



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC**  
**CAMPUS CRATEÚS**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E**  
**REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA**

**IANA DE CASTRO MELO**

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO DA SUSCETIBILIDADE ÀS INUNDAÇÕES E**  
**ALAGAMENTOS NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA-CE**

**CRATEÚS**

**2026**

IANA DE CASTRO MELO

ANÁLISE MULTICRITÉRIO DA SUSCETIBILIDADE ÀS INUNDAÇÕES E  
ALAGAMENTOS NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA-CE

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dra. Raimunda Moreira Franca Lima.

CRATEÚS

2026

IANA DE CASTRO MELO

ANÁLISE MULTICRITÉRIO DA SUSCETIBILIDADE ÀS INUNDAÇÕES E  
ALAGAMENTOS NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA-CE

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof.Água da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Raimunda Moreira Franca Lima (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco das Chagas Gomes da Silva Junior  
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

---

Prof. Dra. Dayane de Andrade Lima  
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

A Deus.

Ao meu amor.

À minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) por meio do Convênio CAPES/UNESP N°. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, pelo apoio técnico-científico aportado até o momento.

À Prof. Dra. Raimunda Moreira Franca Lima, pela excelente orientação e apoio durante a minha trajetória de desenvolvimento do projeto.

Aos professores participantes da banca examinadora e professores do programa pelas contribuições e sugestões que enriqueceram a minha formação acadêmica e me instigaram a buscar soluções para problemas reais.

Aos colegas da turma de mestrado, pela troca de experiências, pela cooperação e por tornar esta etapa mais leve.

Ao meu companheiro e à minha família pelo incentivo e apoio à realização dos meus sonhos.

## RESUMO

O mapeamento de áreas de suscetibilidade a inundações e alagamentos tem sido uma ferramenta essencial para o planejamento de ações de prevenção e mitigação de risco de desastres hidrológicos. Embora o Serviço Geológico Brasileiro (SGB) tenha elaborado cartas de suscetibilidade a inundações de alguns municípios considerando fatores hidrogeológicos, a identificação de áreas suscetíveis a estes eventos em áreas urbanas requer mapeamentos específicos que considerem também fatores antrópicos. Diante disso, este estudo visa mapear as áreas suscetíveis a inundações e alagamentos na área urbana de Morada Nova-CE. Para isso, foram identificados os principais fatores de influência em inundações e alagamentos e realizada a análise multicritério de fatores ambientais, hidrológicos e antrópicos pelo método do Processo Analítico Hierárquico (AHP) associado a tecnologias de Sistemas de Informações Geográficas para elaboração de um mapa de suscetibilidade e para análise dos bairros mais suscetíveis a estes eventos. A validação do mapeamento foi realizada a partir da comparação do mapa AHP e da carta de suscetibilidade do SGB com registros reais de inundações e alagamentos dos anos de 2009 e 2024. Os resultados indicam que o mapeamento AHP tem 96,36% de acurácia em relação ao mapa de inventário de registros reais, e é mais adequado para a delimitação de áreas suscetíveis na zona urbana do que o mapa do SGB, que teve 12,72% de acurácia. Além disso, o mapeamento AHP demonstra que 44,68% da área urbana de Morada Nova está em área de alta (39,53%) ou muito alta (5,15%) suscetibilidade a inundações e alagamentos. Diante disso, o estudo demonstrou que o mapeamento AHP é uma alternativa adequada para a identificação de áreas suscetíveis aos eventos hidrológicos extremos na área urbana de Morada Nova. Espera-se que a carta de suscetibilidade produzida neste estudo auxilie a gestão de risco de desastres hidrológicos no município, contribuindo para o atingimento das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 11 e 13, referentes à construção de cidades mais resilientes e ao enfrentamento das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Processo Analítico Hierárquico; geoprocessamento; desastres hidrológicos.

