abertos e gratuitos, disponibilizados sob licença Creative Commons CC-BY-AS. em [MapBiomas.org](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/) <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>.

### **Análise de dados**

Os dados de antropização foram processados utilizando o software de Sistema de Informação Geográfica QGIS (Quantum GIS). Durante este processo, foi extraída uma série temporal por ponto de pixel, seguida pelo cálculo da extensão da área afetada. Para análise dos dados de precipitação e temperatura do ar, disponíveis no formato NetCDF, utilizamos o software GRADS (Grid Display Analyst) para extrair séries temporais de dados climáticos em forma de grid nos pontos de pixels de interesse para esta pesquisa. Esses dados foram então convertidos em arquivos ASCII e analisados posteriormente no software estatístico SciLab.

As análises envolveram a comparação das variáveis climáticas com os padrões climáticos determinados pelo estado médio das séries históricas extraídas, avaliando assim a variabilidade climática e suas respectivas persistências estatísticas.

Por fim, foram criados gráficos para avaliar a variabilidade anual e decadal dos níveis de antropização, bem como as variações na precipitação, temperatura do ar (média, mínima e máxima) e a incidência de eventos intensos de precipitação, com o objetivo de identificar possíveis mudanças no microclima da Região Metropolitana de São Luís.

## Análise de Antropização na Ilha de São Luís.

### Base de dados

Para constituir a análise de antropização a metodologia foi baseada e adaptada de Moraes et al. (2022), utilizada para a região metropolitana de Belém, Pa que também faz parte do contexto amazônico, dessa forma, foram reunidos todos os municípios que compõem a ilha de São Luís-Ma (tabela 1).

Tabela 1 - Dados demográficos da Ilha de São Luís.

<b>Município</b>	<b>População estimada (2022)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
São Luís	1.037.775	583,063
Paço do Lumiar	145.643	127,193
São José de Ribamar	244.579	386,3
Raposa	30.839	79,213
<b>Total</b>	<b>1.458.836</b>	<b>1.175,769</b>

Fonte: IBGE (2022).

Utilizou-se dados climatológicos mensais de 1985 a 2022 para o presente estudo, conforme detalhado nos subitens abaixo.

### Precipitação

Fora extraída da base de dados CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations), composta por diversas fontes de informação: (I) CHPCLim - Climatologia de Precipitação do Climate Hazards Group, (II) Observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal (TIR) da NOAA, (III) Campos de Precipitação do Coupled Forecast System (CFSv2) da NOAA, (IV) Observações de precipitação por meio de produtos de estações meteorológicas e outros serviços regionais (Prakash, 2019).

Esta base de dados é conhecida por sua alta resolução espacial de aproximadamente 5 km, cobrindo globalmente a faixa de 50°S a 50°N, com registros desde 1986 até 2022, disponível na UCSB. (<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>), em formato NetCDF, GeoTiff e Esri BIL, nas resoluções temporais diários, pentadais, mensais e anuais.

### Temperatura do ar

Os dados de temperatura do ar (máxima, mínima e média) foram obtidos do European Centre for Medium Range Weather Forecast Reanalysis (Era5), pertencente ao European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). O Era5 fornece estimativas de hora em hora de diversas variáveis climáticas atmosféricas, terrestres e oceânicas.

Esses dados abrangem a superfície terrestre em uma grade de 30 km de resolução, com a atmosfera modelada usando 137 níveis desde a superfície até 80 km de altura. As informações de temperatura do ar e umidade relativa utilizadas neste estudo têm uma resolução temporal

de 3 horas e espacial de 0,25° (aproximadamente 27 km), abrangendo o período de 1986 a 2022.

### **Dados de cobertura do solo**

Para avaliar a dinâmica de antropização do solo na Ilha de São Luís, utilizamos os dados da plataforma MapBiomias. Essa plataforma emprega processamento em nuvem e classificadores automatizados baseados na Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra no Brasil. Inicialmente, foram utilizados os mapas de Biomas Brasileiros do IBGE de 2004, na escala 1:5.000.000, que foram refinados com base no mapa de fitofisionomias do RADAM na escala 1:1.000.000 e nos limites estaduais do IBGE de 2013 na escala 1:250.000.

Os mapeamentos anuais começam em 1985 e se estendem até 2022, utilizando imagens Landsat com resolução espacial de 30 metros. A plataforma realiza uma generalização espacial que descarta áreas isoladas com menos de 0,5 hectares. Um aspecto crucial é a utilização de todas as imagens disponíveis de cada ano, juntamente com índices espectrais, índices de textura e informações de relevo para o aprendizado de máquina, permitindo ao classificador distinguir todas as classes mapeadas. Isso visa gerar mapas consistentes para caracterizar a dinâmica das mudanças de uso e cobertura vegetal do solo.

Os dados do MapBiomias são públicos, abertos e gratuitos, disponibilizados sob licença Creative Commons CC-BY-AS. em [MapBiomias.org](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/)  
<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>.

### **Análise de dados**

Os dados de antropização foram processados utilizando o software de Sistema de Informação Geográfica QGIS (Quantum GIS). Durante este processo, foi extraída uma série temporal por ponto de pixel, seguida pelo cálculo da extensão da área afetada. Para análise dos dados de precipitação e temperatura do ar, disponíveis no formato NetCDF, utilizamos o software GRADS (Grid Display Analyst) para extrair séries temporais de dados climáticos em forma de grid nos pontos de pixels de interesse para esta pesquisa. Esses dados foram então convertidos em arquivos ASCII e analisados posteriormente no software estatístico SciLab.

As análises envolveram a comparação das variáveis climáticas com os padrões climáticos determinados pelo estado médio das séries históricas extraídas, avaliando assim a variabilidade climática e suas respectivas persistências estatísticas.

Por fim, foram criados gráficos para avaliar a variabilidade anual e decadal dos níveis de antropização, bem como as variações na precipitação, temperatura do ar (média, mínima e máxima), com o objetivo de identificar possíveis mudanças no microclima da Ilha de São

Luís. A figura 2 apresenta o esquema metodológico utilizado.

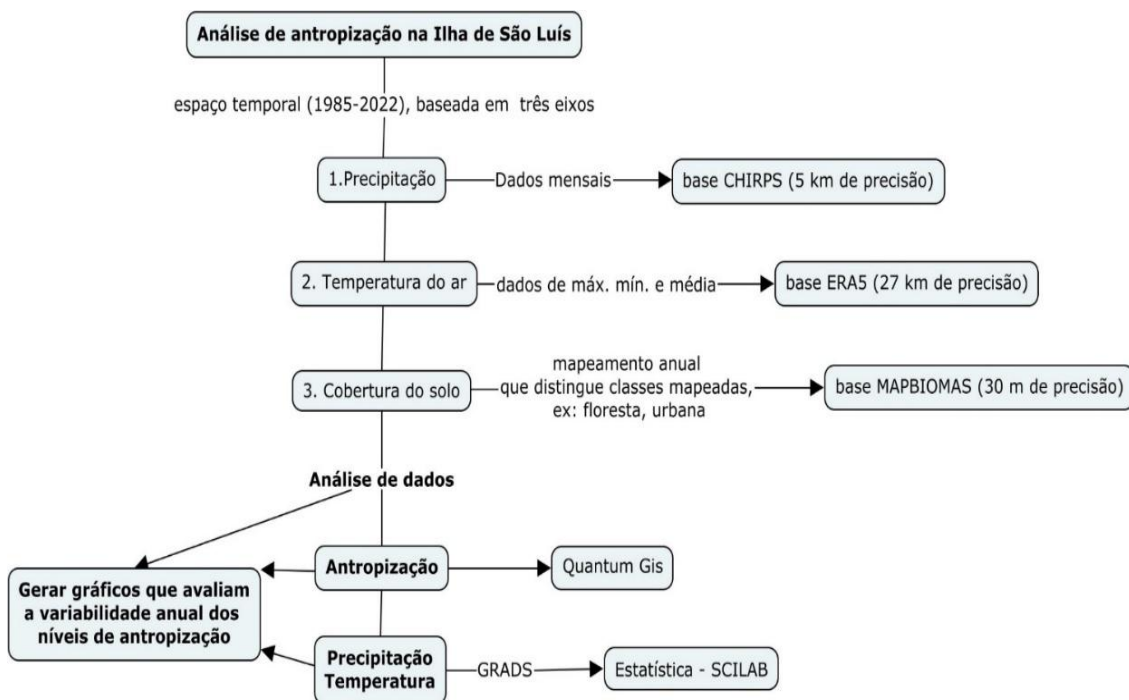


Figura 2 – Fluxograma metodológico da análise de antropização. Fonte: Autora (2025).

## RESULTADOS

### Antropização da superfície

Ao longo de toda a extensão da Ilha do Maranhão, tem sido evidente, sob diversas perspectivas seja por meio de estudos ou pela observação das comunidades locais a evolução de um cenário ambiental negativo nas últimas décadas, em razão da transformação do uso e da cobertura do solo. As maiores alterações ocorreram ao longo do período de 1985 a 2022.

A figura 3 representa a evolução da perda de áreas naturais e o aumento de áreas antrópicas nos municípios da Ilha e apontam para uma inversão marcante. Observa-se uma dinâmica na ocupação do solo, que reflete processos contínuos de transformação ambiental. No início da série temporal (1985), a área natural dominava significativamente a Ilha como um todo, especificamente em Raposa com um total de 4.818 km<sup>2</sup>, enquanto as áreas antropizadas eram 2.075 km<sup>2</sup> do território. Entre 1985 e 1995, houve um crescimento expressivo das áreas antropizadas, atingindo seu pico de 2743 km<sup>2</sup> em 1993. Tal expansão de 32,19% está associada, possivelmente, ao aumento da urbanização, à expansão desordenada de assentamentos urbanos e à intensificação de atividades econômicas que demandam uso do solo.