## ABSTRACT

Mapping areas susceptible to flooding has been an essential tool for planning actions to prevent and mitigate the risk of hydrological disasters. Although the Brazilian Geological Survey (SGB) has developed flood susceptibility maps for some municipalities considering hydrogeological factors, identifying areas susceptible to these events in urban areas requires specific mapping that also considers anthropogenic factors. Therefore, this study aims to map the areas susceptible to flooding in the urban area of Morada Nova-CE. To this end, the main influencing factors in flooding were identified, and a multicriteria analysis of environmental, hydrological, and anthropogenic factors was performed using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method associated with Geographic Information Systems technologies to create a susceptibility map and analyze the neighborhoods most susceptible to these events. The mapping validation was performed by comparing the AHP map and the SGB susceptibility map with real records of floods and inundations from 2009 and 2024. Preliminary results indicate that the AHP mapping has 96.36% accuracy in relation to the inventory map of real records and is more suitable for delineating susceptible areas in the urban zone than the SGB map, which had 12.72% accuracy. Furthermore, the AHP mapping demonstrates that 44.68% of the urban area of Morada Nova is in an area of high (39.53%) or very high (5.15%) susceptibility to floods and inundations. Therefore, the study demonstrated that AHP mapping is a suitable alternative for identifying areas susceptible to extreme hydrological events in the urban area of Morada Nova. The susceptibility map produced in this study is expected to assist in the management of hydrological disaster risks in the municipality, contributing to the achievement of the goals of Sustainable Development Goals 11 and 13, related to building more resilient cities and addressing climate change.

**Keywords:** Analytic Hierarchy Process; geoprocessing; hydrological disasters.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Acumulado mensal de chuvas x desastres naturais no Ceará (1991-2019)	22
Figura 2	– Perfil transversal de um curso d'água com a dinâmica das cheias .....	25
Figura 3	– Alterações hidrológicas promovidas pela urbanização .....	26
Figura 4	– Lagoa da Salina na década de 1960 .....	29
Figura 5	– Lagoa da Salina em 2024 .....	29
Figura 6	– Evolução da ocupação do Bairro 2 de Agosto ao longo de cinco décadas ..	30
Figura 7	– Alagamento em Morada Nova no ano de 1964 .....	31
Figura 8	– Alagamento do terminal rodoviário de Morada Nova em 1984 .....	32
Figura 9	– Alagamento da Rua Manoel de Castro, Centro de Morada Nova, em 1984	32
Figura 10	– Alagamento da Rua Francisco Monteiro Maia, Morada Nova, em 1984...	33
Figura 11	– Localização e delimitação do perímetro urbano da sede de Morada Nova-CE .....	35
Figura 12	– Características hidrográficas de Morada Nova - CE .....	37
Figura 13	– Postos pluviométricos de Morada Nova - CE .....	41
Figura 14	– Caracterização da hipsométrica da área de estudo .....	51
Figura 15	– Caracterização da declividade do relevo .....	53
Figura 16	– Distribuição espacial da precipitação média anual .....	54
Figura 17	– Distância em relação aos recursos hídricos .....	56
Figura 18	– Caracterização dos tipos de solo .....	58
Figura 19	– Caracterização da cobertura e uso da terra .....	60
Figura 20	– Caracterização da densidade populacional .....	62
Figura 21	– Aplicação da equação de AHP na calculadora Raster .....	64
Figura 22	– Mapa de suscetibilidade à inundação e alagamentos .....	65
Figura 23	– Localização dos registros reais de inundações e alagamentos em 2009 .....	67
Figura 24	– Localização dos registros reais de inundações e alagamentos em 2024.....	68
Figura 25	– Registros fotográficos de inundações e alagamentos em 2009.....	69
Figura 26	– Registros fotográficos de inundações e alagamentos em 2024.....	71
Figura 27	– Localização dos registros reais em relação à suscetibilidade à inundação e alagamentos do Método AHP	72
Figura 28	– Localização dos registros reais em relação ao SGB .....	74

Figura 29 – Sobreposição da classe de alta suscetibilidade SGB e das classes de alta e muito alta suscetibilidade AHP 76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Classificação dos desastres hidrológicos .....	20
Quadro 2	–	Atributos hidrológicos das classes de solos .....	24
Quadro 3	–	Síntese dos fatores de influência utilizados nos estudos analisados .....	38
Quadro 4	–	Fontes de dados dos fatores de influência utilizados .....	40
Quadro 5	–	Construção da matriz de comparação par a par dos critérios .....	46
Quadro 6	–	Escala de importância de Saaty .....	46
Quadro 7	–	Determinação dos pesos dos fatores a partir do autovetor .....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Postos pluviométricos próximos à área de estudo .....	41
Tabela 2	– Série histórica de precipitação total anual.....	42
Tabela 3	– Reclassificação dos fatores condicionantes .....	44
Tabela 4	– Índice de Consistência Aleatória .....	48
Tabela 5	– Classes de suscetibilidade .....	48
Tabela 6	– Percentuais de altitude .....	51
Tabela 7	– Percentuais de declividade .....	52
Tabela 8	– Percentuais de precipitação média anual .....	55
Tabela 9	– Percentuais de distância em relação aos resultados hídricos .....	57
Tabela 10	– Percentuais de tipos de solo .....	58
Tabela 11	– Percentuais de cobertura e usos da terra .....	61
Tabela 12	– Percentuais de densidade populacional .....	62
Tabela 13	– Pesos dos fatores de influência.....	63
Tabela 14	– Validação da atribuição de pesos pelo método AHP .....	63
Tabela 15	– Percentuais de área por classe de suscetibilidade.....	65
Tabela 16	– Ocorrências reais por classe de suscetibilidade do AHP .....	73
Tabela 17	– Ocorrências reais por classe de suscetibilidade do SGB .....	75
Tabela 18	– Parâmetros de comparação entre os mapas do AHP e o do SGB .....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Processo Analítico Hierárquico
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
HAND	<i>Height Above the Nearest Drainage</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverso da Distância Ponderada
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MCDM	Métodos de Apoio à Decisão Multicritério
MDE	Modelo Digital de Elevação
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TWI	Índice Topográfico de Umidade
VAB	Valor Adicionado Bruto
VIGIDESASTRES	Programa Nacional de Vigilância em Saúde dos Riscos Associados aos Desastres

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Geral</b> .....	17
<b>2.2</b>	<b>Específico</b> .....	17
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
<b>3.1</b>	<b>Gestão de Recursos Hídricos e os desafios para a prevenção de eventos hidrológicos extremos</b> .....	18
<b>3.2</b>	<b>Desastres hidrológicos no semiárido cearense</b> .....	20
<b>3.3</b>	<b>Fatores de influência de alagamentos e inundações em áreas urbanas</b> .....	22
<b>3.3.1</b>	<i>Altitude e declividade</i> .....	23
<b>3.3.2</b>	<i>Pedologia</i> .....	23
<b>3.3.3</b>	<i>Precipitação</i> .....	24
<b>3.3.4</b>	<i>Proximidade aos recursos hídricos</i> .....	24
<b>3.3.5</b>	<i>Uso e ocupação do solo</i> .....	25
<b>3.3.6</b>	<i>Adensamento populacional</i> .....	27
<b>3.4</b>	<b>Mapeamento de desastres hidrológicos e o método AHP</b> .....	27
<b>3.5</b>	<b>Impactos e estratégias de prevenção e mitigação das inundações e alagamentos na área urbana de Morada Nova</b> .....	28
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	35
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da Área de Estudo</b> .....	35
<b>4.2</b>	<b>Estruturação e Aplicação do Modelo Multicritério</b> .....	38
<b>4.2.1</b>	<i>Seleção dos Fatores Condicionantes</i> .....	38
<b>4.2.2</b>	<i>Levantamento e processamento dos dados</i> .....	40
<b>4.2.3</b>	<i>Reclassificação dos Fatores</i> .....	43
<b>4.2.4</b>	<i>Aplicação do método AHP</i> .....	45
<b>4.2.5</b>	<i>Geração, validação e análise do Mapa de Suscetibilidade</i> .....	48
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	51
<b>5.1</b>	<b>Análise dos fatores condicionantes</b> .....	51
<b>5.1.1</b>	<i>Altitude</i> .....	51
<b>5.1.2</b>	<i>Declividade</i> .....	52