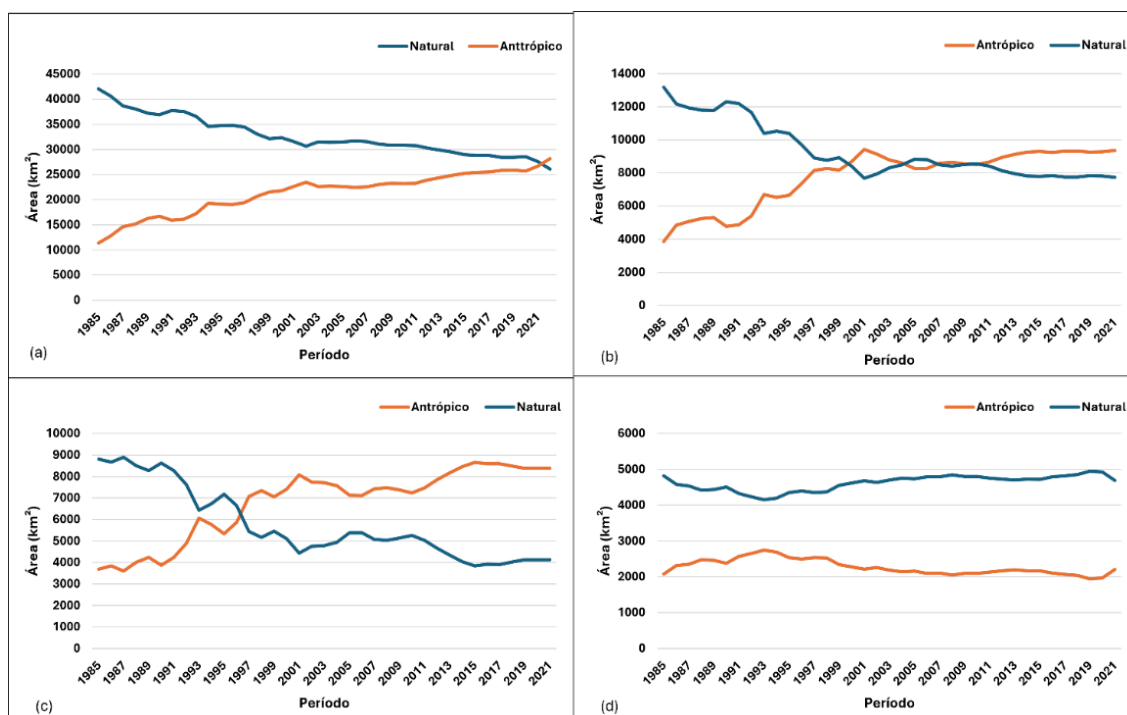


Figura 3 - Evolução da perda de áreas naturais e o aumento de áreas antrópicas nos municípios da Ilha: (a) São Luís; (b) São José de Ribamar; (c) Paço do Lumiar e (d) Raposa. Fonte: Adaptado de MapBiomias, (2025).

Em 1985, as áreas naturais de Paço do Lumiar ocupavam 8.812 km<sup>2</sup> e as antrópicas, 3.694 km<sup>2</sup>. A partir dos anos 1990, as áreas antrópicas cresceram rapidamente, superando os naturais em 1996. Entre 1997 e 1998 houve um dos episódios de El Nino (aquecimento das águas do oceano pacífico que reduz a precipitação especialmente na Amazonia) mais intensos registrados e este fenômeno influenciou a redução de intensidade das chuvas na Amazonia e nesse caso, particularmente na Ilha (figuras 6 e 7) que está inserida nessa dinâmica.

Ainda em Paço do Lumiar em 2015 também ano de El Nino, as áreas antrópicas atingiram ápice de 8.658 km<sup>2</sup> que também refletiu em redução de chuvas (figura 5 e 6). Após 2015, houve uma estabilização, indicando uma possível saturação territorial ou a ação de políticas de controle do uso do solo. Mas, em comparação com Raposa, Paço do lumiar tem a maior parte do seu território antropizado.

O município de São José de Ribamar também apresentou uma curva de inflexão no processo de ocupação territorial, embora essa mudança tenha ocorrido de forma ligeiramente mais tardia em comparação ao município de Paço do Lumiar, sendo observada no ano de 2000. O ápice da expansão antrópica foi registrado em 2001, quando a área antropizada atingiu 9.425 km<sup>2</sup>.

Paralelamente, as áreas naturais sofreram uma expressiva redução: em 1985, essas áreas totalizavam 13.178 km<sup>2</sup>, mas em 2022 esse número caiu para 7.732 km<sup>2</sup>, o que representa uma perda de 43,8% da cobertura natural original. Mas vale ressaltar que nesta análise, as áreas antropizadas tem crescido exponencialmente desde 2011 e isso é um movimento exponencial.

Apesar de São Luís ser a capital do estado e o principal lócus de desenvolvimento regional, conseguiu, manter extensões de áreas naturais superiores às áreas antropizadas. Contudo, com o avanço contínuo do desmatamento, e influência do fenômeno El Nino ocorrido em 2020-2021, é possível notar essa queda de chuvas em São Luís de 2020 a 2021 na figura 6 ou seja, e ocorre e diretamente contribui para o aumento das áreas antrópicas e a diminuição das áreas naturais, ao tornar o ambiente mais favorável à ação humana predatória (Cutrim et.al, 2019). Dessa forma, foi inevitável a ocorrência de uma curva de inflexão, identificada no ano de 2021. Atualmente, São Luís é o município com as maiores áreas antropizadas em termos de km<sup>2</sup> sendo 28.179 km<sup>2</sup> de áreas antropizadas e 26.114 km<sup>2</sup> de áreas naturais.

É importante salientar que muito provavelmente a curva de inflexão veio mais tardiamente do que os demais municípios, porque possui áreas de preservação ambiental regulamentadas, sendo crucial na conservação dos recursos naturais e na preservação da biodiversidade local e isso a ajudou a se manter, pois toda capital sofre muita pressão antrópica. As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) da ilha de São Luís diversas como a do Itapiracó, que protege a vegetação nativa e a fauna.

Já a APA da Região do Maracanã, situada na zona rural de São Luís, destaca-se por sua rica biodiversidade, incluindo manguezais, campos inundáveis. A APA da Lagoa da Jansen e a Reserva Ecológica do Sítio Rangedor combinam a preservação ambiental com infraestrutura, enquanto a APA do Rio Bacanga, junto ao seu parque estadual, reforça os esforços de conservação. Essas áreas protegidas têm sido fundamentais para sustentar a proteção ambiental e assegurar a biodiversidade da região e mesmo assim Rego et.al, (2018) afirma em sua análise, que grande parte dessas áreas protegidas foram objeto de desmatamento ilegal nos últimos 20 anos.

### **Antropização acumulada relativa e absoluta**

A análise comparativa dos quatro municípios que compõem a Ilha de São Luís – São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa – evidencia tendências distintas e convergentes em relação à expansão das áreas antropizadas e à redução das áreas naturais ao

longo do período histórico analisado. Os dados revelam padrões de ocupação e degradação ambiental, com variações significativas entre os municípios.

Em São Luís, os anos de 1986 e 1987 (figura 4) registraram os picos mais altos de áreas antropizadas, com percentuais de 12,74% e 14,11%, respectivamente. Esses valores podem ser atribuídos à expansão urbana e ao desmatamento para ocupação ou agricultura. Um novo aumento significativo foi identificado em 1994, ultrapassando 12,35%, refletindo um padrão semelhante ao observado em São José de Ribamar e Paço do Lumiar. No entanto, em 2022, houve um novo pico, embora menos acentuado, com crescimento de 5,7% nas áreas antropizadas, possivelmente relacionado à expansão de infraestrutura, principal fator de degradação nos anos recentes. Em termos absolutos (figura 5), entre 1985 e 2022, houve uma expansão de 147,8% nas áreas antropizadas, acompanhada por uma perda significativa de áreas naturais (-37,8%).

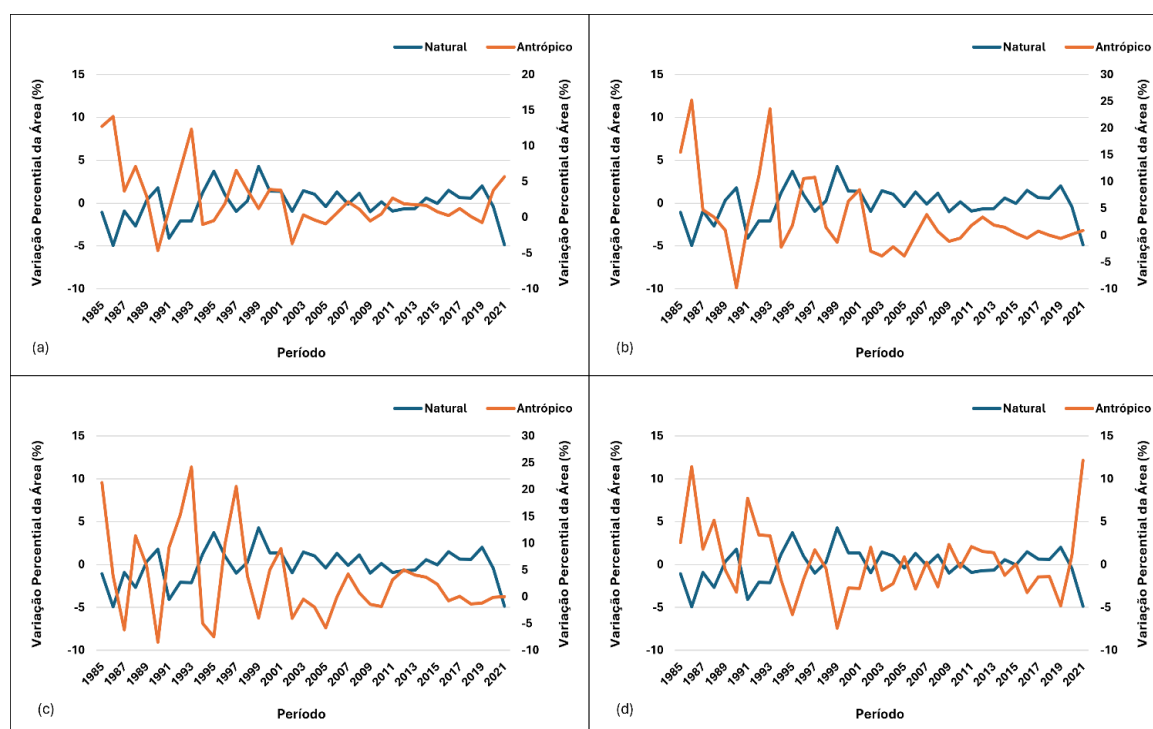


Figura 4 - Evolução da perda de áreas naturais e o aumento de áreas antropizadas nos municípios da Ilha de forma cumulativa em percentual: (a) São Luís; (b) São José de Ribamar; (c) Paço do Lumiar e (d) Raposa. Fonte: Adaptado de MapBiomias, (2025).