5.1.3	<i>Índice de Precipitação</i> .....	54
5.1.4	<i>Proximidade em relação aos recursos hídricos</i> .....	56
5.1.5	<i>Pedologia</i> .....	57
5.1.6	<i>Cobertura e usos da terra</i> .....	59
5.1.7	<i>Densidade populacional</i> .....	61
5.2	<b>Aplicação da metodologia AHP</b> .....	63
5.3	<b>Mapa de suscetibilidade à inundação e alagamentos</b> .....	64
5.4	<b>Mapa de inventário de registros reais</b> .....	67
5.4	<b>Validação e análise comparativa do mapa de suscetibilidade AHP e do mapa do SGB na representatividade de eventos reais na área urbana</b> .....	72
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	78
	<b>DECLARAÇÃO DO USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) GENERATIVA E TECNOLOGIAS DE IA ASSISTIDA NO PROCESSO DE ESCRITA</b> .....	79
	<b>PRODUTO DA PESQUISA</b> .....	80
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	81
	<b>APÊNDICE</b> .....	92

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos reconhece que a integração das políticas públicas de gestão ambiental e usos do solo com a gestão dos recursos hídricos é um elemento de importância significativa para a gestão das águas e para a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos no país. No entanto, a integração entre a gestão de recursos hídricos e as demais políticas do território urbano ainda representa um grande desafio, devido à falta de compreensão desses setores como componentes de um mesmo sistema (Brasil, 1997; Silva *et al.*, 2024).

A exemplo disso, os impactos da ocupação desordenada às margens de recursos hídricos, a impermeabilização de solos, a canalização dos cursos d'água, a substituição da cobertura vegetal e a ausência de infraestrutura de drenagem adequada que favorecem a ocorrência de desastres hidrológicos são resultantes de fragilidade da gestão ambiental e territorial do ambiente urbano. Além de afetar seu território, exportam os impactos ao longo das bacias hidrográficas (Duarte; Santos; Castelhana Tucci *et al.*, 2024).

Diante do cenário de mudanças climáticas, o aumento de chuvas intensas em curtos espaços de tempo associado às fragilidades da gestão ambiental e territorial em áreas urbanas tem aumentado a ocorrência de eventos hidrológicos críticos e a intensidade dos seus impactos (Farias; Mendonça, 2022).

Dentre as estratégias para a integração das políticas citadas para a prevenção de eventos hidrológicos extremos, estão: desenvolvimento de medidas estruturais, como a incorporação de tecnologias de infraestrutura verde no planejamento urbano; e não estruturais, como o investimento em pesquisas relativas ao uso e ocupação do solo que subsidiem o aprimoramento de políticas públicas; e melhoria do aspecto de governança, com produção e divulgação de informações confiáveis sobre o espaço natural e antrópico e com o desenvolvimento de soluções em conjunto com os diversos setores da sociedade (ANA, 2016; Godoy; Benini, 2024).

Contudo, a falta de conhecimento das populações sobre essas áreas de risco e a ausência de mapeamentos que considerem tanto os aspectos naturais quanto antrópicos que influenciam inundações e alagamentos são um dos principais fatores que dificultam a prevenção de riscos hidrológicos em áreas urbanas (Cea; Costabile, 2022; Veiga *et al.*, 2024).

No Ceará, Morada Nova é um dos municípios que ilustram essa problemática. O município possui um histórico de inundações e alagamentos na área urbana que ocasionam danos sociais, econômicos e ambientais, agravados principalmente pela proximidade da área

urbana em relação ao Rio Banabuiú, principal recurso hídrico da região hidrográfica em que se situa o município. O histórico de eventos levou Morada Nova a ser um dos 1942 municípios brasileiros monitorados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais da Defesa Civil Nacional e a ter seu risco hidrogeológico mapeado pelo Serviço Geológico do Brasil, em 2014 (Atlas Digital de Desastres no Brasil, 2025; CEMADEN, 2022; SGB, 2014).

Embora o município possua plano diretor que restringe áreas no entorno de recursos hídricos, classificada por ele como Área de Interesse Ambiental 2, a lei que institui estas áreas autoriza a permanência de ocupações anteriores à publicação do plano, em 2019 (Morada Nova, 2019).

De mesmo modo, o município foi contemplado com uma carta de suscetibilidade a inundações elaborada pelo SGB para Morada Nova; no entanto, o estudo destaca que é necessária a elaboração de mapeamentos específicos para áreas urbanas, que considerem os fatores antrópicos, devido à possível mudança da classificação de suscetibilidade dessas áreas (SGB, 2014).

Neste cenário, a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP), que consiste em um modelo matemático de hierarquização de fatores por importância, associado às ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), pode representar uma alternativa de baixo custo que permite processar grandes volumes de informações espaciais e temporais com confiabilidade e precisão para elaboração de mapas que auxiliem as tomadas de decisões sobre a gestão de eventos hidrológicos extremos, avaliem os múltiplos critérios que contribuem para a suscetibilidade a esses eventos nas áreas urbanizadas, a fim de tornar público para a população as áreas de risco na zona urbana (Dutta *et al.* 2023; Lima *et al.*, 2025; Saaty, 1990; Vojtek *et al.*, 2021).

Desse modo, a adoção de medidas não estruturais, como o mapeamento de áreas suscetíveis, para a gestão de risco de desastres hidrológicos em áreas urbanas pode também contribuir para o atingimento das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que visam à promoção de cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11) e ao enfrentamento das mudanças climáticas globais (ODS 13) (ONU, 2015).

Diante disso, o presente estudo tem como escopo analisar as áreas de suscetibilidade a alagamentos e inundações no perímetro urbano de Morada Nova-CE, por meio da análise multicritério de fatores ambientais, hidrológicos e antrópicos, com aplicação do método de Processo Analítico Hierárquico (AHP) para elaboração de uma carta de suscetibilidade, a fim de produzir uma ferramenta de apoio à tomada de decisão integrada de

planejamento. urbano, gestão dos recursos hídricos, saneamento básico e gestão de risco de desastres no município, adequada à escala e às características da área urbana.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar as áreas de suscetibilidade a inundações e alagamentos para a zona urbana de Morada Nova-CE, com uso do método Analytic Hierarchy Process (AHP), para construção de uma carta de suscetibilidade que auxilie a tomada de decisão estratégica em meio às mudanças climáticas.

### **2.2 Específicos**

- Selecionar e atribuir pesos aos critérios ambientais, hidrológicos e antrópicos por ordem de relevância para a suscetibilidade às inundações e alagamentos;
- Mapear registros reais de inundações e alagamentos no município de Morada Nova-CE;
- Aplicar o método AHP integrado ao SIG para elaboração de um mapa de suscetibilidade;
- Analisar comparativamente o mapeamento AHP e o mapeamento do Serviço Geológico do Brasil como ferramenta de previsão de áreas urbanas suscetíveis às inundações e aos alagamentos em Morada Nova.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Gestão de Recursos Hídricos e a Prevenção de Eventos Hidrológicos Extremos

A intensificação das mudanças climáticas interfere no regime de chuvas e na evaporação, o que resulta no aumento da frequência de eventos hidrológicos extremos, tais como inundações e secas. No Brasil, essas alterações geram incertezas sobre os cenários futuros da disponibilidade hídrica e alertam a gestão de recursos hídricos para a necessidade de adoção de medidas adaptativas para a prevenção e mitigação de eventos hidrológicos extremos, com abordagens integradas e em escalas adequadas de implantação (ANA, 2024).

A prevenção desses eventos é uma das problemáticas ambientais que possui múltiplos fatores e, por isso, necessita da integração de diversas políticas públicas, como: gestão de recursos hídricos, planejamento urbano e saneamento (Santos *et al.*, 2021).

No Brasil, a implementação de políticas públicas, planos e estratégias de ação de mitigação dos impactos das mudanças climáticas sobre o meio ambiente, especialmente sobre os recursos hídricos, avançou a partir da década de 1990, devido às intensas discussões e aos compromissos internacionais de cooperação ambiental firmados neste período (Ribas, 2025).