Já em São José de Ribamar, dois grandes picos de áreas antropizadas foram registrados em 1987 (25,2%) e 1994 (23,5%), alinhando-se temporalmente aos aumentos observados em São Luís (figura 5). Contudo, o município apresentou oscilações abruptas e uma diminuição relativa da antropização nos anos subsequentes, com um leve aumento nas áreas naturais em

2004, equivalente a 4% em relação ao ano anterior. Apesar disso, ao analisar (figura 4) o percentual acumulado desde 1985, constata-se uma diminuição expressiva de -43,8% das áreas naturais, enquanto as áreas antropizadas cresceram 179,5%, evidenciando uma transformação significativa no uso do solo.

O município de Paço do Lumiar segue uma tendência semelhante à de São José de Ribamar, com picos de expansão antropogênica em 1986 (21,3%), 1994 (24,2%) e 1998 (20,6%). Embora tenha registrado momentos pontuais de aumento nas áreas naturais, como em 2006 (+8% em relação a 2005), o padrão geral é de perda crescente dessas áreas. A figura 5 demonstra que, entre 1985 e 2021, houve uma redução de -56% das áreas naturais, um valor ainda mais elevado do que o observado em São José de Ribamar. Em contrapartida, as áreas antropizadas cresceram 178% até 2019, com uma discreta diminuição para 175,1% em 2021.

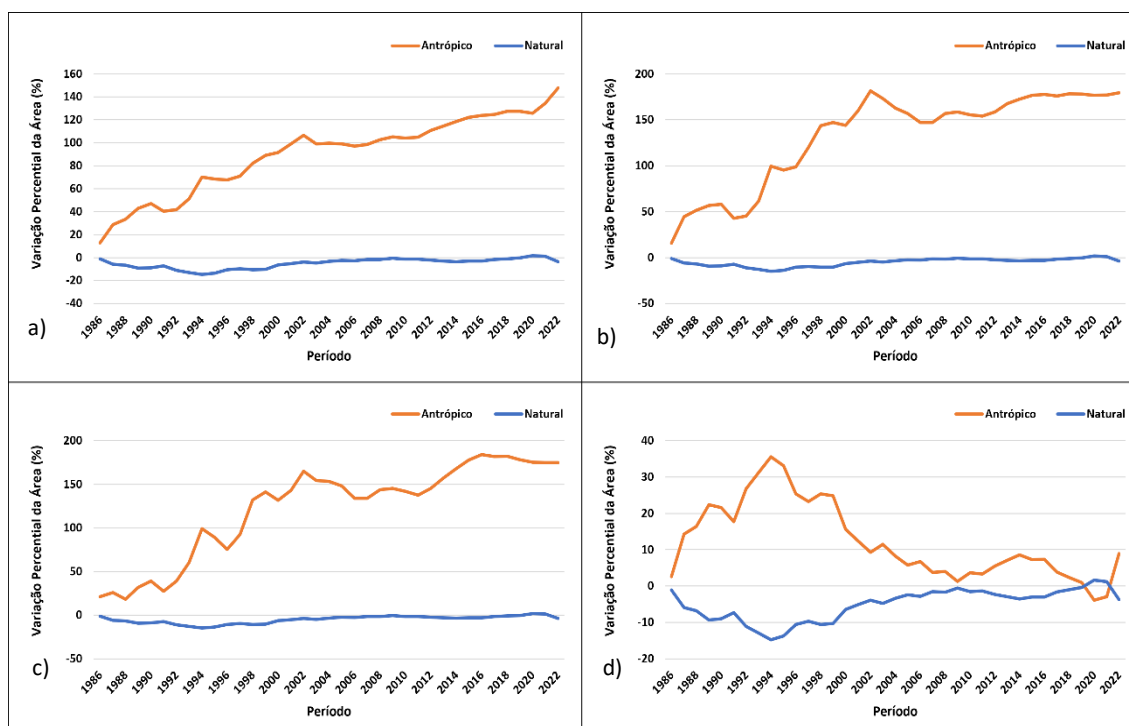


Figura 5 - Evolução da perda de áreas naturais e o aumento de áreas antrópicas nos municípios da Ilha de forma absoluta em percentual: (a) São Luís; (b) São José de Ribamar; (c) Paço do Lumiar e (d) Raposa. Fonte: Adaptado de MapBiomás, (2025).

Por sua vez, Raposa apresenta uma dinâmica diferenciada (figura 4). Em termos relativos, os maiores picos de antropização ocorreram em 1987 (2,5%) e 1992 (7,7%), seguindo a tendência de expansão observada nos outros municípios durante o final da década de 1980 e ao longo da década de 1990. Contudo, Raposa se destaca pelo ápice da antropização em 2021, com um aumento acumulado de 12,1% em relação a 1986. Em termos absolutos (figura 5), os

maiores picos foram registrados em 1994 (35,6%) e novamente em 2022 (12,1%). As áreas naturais, por outro lado, apresentaram perdas recorrentes ao longo do período, com uma pequena recuperação de 1,6% em 2020, seguida por uma queda acentuada de -3,7% em 2022.

Portanto, três dos quatro municípios da Ilha compartilham um padrão de redução significativa das áreas naturais e expansão das áreas antropizadas em termos percentuais relativos e absolutos, impulsionados por fatores como urbanização e ocupação humana. Contudo, cada município apresenta particularidades em termos de intensidade e temporalidade dessas mudanças, Raposa pode ser considerado também perdeu vegetação e expandiu antropização, entretanto conseguiu manter um certo equilíbrio como observado na tabela 8 que reúne sintetiza esses percentuais. Isso porque, a principal atividade econômica é a pesca, sendo a principal colônia de pescadores do Estado portanto, geralmente em áreas onde a pesca é bem gerida, há uma tendência de maior preservação ambiental, pois os recursos naturais são utilizados de forma mais sustentável (INPE, 2014).

Tabela 2: Expansão antrópica e perda de áreas naturais com relação ao início da série histórica na Ilha.

<b>Município</b>	<b>% expansão antrópica (1985-2022)</b>	<b>% perda de áreas naturais (1985-2022)</b>
São José de Ribamar	179,5	-43,8
Paço do Lumiar	175,1	-56,3
São Luís	147,8	-37,8
Raposa	8,9	-3,7

Fonte: MapBiomass, (2025).

### **Precipitação**

A figura 6 detalha as informações extraídas da base de dados CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations), com resolução espacial de aproximadamente 5 km, cobrindo globalmente a faixa de 50°S a 50°N, com registros desde 1985 até em formato NetCDF, GeoTiff e Esri BIL. O objetivo foi observar se a mudança da vegetação alterou o regime de precipitação ao longo do tempo.

Considerando as transformações antrópicas observadas, entende-se que estas exercem influência direta sobre o microclima local, podendo provocar alterações significativas no regime pluviométrico. Nesse sentido, sinais de mudança nos padrões de precipitação podem servir como um importante indicativo a ser analisado.

Conforme apresentado na Figura 6 (a), a ilha demonstrou elevada variação espacial e

temporal nos valores de precipitação anual ao longo do período de estudo e houve uma queda acentuada do regime de chuvas ao longo do tempo. Os máximos anuais oscilaram em torno de 3.529 mm entre 1989 e 1994, enquanto a precipitação média desse mesmo período foi de aproximadamente 3.437 mm, e a mínima registrada foi de 3.340 mm.

Por outro lado, os menores valores de precipitação anual na ilha foram observados em 1992, durante um período marcado por intensas manifestações do fenômeno El Niño, com os registros anuais apresentando valores próximos a 1.096 mm.

Esses resultados de médias pluviométricas estão em consonância com o estudo realizado por Moraes et al. (2022), que também identificou a menor precipitação em 1992, além de máximos, médios e mínimos de precipitação em padrões semelhantes para a Região Metropolitana de Belém, situada na Amazônia com fitofisionomia e características de urbanização muito parecidas com a Ilha.

A Ilha sempre apresentou oscilações em seu comportamento de precipitação, mas é importante destacar que, desde 1994, a região como um todo não conseguiu manter o padrão de precipitação anual acima de 2.974 mm. A partir de 2012, observou-se um aumento nas oscilações, acompanhado de quedas nos volumes de precipitação, o que pode estar relacionado às mudanças climáticas.

Essas mudanças incluem tanto aumentos quanto reduções na quantidade e intensidade das chuvas, bem como alterações na sua distribuição temporal e espacial. Em 2022, a precipitação média registrada foi de 2.205 mm.

Ao analisar os valores médios, mínimos e máximos de precipitação por município, constata-se um padrão geral de significativa oscilação. No entanto, Paço do Lumiar destacou-se por registrar o maior pico de precipitação máxima em 1994, além de apresentar a maior variabilidade ao longo da série histórica, com amplitude de 1.864 mm entre os valores máximos e mínimos. São Luís apresentou uma variabilidade semelhante, com amplitude de 1.798 mm.

Por outro lado, São José de Ribamar exibiu a menor variabilidade, com amplitude de 1.644 mm, além de registrar os menores valores médios e mínimos de precipitação na ilha. Esse município também foi o que apresentou a maior taxa de expansão antrópica ao longo do período analisado, atingindo 179,5%.

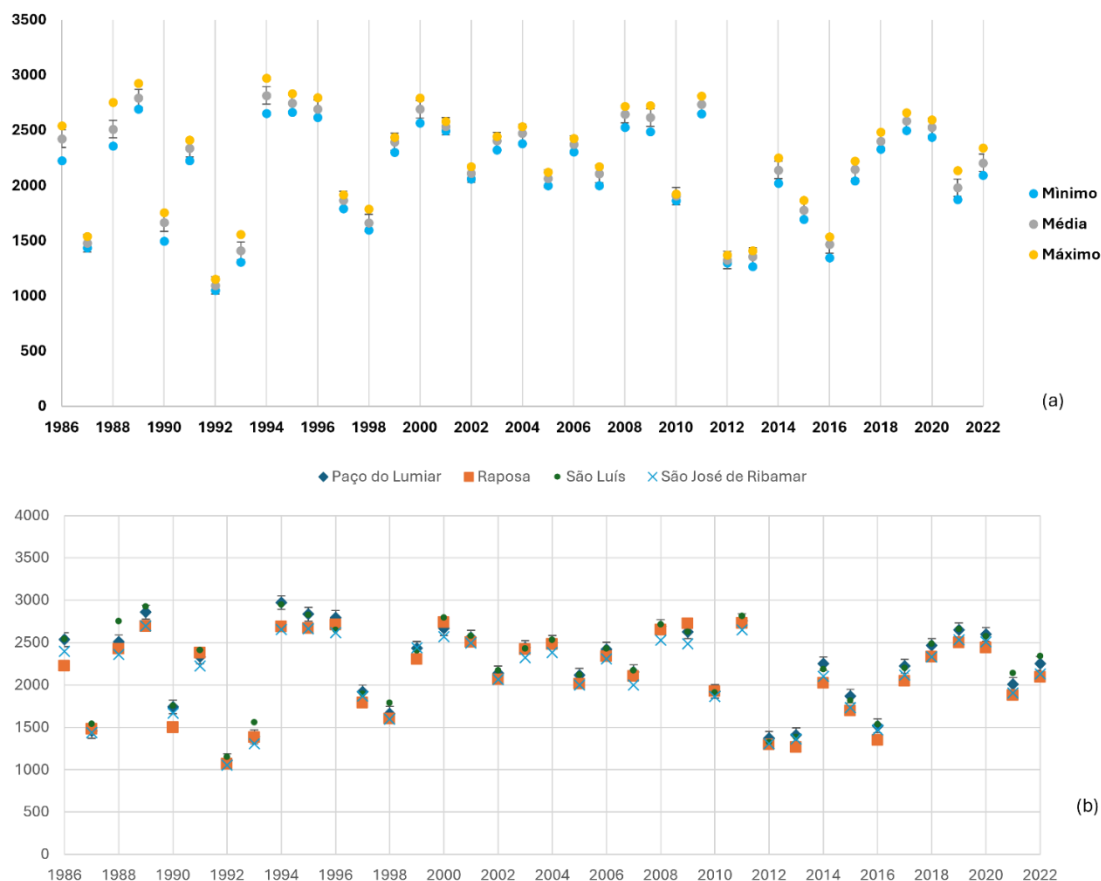


Figura 6 - Precipitação máxima, mínima e média ao longo da série histórica da Ilha de São Luís (a) e especificamente para cada município (b). Fonte: Adaptado de CHIRPS, (2025).

### Padrão sazonal, análise comparativa na Ilha

Em termos de padrão sazonal todos os municípios apresentam valor semelhante, com chuvas concentradas no primeiro semestre (especialmente entre março e maio) e um período seco no segundo semestre (de agosto a novembro) conforme a figura 7.

Isso reflete a influência climática regional, associada à convergência intertropical e padrões de circulação atmosférica parecidos além de estarem e fazerem parte de uma mesma ilha e próximos uns dos outros, os municípios compartilham condições geográficas e climáticas muito semelhantes, como a influência do relevo da ilha, que é relativamente plano e não impede a circulação das massas de ar (INPE, 2014).

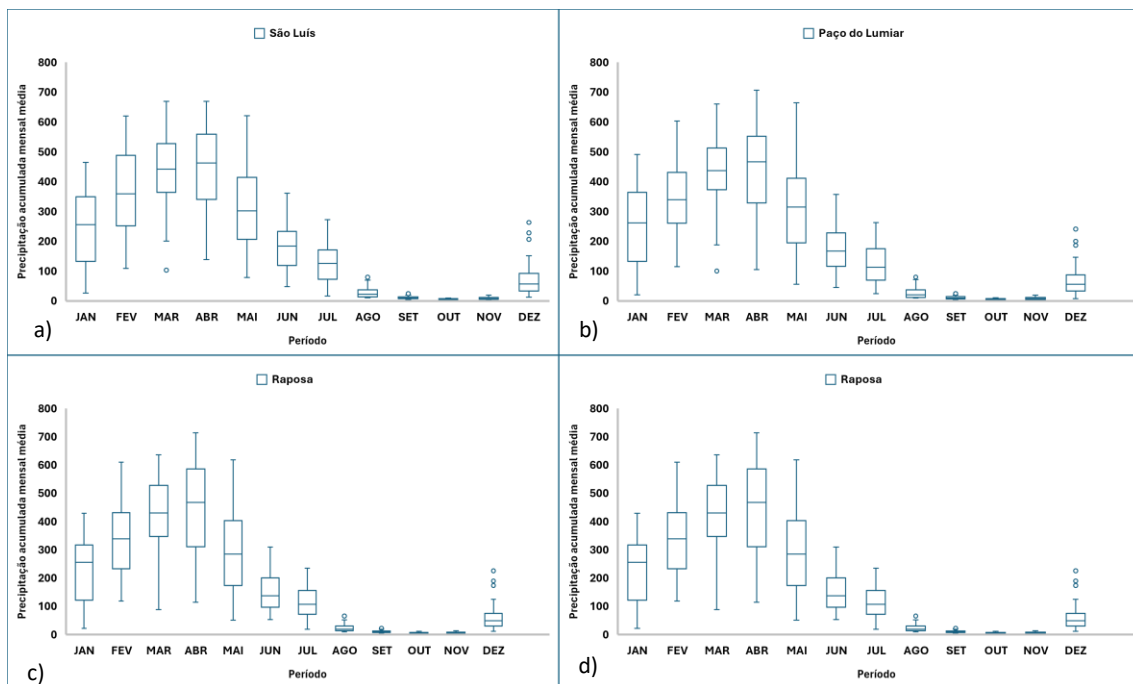


Figura 7 – Padrão de precipitação anual dos municípios da Ilha de São Luís. Fonte: Adaptado de CHIRPS, (2025).

Os meses mais chuvosos (março, abril e maio) apresentam maior amplitude (figura 6 b) em todos os municípios, indicando maior variabilidade nas chuvas, sendo que em Paço do Lumiar e São Luís mostraram amplitudes ligeiramente maiores nos meses chuvosos, indicando que o volume precipitado ocorre em um curto período de forma bem intensa onde o município de Paço do Lumiar apresentou na escala sazonal o maior pico de máximo do período chuvoso 707 mm (Figura 7 a) e o menor valor mínimo do período mais seco foi em São Luís (outubro, 5,9 mm).

Como pode ser observado nos outliers (picos de máximos e mínimos), os quais foram identificados em todos os municípios, especialmente nos meses de novembro e dezembro, o que reflete eventos climáticos isolados. Nos meses secos, os volumes de precipitação são consistentemente baixos entre os municípios, com pouca variabilidade sendo que em outubro Raposa e São Luís totalizaram as menores mínimas 5,4 mm e 5,9 respectivamente .

A análise em termos de sazonalidade demonstra que a Ilha compartilham um padrão climático semelhante, marcado por uma estação chuvosa bem definida e um período seco prolongado. Entretanto, todos os resultados observados corroboram para uma possível interferência das mudanças na cobertura do solo sobre a variabilidade pluviométrica da área estudada, pois como pode ser notado, os municípios de Paço do Lumiar e São José de Ribamar apresentaram as maiores áreas antropizadas sendo que São José de Ribamar foi o município que registrou os menores valores médios e mínimos de precipitação em escala anual em toda a ilha.

Freitas et al., (2021) destacam que alterações na topografia, resultando em mudanças no microclima regional, podem influenciar a ocorrência de eventos climáticos extremos. De maneira complementar, Cirino et al., (2019) evidenciam que modificações na superfície terrestre têm o potencial de alterar o microclima local, contribuindo para mudanças climáticas implicando em variáveis termodinâmicas, como temperatura e capacidade de armazenamento de água. Com base nesses estudos, foi realizada a análise da temperatura na ilha ao longo da série histórica.

### **Temperatura**

Outra variável de extrema importância para a percepção de alterações no clima dos centros urbanos, é a variabilidade da temperatura do ar (Alves, 2019). A diferença entre os valores mínimos é pequena, indicando uma certa uniformidade na temperatura mínima entre as localidades (figura 8) .

As temperaturas médias variam de 26,8°C (São Luís e Paço do Lumiar) a 27,0°C (São José de Ribamar). Também há pouca variação nas médias, o que sugere que o clima cotidiano é relativamente homogêneo entre esses locais. As temperaturas máximas apresentam as maiores diferenças, variando de 31,0°C (São Luís) a 33,5°C (São José de Ribamar).

São José de Ribamar tem a maior temperatura máxima observada, enquanto São Luís apresenta a menor. São José de Ribamar destaca-se por apresentar a maior temperatura máxima (33,5°C) e uma temperatura média ligeiramente mais alta (27,0°C). Isso pode indicar menor influência de áreas vegetadas ou maior exposição ao sol devido à intensa urbanização como observado na análise de antropização.

Raposa apresenta a menor temperatura mínima (22,3°C), o que pode estar relacionado à sua proximidade com o litoral e também maior presença de áreas naturais como pode-se observar, que tendem a resfriar mais durante a noite. Áreas com maior cobertura vegetal ou proximidade ao mar, como Raposa, podem ter temperaturas mínimas e médias mais estáveis devido ao efeito moderador da vegetação e do oceano.

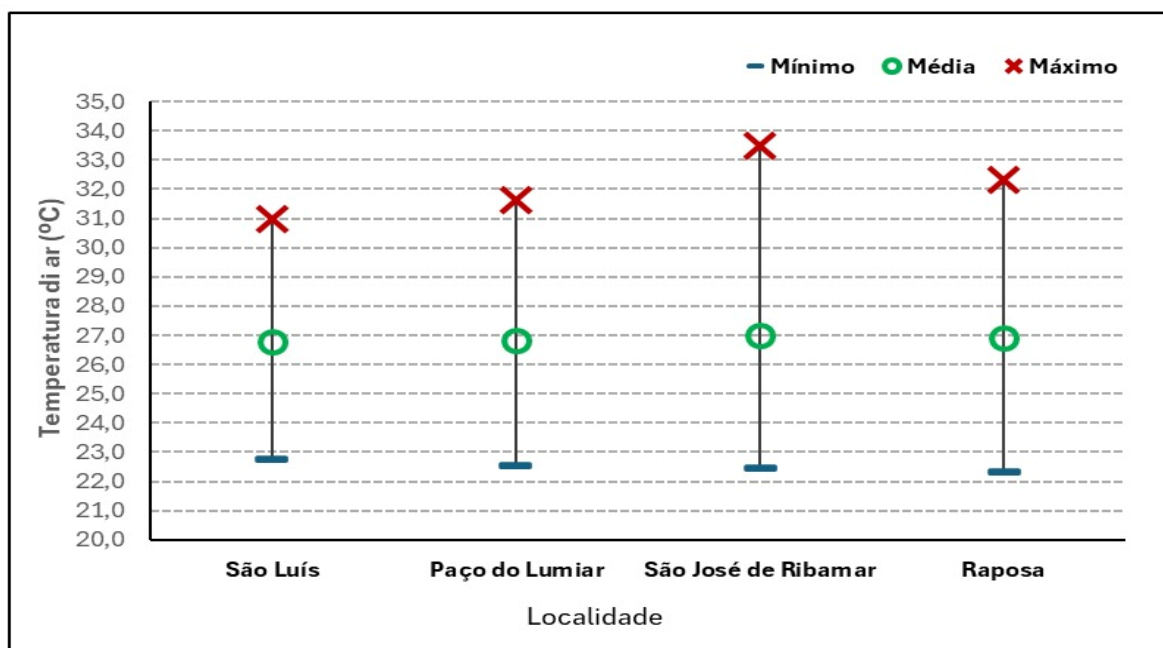


Figura 8 – Padrão mínimo, médio e máximo de temperatura dos municípios da Ilha de São Luís.

Fonte: Adaptado de Era5, (2025).

São Luís e Paço do Lumiar têm temperaturas muito próximas em todos os parâmetros, sugerindo condições ambientais semelhantes, possivelmente relacionadas à urbanização mais consolidada e ao uso da terra. Isso sugere que São José de Ribamar, pode estar sofrendo maior efeito de ilhas de calor, elevando a temperatura máxima (Masullo, 2022).

O município que apresentou maior amplitude térmica foi São José de Ribamar, com uma diferença de 11,1°C entre a temperatura mínima e máxima. São Luís apresenta menor amplitude térmica devido à combinação entre a influência marítima, ventilação natural, urbanização consolidada. Esses fatores atuam como moderadores das variações de temperatura, promovendo um ambiente mais estável em termos térmicos.

Embora a urbanização possa provocar o efeito de ilha de calor, em cidades maiores e mais densamente urbanizadas, superfícies como asfalto e concreto podem reter calor durante a noite, reduzindo a queda na temperatura mínima. Isso contribui para uma amplitude térmica menor, já que a temperatura noturna não diminui tanto quanto em áreas menos urbanizadas (Alves, 2019).

São José de Ribamar e Raposa, embora também sejam municípios costeiros, eles possuem áreas possivelmente com menor infraestrutura consolidada. Esse fator pode permitir maior resfriamento durante a noite, o que aumenta a amplitude térmica.

## DISCUSSÃO

### Impactos da análise diante da realidade na Ilha de São Luís

Os resultados deste estudo sugerem uma relativa homogeneidade climática regional,

possivelmente influenciada pela proximidade geográfica dos municípios, pela ausência de barreiras naturais significativas (como serras) e à influência comum de fatores meteorológicos regionais, como ventos predominantes, correntes marítimas e massas de ar e pela atuação de sistemas atmosféricos comuns que afetam a ilha de maneira ampla (Queiroz et al., 2022).

A análise demonstra que os quatro municípios da Ilha compartilham um padrão climático semelhante (figura 6 e 7), marcado por uma estação chuvosa bem definida e um período seco prolongado. Entretanto, Paço do Lumiar e São José de Ribamar apresentam maior amplitude e variabilidade nas chuvas, sugerindo maior irregularidade nos eventos de precipitação, seguidos por São Luís. Já Raposa exibe padrões mais consistentes, com menores amplitudes nos meses chuvosos.

Principalmente na figura 3 em Raposa, São Luís e São José de Ribamar observou-se no período recente há um comportamento de retomada de degradação. Claro, não tão expressivo quanto na década de 80 e 90 também documentado por Assunção e Chein (2016), mas esse dado sinaliza uma possível retomada do processo de degradação ambiental isso porque, na Ilha projetos industriais e a expansão urbana são as forças motrizes históricas e atuais da perda da cobertura vegetal, enquanto em outras partes da Amazônia brasileira, o desmatamento é impulsionado pelo agronegócio.

A perda considerável de vegetação nos últimos 30 anos na Ilha do Maranhão (um ecótono entre os biomas Mata Atlântica e Floresta Amazônica), representa o mesmo período em que ocorreu o maior desmatamento da Floresta Amazônica brasileira (Reis et al., 2024).

As tantas variações pluviométricas em termos relativos, absolutos e sazonais reforçam o fato de que na região amazônica, a interação entre a floresta e o clima é complexa e integrada, isso porque, é influenciada por fatores antrópicos e também naturais relacionados a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é um dos principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas na região, (Jiang e Tian, 2024).

A emissão de compostos orgânicos voláteis (VOCs) pelas plantas que desempenham um papel crucial na formação de núcleos de condensação de nuvens, que são elementos essenciais para o processo de precipitação. Esse mecanismo contribui para a regulação do ciclo hidrológico, porém, observou-se uma significativa perda de vegetação na Ilha ao longo do tempo. As condições favoráveis para chuvas, responsáveis por regular a temperatura e a umidade, são fundamentais para o equilíbrio climático local e regional.

Entretanto, conforme apresentado na figura 6, é possível observar uma irregularidade e tendência de diminuição na precipitação ao longo dos anos. Os picos de precipitação que eram

registrados há três décadas já não ocorrem mais com a mesma frequência, o que pode ser atribuído às transformações no uso da terra como comprovado na análise de antropização que impactaram diretamente o regime de temperatura e precipitação na região (Queiroz et al., 2022).

Além disso, a Ilha de São Luís está próxima ao litoral, e a influência das massas de ar marítimas contribui para a formação de chuvas orográficas (causadas pelo relevo) e convectivas (devido ao aquecimento superficial). A umidade proveniente do oceano é crucial para intensificar as precipitações, especialmente durante o período chuvoso.

Os municípios compartilham uma latitude baixa, próxima ao equador, onde o aquecimento da superfície é intenso. Isso favorece a evaporação e a formação de nuvens cumulonimbus, características de chuvas intensas e concentradas em determinados períodos (Toledo et al. 2024).

Segundo Reis et al., (2024) o estado do Maranhão representa o segundo mais desmatado entre os nove estados da Amazônia brasileira, tendo perdido 67,54% de sua cobertura vegetal no período de 2005 a 2012 e, a Ilha de São Luís provavelmente contribuiu mais para esse valor.

A exemplo de Paço do Lumiar, onde observa-se uma estabilização recente no crescimento territorial (figura 3), sugerindo uma possível saturação após grande período de desmate nas décadas anteriores, enquanto a expansão mais significativa tem se concentrado recentemente em Raposa e São Luís em termos de km<sup>2</sup>.

Embora ainda ocorra algum desenvolvimento em Paço do Lumiar, o ritmo de crescimento foi mais acentuado em períodos anteriores, apresentando uma desaceleração nos últimos anos. Na Ilha do Maranhão, que abrange os municípios de São Luís, Paço do Lumiar e Raposa, dados entre 1991 e 2010 evidenciam um êxodo rural para áreas urbanas. Durante esse período, a população total cresceu cerca de 51%, e a proporção de habitantes urbanos passou de 33,21% para 91,95%. Paço do Lumiar destacou-se por uma transformação mais intensa, com a população urbana saltando de 2,52% em 1991 para 75% em 2010.

Embora o aumento da urbanização tenha sido generalizado, nos últimos anos, esse processo parece ter se estabilizado e direcionado para outros municípios. (Rego et al., 2018). Os resultados desta análise temporal corroboram as afirmações de Reis et al., (2024) de que as forças socioeconômicas têm sido os principais determinantes das transformações nas paisagens da Amazônia.

Especificamente na ilha do Maranhão, essas mudanças no uso da terra estão fortemente relacionadas aos investimentos em infraestrutura. Esses processos ressaltam a urgência de estabelecer um monitoramento contínuo e implementar ações estratégicas de planejamento territorial sustentável, com o objetivo de preservar os remanescentes naturais e mitigar os impactos decorrentes da ocupação antrópica.

Conforme destaca Nascimento et al., (2020) os impactos da antropização são agravados pela falta de integração entre políticas habitacionais, ambientais e de mobilidade urbana, comprometendo a sustentabilidade das cidades na Amazônia Legal. Dessa forma, a tendência observada nos resultados como um todo reflete uma lógica de ocupação territorial típica da periferia metropolitana, marcada pela carência de infraestrutura e alta taxa de conversão de áreas naturais.

No município de Paço do Lumiar, a significativa perda de áreas naturais é especialmente preocupante, dado que sua zona costeira abriga extensas faixas de manguezais, integrando a Área de Preservação Ambiental (APA) das Reentrâncias Maranhenses. Essa APA, que também inclui o município de Raposa, protege manguezais e restingas que desempenham funções cruciais na manutenção dos ecossistemas costeiros, além de servirem como áreas de reprodução para diversas espécies aquáticas.

Em São José de Ribamar, algumas regiões igualmente abrigam manguezais e restingas, compondo a APA do Upaon-Açu-Miritiba-Alto Preguiças. Além disso, as praias de Panaquatira e Araçagi apresentam ecossistemas costeiros de grande relevância, como manguezais, campos inundáveis e restingas. Embora essas áreas não estejam totalmente protegidas por regulamentações formais, desempenham um papel essencial para a conservação ambiental e a sustentabilidade regional (Reis et al., 2024).

Conforme Fialho et al. (2021), o processo de urbanização exerce impactos significativos sobre o clima local, promovendo o aumento da temperatura do ar e, conseqüentemente, o desconforto térmico, o que contribui para a redução da qualidade de vida da população. Silva et al., (2020) destaca que o crescimento das cidades, aliado à expansão das populações urbanas, introduz novos elementos físicos e químicos na atmosfera, modificando as condições naturais preexistentes e dando origem ao chamado clima urbano. Esses efeitos foram igualmente observados em todos os municípios analisados nesta pesquisa, onde as alterações nas temperaturas do ar, tanto máximas quanto mínimas, apresentaram tendência de elevação, indicando um processo de aquecimento em toda a região.

De acordo com Mendes (2020), o desequilíbrio resultante da interação entre as características estruturais associadas aos fluxos que operam no espaço urbano, a dinâmica atmosférica em vigor e o ritmo climático contribui significativamente para diversas alterações ambientais. Esses fenômenos se manifestam em um tipo de clima específico para cada cidade, influenciado por fatores como a formação de ilhas de calor, ocorrência de inversões térmicas, alterações na direção e na velocidade dos ventos, redução da umidade relativa do ar e aumento na concentração de precipitações. A magnitude desses efeitos está intrinsecamente relacionada às intervenções antropogênicas particulares a cada localidade.

Assim, nota-se que todos os resultados observados sobre variabilidade pluviométrica, oscilação de precipitações e alterações na temperatura do ar indicam que o processo de antropização está criando microclimas locais, fato que fica evidente quando analisamos os municípios de Paço do Lumiar, São José de Ribamar e São Luís, que apresentaram maior elevação da interferência humana sobre sua superfície e conseqüentemente apresenta as maiores oscilações das variáveis meteorológicas.

## **CONCLUSÃO**

Neste estudo, os dados confirmaram que as mudanças de uso da terra na Ilha afetam as mudanças no microclima local; impacto evidenciado pelos sinais tanto na variabilidade da precipitação e na variabilidade da temperatura do ar (máxima, mínima e média).

Investigamos a perda de vegetação na Ilha do Maranhão em um período recente de 30 anos e discutimos nossos resultados à luz da literatura. Dentre os fatores naturais que poderiam ter alguma influência no desmatamento em relação às causas antropogênicas, nossos resultados e a literatura indicaram que o desmatamento local foi provavelmente causado por fatores demográficos e econômicos.

A paisagem da Ilha do Maranhão vem mudando rapidamente nos últimos 30 anos, resultando na perda de vegetação como um todo. Essa perda provavelmente está ligada ao crescimento da população urbana da ilha no mesmo período e a projetos de infraestrutura. Embora o Brasil tenha uma política moderna de conservação ambiental e esforços tenham sido feitos para conter as taxas de desmatamento, florestas e outras paisagens naturais permanecem ameaçadas.

O uso histórico da terra antes da promulgação da legislação ambiental é parcialmente responsável pela perda de vegetação. No entanto, muitas das ameaças atuais persistem porque práticas ilegais não são punidas de forma eficiente pelos responsáveis pela aplicação da lei. Unidades de Proteção Ambiental foram criadas na Ilha do Maranhão de 1991 a 2007. no

entanto, essas unidades nem sempre são eficazes, e a perda de vegetação descrita em nossos resultados ocorreu apesar de restingas e dos manguezais, que fixam dunas, serem classificados como ecossistemas de preservação permanente pela legislação ambiental brasileira.

Diante do contexto, é essencial o fortalecimento do ordenamento territorial, com foco em instrumentos como o Plano Diretor, a criação e manutenção de mais unidades de conservação, principalmente em municípios de Paço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar onde há maior carência de regulamentação além do fortalecimento das áreas protegidas já existentes e que também são ameaçadas pelo desmate. A promoção de uma urbanização mais sustentável, aliada à conservação dos remanescentes florestais, é fundamental para o equilíbrio ambiental da Ilha do Maranhão e para a qualidade de vida da população especialmente os que dependem da agricultura e pesca para a subsistência.

Portanto é importante considerar o fato de que o conhecimento tradicional das populações marisqueiras da ilha em especial de Palço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar pode ser uma fonte de informações essenciais para projetos de preservação ambiental hipotetizamos que o levantamento dessas informações pode servir de base para o estabelecimento e/ou expansão de políticas públicas para comunidades locais.

Recomenda-se para estudos futuros, uma análise específica de eventos intensos e extremos climáticos na Ilha. Essas informações serão valiosas para fomento de um mapa de regiões dentro da ilha passíveis de chuvas mais intensas que podem desencadear episódios de erosão. Se um estudo neste contexto for ampliado para todo o Estado do Maranhão, será ainda mais eficaz isso, porque não há um trabalho encontrado na literatura neste âmbito e atualmente os dados de CHIRPS são os mais indicados e estão disponíveis gratuitamente com uma precisão de 5 km, a qual possui muita confiabilidade nos resultados.

## REFERÊNCIAS

Alves, E. D. L. 2019. Análise das influências geourbanas no clima urbano da cidade de Iporá-Goiás. *Boletim de Geografia*, 37(2), 267-268.

Assunção, J., & Chein, F. (2016). Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. *Environment and Development Economics*, 21(5), 581-602.

Cirino, L. D. S.; Vitorino, M. I.; De Holanda, B. S. 2019. Análise climática da variabilidade natural e antrópica para uma metrópole amazônica. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, 6(2), 3-26.

Cutrim, M. V. J.; Ferreira, F. S.; Santos, A. K.D.; Cavalcanti, L. F.; Araújo B.O.; Cutrim, A. C. G. A.; Furtado J. A.; Oliveira, A. L. L. Trophic state of an urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 216, 2019, Pages 98-109, ISSN 0272-7714. DOI 10.1016/j.ecss.2018.08.013

De Oliveira, M. A. F. N.; Silva, L. C. P. 2019. As Alterações Climáticas Do Planeta E Os Impactos Na Biodiversidade Amazônica. Educação Ambiental em Ação, 18(69). DOI: <http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=3792>.

Espíndola, I; Ribeiro, W. 2020. Cidades e Mudanças Climáticas: desafios para os planos municipais brasileiros. Cadernos Metrópole 22(48), 365-395.

Fialho, E. S.; Furtado, J. B.; Xavier, T. C. 2021. Análise do (des) conforto térmico da cidade de Viçosa (MG) no ano de 2014. Geografia Ensino & Pesquisa, 25, 23. DOI: <https://doi.org/105902/14146509446846>.

Freitas, S. J. N.; Silva, M. A.; Sodré, G. R. C.; Santos, M. R. S. Vulnerabilidade aos processos erosivos relacionada com a sazonalidade no município de Barcarena, Pará. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.11, n.7, p.448-462, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0036>

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia 2023. Boletins climáticos e meteorológicos de São Luís. Disponível em: <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:VA6C2:f02dd662-6e49-4c7e-b93d-5624d091aa48>. Acesso em 3 de fevereiro de 2025.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2014. Mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira com alta resolução espacial utilizando dados Landsat-8 /TM e MODIS. São José dos Campos.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. P rtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Aleg ria, M. Craig, S. Langsdorf, S. L schke, V. M ller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In. Dipon vel em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.

Jiang Xianan, Baijun Tian, Tropical Meteorology: Intertropical Convergence Zone, Reference Module in Earth. Systems and Environmental Sciences, Elsevier, 2024 ISBN 9780124095489, DOI 10.1016/B978-0-323-96026-7.00141-7.

Jochner, S., Alves-Eigenheer, M., Menzel, A., & Morellato, L. P. C. (2013). Using phenology to assess urban heat islands in tropical and temperate regions. International Journal of

Climatology, 33(15), 3141–3151. DOI:10.1002/joc.3651

Júnior, L. N. 2018. O clima urbano como risco climático: contribuição da Geografia do Clima aos estudos sobre os climas das cidades. *Geo UERJ*, (33), 36827. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.36827>.

Nascimento Júnior, L. 2019. O Clima Urbano Como Risco Climático. *Geo UERJ* 34, 40956. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40956>.

Nascimento, R. A., Pereira, E. R., & Lima, M. S. (2020). Urbanização e Degradação Ambiental em Áreas Periurbanas da Amazônia: Um Estudo de Caso em Ananindeua – PA. *Revista Geográfica Acadêmica*, 14(1), 89–104.

Masullo, Anderson Gonzaga, Y. (2022). Evolução do processo de urbanização e alterações ambientais na praia de São Marcos, São Luís – MAO. *Revista Espaço E Geografia*, 19 (2), 561:595. DOI:10.26512/2236-56562016e40115

Mendes, M. 2020. Mudança global do clima e as cidades no Antropoceno: escalas, redes e tecnologias. *Cadernos Metrópole*, v. 22, n. 48, pp. 343-363. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2020-480>.

Moraes., B., C., Sodré., G., R., C., Cardoso., A., C., D., Júnior., A., R., S. Crescimento Urbano e Suas Implicações para o Tempo e Clima da Região Metropolitana de Belém do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.15 n. 04 (2022) 2045-2060.

Pereira, L.C.C., Trindade, W.N., Silva, I.R., Concejo, A., Short, A.D., 2016. Maranhão beach systems, including the human impact in São Luís beaches. In: Short, A.D., Klein, A. (Eds.), *Brazilian Beach Systems Coastal Research Library 17*. Springer, Switzerland, pp. 125–152.

Prakash, S. 2019. Performance assessment of Chirps, Mswep, Sm2rain-Cci, and tmpa precipitation products across india. *Journal of Hydrology* 571, 50-59. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.036>.

Queiroz, J. B. M., Oliveira, A.R.G, Costa, K. G., Brito, E.P., Fernandes, F. D. S., Nunes, Z.M.P., Koenig, M.L., Pereira, L. C. C., Costa , R.M. Phytoplankton of the shipping sector of São Marcos Bay (Amazon Coast): A potential risk area for the establishment of non-indigenous species, *Regional Studies in Marine Science*, Volume 49, 2022, 102121, ISSN 2352-4855, DOI: /10.1016/j.rsma.2021.102121.

Kabano, P.; Lindley, S.; Harris, A. 2021. Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city. *Landscape and urban planning*, 206, 103989. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103989>.

Reis L. R., Parise C. K., Correia G. S., Lima L. G., Perotto H., Bose N. A., Mendonça L. F. F., The bimodal regime of ocean waves and winds over the continental shelf of Maranhão, *Regional Studies in Marine Science*, Volume 77, 2024, 103629, ISSN 2352-4855, DOI <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103629>.

Rêgo, J. C. L., Gomes, A., & Silva, F. S. (2018). Loss of vegetation cover in a tropical island of the Amazon coastal zone (Maranhão Island, Brazil). *Land Use Policy*, 71, 593–601. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.10

Santos, Milton. *A urbanização brasileira*. São Paulo: Hucitec, 1993.

Silva R., C. W.; Silva, H. R., Marques, A. P.; De Macedo, F. L.; Faria, G. A.; Alves, M. C. 2020. Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto. *Geociências*, 39(1), 253-268.

Szlafstein, C. F. (2012). The Brazilian Amazon coastal zone management: Implementation and development obstacles. *Journal of Coastal Conservation*, 16(3), 335–343.

Toledo N., Moulatlet G., Gaona G., Valencia B., Hirata R., Conicelli B., Dynamics of meteorological and hydrological drought: The impact of groundwater and El Niño events on forest fires in the Amazon, *Science of The Total Environment*, Volume 954, 2024, 176612, ISSN 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.176612.

Vasconcelos, P. E. S., & Venancio, M. W. de C. (2024). Reestruturação urbana e habitação social: A Produção da COHAB-MA em São Luís - MA, durante a Ditadura Civil-Militar. *International Journal of Scientific Management and Tourism*, 10(2), e752. <https://doi.org/10.55905/ijsmtv10n2-010>.

Yao, R., Cao, J., Wang, L.C., Zhang, W.W., Wu, X.J. Urbanization effects on vegetation cover in major African cities during 2001–2017. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 75 (2019), pp. 44-53, 10.1016/j.jag.2018.10.011

## CAPÍTULO IV – INTEGRADOR

### **1. Reflexões sobre os resultados dos estudos de vulnerabilidade, mudanças de uso da terra e seus impactos na agricultura familiar na Ilha do Maranhão**

A urbanização desordenada na Ilha do Maranhão transformou a paisagem natural, principalmente manguezais e alterando a dinâmica dos processos biofísicos, climáticos e impactando negativamente os serviços ecossistêmicos e os bens necessários ao bem-estar humano. Observou-se que o aumento populacional e a migração de pessoas para zonas costeiras estão exercendo uma pressão sem precedentes sobre esses ecossistemas o que, em algumas situações, é incompatível com a dinâmica natural das zonas costeiras.

Os resultados desta tese são reforçados através da observação de Pereira et al. (2016), de que a erosão das praias da Ilha do Maranhão é uma erosão sazonal e espacial. Assim como em outras praias ao redor do mundo, além das consequências diretas da perda de vegetação na Ilha do Maranhão, a urbanização descontrolada tem impactos ambientais no tempo e no clima.

A Ilha é uma região metropolitana que concentra ecossistemas de alta sensibilidade ambiental, ao mesmo tempo em que desempenha um papel central como principal núcleo econômico do Estado do Maranhão. Além disso, a Ilha foi reconhecida pela UNESCO, em 1997, como Patrimônio Cultural da Humanidade, reforçando sua relevância histórica e cultural. Este contexto evidencia a ampla complexidade do território, que enfrenta desafios significativos decorrentes de processos de degradação ambiental ao longo dos anos (Lai et al., 2015) Potter, (2013) Carboni et al. (2009).

Parte do crescimento urbano e populacional observado nos últimos 40 anos é atribuível às políticas industriais locais adotadas pelo Governo Federal Brasileiro, como o Programa Grande Carajás (PGC). O PGC e outros projetos semelhantes foram estabelecidos entre 1974 e 1978 como uma estratégia nacional de desenvolvimento. Como parte do PGC, as mineradoras Vale e ALUMAR estabeleceram operações no Distrito Industrial de São Luís, ligando dois portos e uma ferrovia (Carajás-São Luís) que havia sido construída na porção ocidental da ilha. Os empregos oferecidos por essas empresas atraíram pessoas de toda a ilha e, de fato, de outras partes do país, aumentando a população local e expandindo a área urbana (Freitas et al., 2023).

O uso descontrolado e não planejado do solo, desde então, levou à perda contínua de vegetação na Ilha do Maranhão. Os resultados de Rego et al. (2018), mostram que as praias da Ilha do Maranhão apresentam uma taxa considerável de perda de vegetação causada pela expansão das áreas urbanas o que converge com os resultados deste estudo, de que as praias do Calhau, Olho D'água e de Raposa encontram-se com alta vulnerabilidade. De acordo com uma análise anterior realizada por Santos (1996), a região era originalmente densamente coberta por restinga, com um banco de areia vegetado e um sistema de dunas paralelo às praias então grande parte dessa estrutura ecossistêmica foi perdida, resultando em instabilidade.

O fato é que existe uma motivação pelo mercado imobiliário, que já impulsiona a urbanização das praias da Ilha do Maranhão há pelo menos 25 anos. São Luís é a área mais urbanizada do estado do Maranhão e, de 1991 a 2010, as praias de Ponta d'Areia, São Luís, Calhau e Olho d'Água perderam 9%, 6%, 11% e 11% de suas áreas desocupadas, respectivamente (De Jesus et al., 2024).

O aumento populacional resulta em demanda por moradias, o que leva à verticalização das áreas urbanas e, portanto, edifícios altos agora são comuns em zonas costeiras e estes frequentemente estão localizados muito próximos à linha d'água, tornando-os vulneráveis a eventos erosivos. Onde antes havia dunas e restinga, hoje existem muros de concreto, enrocamentos e arranha-céus que não conseguem proteger totalmente o litoral de eventos naturais extremos. (Freitas et al., 2021).

De acordo com o relatório do IPCC divulgado no início de 2022 (Painel Intragovernamental de Mudanças Climáticas), perdas e danos generalizados e graves aos sistemas humanos e naturais estão sendo causados pelas mudanças climáticas induzidas pelo homem, aumentando a frequência e/ou intensidade e/ou duração de eventos extremos climáticos, tais como secas, ondas de calor e inundações.

Os extremos estão superando a resiliência de alguns ecossistemas e sistemas humanos, e desafiando as capacidades de adaptação de outros, incluindo impactos com consequências irreversíveis. Pessoas e sistemas humanos vulneráveis e espécies e ecossistemas sensíveis ao clima estão em maior risco. Então é muito importante que o Estado e os gestores de cada município unam esforços para administrar a Ilha sob um viés holístico que integre a conservação solo-planta que impacta diretamente no clima regional e bem estar social (Aguiar et al., 2013)

## **2. Impactos na Agricultura familiar**

Embora São Luís seja predominantemente urbana, ainda existem áreas destinadas à agricultura familiar e à pecuária. O Maranhão possui o segundo maior litoral do Brasil, com uma extensão costeira de 640 km e extensa área de manguezais no litoral nordestino, que favorece o desenvolvimento de várias espécies de camarão (Ferreira et al., 2012). Essas atividades, no entanto, estão em declínio devido à pressão urbana e à degradação do solo como demonstra os resultados desta tese.

A agricultura familiar desempenha um papel importante no abastecimento de mercados locais, embora enfrente desafios como a perda de áreas agrícolas para outros usos. Em toda a extensão da Ilha se desenvolve a pesca artesanal e são importantes as pescarias do Golfão Maranhense, incluindo a Ilha de São Luís, e as baías de São Marcos e Ribamar (Muniz Barbosa e Sampaio Correa, 2020).

A produção e comercialização de hortaliças na Grande Ilha de São Luís, desempenha um papel fundamental na segurança alimentar e nutricional da região, onde a população busca cada vez mais alimentos frescos e de qualidade para uma dieta saudável (Santos, 2022).

No entanto, a realidade dos produtores rurais, especialmente pequenos e médios agricultores familiares, é desafiadora diante da substituição de vegetação nativa por áreas urbanas, industriais e agrícolas que levou a problemas como erosão do solo, assoreamento de rios e perda de biodiversidade ou seja todas as problemáticas investigadas nesta tese impactam diretamente a atividade agrícola. Em um cenário de alta perecibilidade das hortaliças e infraestrutura limitada, às dificuldades logísticas e financeiras impactam diretamente a viabilidade econômica e social dessa atividade agrícola (Muniz Barbosa e Sampaio Correa, 2020).

O acesso precário a recursos como água, energia e transporte adequado agrava os problemas de escoamento da produção e limita o potencial de lucro, colocando os produtores em uma situação financeira frágil (Ferreira et al., 2012).

Os manguezais, que são ecossistemas fundamentais para a região, vêm sendo impactados pela expansão urbana e pela poluição. A conservação dos ecossistemas naturais, como os manguezais e zonas costeiras, é um dos principais desafios para São Luís. Esses ecossistemas são essenciais para a proteção contra erosão e para a manutenção da biodiversidade e da pesca, que ocorre em todos os municípios da Ilha, especialmente em Raposa, que possui a mais notória pesca do Estado (De Jesus et al., 2024).

A urbanização da zona costeira é, em parte, estimulada pela indústria do turismo e, atualmente, uma proporção considerável da população que vive em zonas costeiras e depende do turismo e da pesca para sua subsistência, principalmente em Raposa, onde a comunidade explora o recurso pesqueiro bivalve *Iphigenia brasiliensis*, conhecido localmente como tarioba (De Jesus et al., 2024). O município expressou os menores percentuais de antropização, mas também possui um comportamento bastante irregular de chuvas e também é muito vulnerável à erosão especialmente nos períodos de verão, inverno e outono, ou seja, na maior parte do ano.

Outro exemplo é a comunidade de Matinha, que está localizada no bairro Maracanã, próximo a BR-135 na área peri-urbana a 18 km do centro de São Luís. Com aproximadamente 1.640 habitantes a sua principal atividade econômica é o cultivo de produtos hortifrutigranjeiros. O bairro Maracanã tem características essencialmente rurais, localizado em uma Área de Proteção Ambiental (APA), englobando os bairros: Maracanã, Vila Sarney, Vila Esperança e Rio Grande, e também o Parque da Juçara e o Viva Maracanã (Centro de eventos folclóricos) (Barbosa e Correia, 2020).

É necessário um planejamento mais integrado e sustentável para lidar com o crescimento populacional e a pressão sobre os recursos naturais. A agricultura familiar deve ser incentivada com políticas públicas que garantam a preservação do solo e a sustentabilidade econômica dos pequenos agricultores, um caminho interessante seria criação de uma RESEX (reserva extrativista), isso porque uma Resex tem uma proteção mais rígida em relação a uma Área de Proteção Ambiental (APA), pois é uma unidade de conservação de uso sustentável que garante o modo de vida das populações tradicionais, enquanto a APA é uma categoria de proteção ambiental com um foco mais amplo na diversidade biológica e ocupação, não necessariamente associada à presença de populações tradicionais e suas atividades, a exemplo da RESEX de São João da Ponta, no Estado do Pará, que possui um nível organizacional em que as atividades de conhecimentos e técnicas tradicionais fluem com maior inspeção legal e isso fortalece a população tradicional residente (Ruiz et al., 2021).

As ocupações em ambientes geomorfológicos sensíveis intensificaram-se a partir da década de 1950, conforme apontado por Aguiar et al., (2013) que destaca a transformação da Ilha do Maranhão em um espaço com elevado grau de controle antrópico, onde o ambiente natural foi progressivamente artificializado por meio de intervenções humanas. O solo natural foi substituído por densas pavimentações e técnicas de terraplanagem que alteraram profundamente nascentes, manguezais e demais ambientes da zona costeira.

Um exemplo emblemático desse processo é a construção do primeiro conjunto habitacional de São Luís, o bairro Filipinho com 320 unidades habitacionais evidencia a edificação de moradias pelo Estado em uma área originalmente ocupada por manguezais, situada nas proximidades da planície de inundação do rio das Bicas, na porção central da Ilha (Grisa e Schneider, 2015).

Nesse contexto, a Vila Palmeira, na mesma região da Ilha, surge como retrato das desigualdades socioeconômicas, destacando-se no cenário de ocupação urbana de São Luís como uma área em expansão, acompanhando o crescimento das periferias urbanas a partir da década de 1980, margeando a esquerda do rio Anil (Delgado e Leite, 2015).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de um contexto de extrema degradação na ilha do maranhão verificado nesta tese que reforça outros estudos já realizados e diante da situação dos agricultores familiares na Ilha. É necessário estudos mas profundos que investiguem o modo como os processos erosivos sendo naturais ou não, afeta as práticas agrícolas na ilha do Maranhão desde o contexto colonial a presente época.

Isso, porque será possível compreender o grau escanteamento e injustiça ambiental sofrido principalmente pelos grupos que tem como base a agricultura de subsistência que ainda resistem.

O fomento de unidades de conservação mais restritas como RESEX's é necessário e urgente para preservar o saber tradicional e fortalecer a agricultura dos povos que resistem em meio a pressão, de modo que delimitar uma unidade de conservação significa proteger e proporcionar um tipo de desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

## REFERENCIAS

Aguiar, A. das C. F.; Moura, E. G.; Correa, M. S.; Costa, N. de J. F. A agricultura itinerante, o ambiente e os agricultores. In: Moura, E. G.; Aguiar, A. das C. F. (orgs.). *Cadernos de Agroecologia: Manejo Sustentável dos Solos do Tropicó Úmido*. São Luís: UEMA v. II, 2013, p. 58-70.

Barbosa Z.M.E. Correia, B.S. Mercado Institucional e Políticas Territoriais: a experiência dos agricultores familiares da comunidade de Matinha na zona rural de São Luís/MA. *Redes*, [S. l.], v. 25, p. 2185–2202, 2020. DOI: [10.17058/redes.v25i0.15261](https://doi.org/10.17058/redes.v25i0.15261). Disponível em: <https://seer.unisc.br/index.php/redes/article/view/15261>. Acesso em: 12 nov. 2025.

Carboni, M., Carranza, M.L., Acosta, A., 2009. Assessing conservation status on coastal dunes: a multiscale approach. *Landsc. Urban Plan.* 91, 17–25.

De Jesus P.P., Camara A.M.M., LEAL, M.M., Almeida R.S., Lourenço C.B., Funo, I.C.S.A. Traditional knowledge and socioeconomic aspects of small-scale bivalve fishing on the Amazon coast: A case study of *Iphigenia brasiliensis* on the Island of Maranhão, **Marine Policy**, Volume 163, 2024, 106076, ISSN 0308-597X, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106076>

Delgado, N. G.; Leite, S. P. Políticas de Desenvolvimento Territorial: O Pronat e o PTC: possibilidades, limites e desafios das políticas territoriais para o desenvolvimento rural. In: Grisa, Catia e Schneider, Sergio (Org.) **Políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2015.p. 239- 260.

Ferreira, E. M.; Lpoes, I. S.; Leôncio, G. G.; Lopes, W. M.; Cunha, M. C. S.; Alves, L. M. C. Indicadores de qualidade do camarão salgado seco comercializado em praias de São Luís, MA. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA-SBPC, 64., 2012, São Luís. Anais[...]São Luís: UFMA, 2012. Disponível em: [bpcnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/2935](http://bpcnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/2935).

Grisa, C.; Schneider, S. Três gerações de políticas públicas para a agricultura familiar e formas de interação entre sociedade e Estado no Brasil. In: GRISA, C.; SCHNEIDER, S. (Org.). **Políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2015. p. 19-50.

Lai I, S., Loke, L.H.L., Hilton, M.J., Bouma, T.J., Todd, P.A., 2015. The effects of urbanisation on coastal habitats and the potential for ecological engineering: a Singapore case study. **Ocean. Coast. Manage.** 103, 78–85.

Medeiros, F. S. J, P; Sato, S, M; Dias, L, J, S; Mendes, N, S. Land use and occupation in geomorphologically sensitive environments: an approach to Maranhão Island. *Margarida Penteadó – Revista de Geomorfologia*. v.1 n.2, dezembro de 2024, p.1-15 <https://doi.org/10.29327/ISSN2966-2958.v1n2.2024.004>

Muniz Barbosa, Zulene; Sampaio Correa, Bianca. Mercado Institucional e Políticas Territoriais: a experiência dos agricultores familiares da comunidade de Matinha na zona rural de São Luís/MA. **Redes (St. Cruz Sul, Online)**, Santa Cruz do Sul, v. 25, p. 2185-2202, 2020. ISSN 1982-6745. doi:<https://doi.org/10.17058/redes.v25i0.15261>.

Pereira, L.C.C., Trindade, W.N., Silva, I.R., Concejo, A., Short, A.D., 2016. Maranhão beach systems, including the human impact in São Luís beaches. In: Short, A.D., Klein, A. (Eds.), *Brazilian Beach Systems Coastal Research Library 17*. Springer, Switzerland, pp. 125–152.

Potter, C., 2013. Ten years of landcover change on the California coast detected using Landsat satellite image analysis: part 2—San Mateo and Santa Cruz counties. **J. Coast. Conserv.** 17, 709–718.

Rego, J. C. L., Gomes, A., & Silva, F. S. (2018). Loss of vegetation cover in a tropical island of the Amazon coastal zone (Maranhão Island, Brazil). **Land Use Policy**, 71, 593–601. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.10.

Ruiz, Melgris Jose Becerra; Freitas, Stephanie Jael Negrão de; Tavares, Paulo Amador; Pimentel, Marcia Aparecida da Silva. Conhecimentos e técnicas tradicionais na exploração de recursos dos manguezais da zona costeira da Amazônia. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 22, n. 81, p. 265–276, 2021. DOI: [10.14393/RCG228155653](https://doi.org/10.14393/RCG228155653).

SANTOS, J.D., 1996. Análise por geoprocessamento da ocupação na Franja Costeira ao Norte da Cidade de São Luís—MA. **Dissertação**, Rio de Janeiro: IGEO/PPGG/UFRJ.

## CONCLUSÃO GERAL

Através da finalização desta tese é possível observar que a Ilha do Maranhão é um lócus de biodiversidade amazônica que faz parte de uma estrutura ambiental que foi formada ao longo de cerca de 65 milhões de anos, ou seja, desde o início do surgimento dos Andes, é hoje confrontada com muitos desafios de uma, digamos, nova era o Antropoceno. Esses desafios incluem mudanças no uso da terra e o mais importante, os efeitos das mudanças climáticas .

Quanto à análise de vulnerabilidade ambiental, sugerimos modificações na abordagem metodológica tradicional que não considera as quatro estações meteorológicas, mas aqui foi considerada. Isto não representa uma novidade ou originalidade singular, no entanto, a concepção de empregar estações meteorológicas como um meio de observação do comportamento dos diversos elementos da paisagem emergindo como um aspecto crucial que se destacou neste estudo pois os dados de sensoriamento remoto são uma alternativa eficiente para estudos de variabilidade espaço-temporal da chuva em extensas regiões, sanando as limitações escalares inerentes das estações meteorológicas de superfície.

Nesse sentido, os processos erosivos possivelmente desempenham um papel significativo no agravamento contínuo das condições ambientais e sociais e isto foi bastante discutido. A vulnerabilidade decorrente pode aumentar a suscetibilidade de localidades a eventos adversos nos principais centros econômicos e turísticos da ilha como Raposa, São José de Ribamar e na faixa litorânea de São Luís.

No contexto da análise de antropização, os resultados confirmaram que as mudanças de uso da terra na Ilha afetam as mudanças no microclima local; impacto evidenciado pelos sinais tanto na variabilidade da precipitação e na variabilidade da temperatura do ar (máxima, mínima e média).

Investigamos a perda de vegetação na Ilha do Maranhão em um período recente de 30 anos e discutimos nossos resultados à luz da literatura. Dentre os fatores naturais que poderiam ter alguma influência no desmatamento em relação às causas antropogênicas, nossos resultados e a literatura indicaram que o desmatamento local foi provavelmente causado por fatores demográficos e econômicos.

A paisagem da Ilha do Maranhão vem mudando rapidamente nos últimos 30 anos, resultando na perda de vegetação como um todo. Essa perda provavelmente está ligada ao crescimento da população urbana da ilha no mesmo período e a projetos de infraestrutura.

Embora o Brasil tenha uma política moderna de conservação ambiental e esforços tenham sido feitos para conter as taxas de desmatamento, florestas e outras paisagens naturais permanecem ameaçadas.

Diante do contexto dos resultados dessa tese, é essencial o fortalecimento do ordenamento territorial, com foco em instrumentos como o Plano Diretor, a criação e manutenção de mais unidades de conservação, principalmente em municípios de Paço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar onde há maior carência de regulamentação além do fortalecimento das áreas protegidas já existentes e que também são ameaçadas pelo desmate. A promoção de uma urbanização mais sustentável, aliada à conservação dos remanescentes florestais, é fundamental para o equilíbrio ambiental da Ilha do Maranhão e para a qualidade de vida da população especialmente os que dependem da agricultura e pesca para a subsistência.

Portanto é importante considerar o fato de que o conhecimento tradicional das populações marisqueiras da ilha em especial de Paço do Lumiar, Raposa e São José de Ribamar pode ser uma fonte de informações essenciais para projetos de preservação ambiental hipotetizamos que o levantamento dessas informações pode servir de base para o estabelecimento e/ou expansão de políticas públicas para comunidades locais.

Recomenda-se para estudos futuros, uma análise específica de eventos intensos e extremos climáticos na Ilha. Essas informações serão valiosas para fomento de um mapa de regiões dentro da ilha passíveis de chuvas mais intensas que podem desencadear episódios de erosão. Se um estudo neste contexto for ampliado para todo o Estado do Maranhão, será ainda mais eficaz isso, porque não há um trabalho encontrado na literatura neste âmbito e atualmente os dados de CHIRPS são os mais indicados e estão disponíveis gratuitamente com uma precisão de 5 km, a qual possui muita confiabilidade nos resultados.