Dentre as inovações das políticas de recursos hídricos desenvolvidas neste período, está a instituição da bacia hidrográfica como unidade de gestão dos recursos hídricos, cuja definição é fundamental para a efetividade da política, pois os aspectos biogeográficos, físicos e socioeconômicos da bacia são fatores determinantes para a avaliação da disponibilidade hídrica e dos riscos de eventos hidrológicos extremos aos quais está sujeita a bacia (Silva Netto, 2022).

Além disso, a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei n.º 9.433/1997, visa a uma gestão de recursos hídricos integrada a políticas de uso do solo e gestão ambiental para a garantia do desenvolvimento sustentável e para a prevenção de eventos hidrológicos extremos (Brasil, 1997).

No entanto, a divergência entre as áreas de planejamento das diversas políticas públicas influencia a gestão de riscos hidrológicos, o que gera obstáculos para a integração efetiva destas políticas. Enquanto as inundações estão diretamente ligadas a características intrínsecas da bacia hidrográfica e são gerenciadas pela gestão dos recursos hídricos a nível da bacia, sob competência dos Estados e da União, os alagamentos resultam principalmente da

deficiência dos sistemas de drenagem urbana, que é um elemento do saneamento básico sob competência municipal (Tucci *et al.*, 2024).

Políticas públicas importantes para a mitigação e prevenção dos riscos hidrológicos, como as políticas de planejamento territorial e saneamento básico, são planejadas no território dos municípios e geram impactos que são transportados para a bacia, bem como decisões importantes sobre a gestão dos recursos hídricos são tomadas pelos comitês de bacias e irão impactar a dinâmica municipal. Assim, mesmo com representação dos municípios nos comitês de bacias, essa representação é limitada e inferior ao total de municípios que compõem a bacia, tornando-se insuficiente para promover a integração das políticas (Granjeiro; Ribeiro; Miranda, 2020; Tucci *et al.*, 2024).

A própria gestão de recursos hídricos apresenta fragilidades quanto ao seu gerenciamento para o combate dos eventos hidrológicos extremos, que em geral tem como foco principal o investimento em estruturas de segurança hídrica para mitigar os períodos de estiagem prolongada. De modo que, mesmo com o aumento de eventos de inundações e alagamentos no Brasil, verifica-se que os estados ainda não possuem planejamento nem capacidade técnica ou financeira para lidar com os impactos de cheias intensas (Farias; Mendonça, 2022; Silva *et al.*, 2024).

De maneira semelhante, a gestão do saneamento básico tem como principais obstáculos a deficiência da cobertura, a baixa compreensão dos atores envolvidos e a falta de recursos. Quando avaliada quanto à prevenção de inundações e alagamentos, a drenagem pluvial urbana é negligenciada pela gestão do saneamento e possui um conceito limitado que desconsidera as inundações urbanas (Silva *et al.*, 2024).

Na mesma perspectiva, a gestão ambiental, que desempenha função importante para a proteção dos recursos hídricos por meio da gestão do uso e ocupação do solo e no monitoramento e inibição da poluição ambiental, tem sua efetividade comprometida pela falta de estrutura institucional, deficiência de recursos financeiros e humanos e pelas interferências políticas (Peretta *et al.*, 2025).

Já as políticas de planejamento territorial são desafiadas pela compatibilização da constante expansão urbana com a prevenção da ocupação de áreas suscetíveis a inundações e alagamentos, bem como pela compatibilização dos usos de áreas de risco já ocupadas, com vista na mitigação dos impactos dos eventos de cheias (Ferraz, 2021).

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), apesar de ser uma política pública mais recente, também constitui um dos importantes pilares da prevenção de eventos hidrológicos extremos. Assim como as demais políticas, a PNPDEC prevê a

integração entre políticas públicas e reconhece a importância da bacia hidrográfica como unidade de gestão; no entanto, a bacia não é utilizada nos seus sistemas de informação para especialização dos dados. Embora essa política seja fortemente estruturada no nível municipal, os desafios da sua efetivação encontram-se na dependência financeira, técnica e operacional que os municípios têm em relação aos estados e à União (Dulac; Kobiyama, 2017).

Portanto, múltiplos fatores são entraves para a gestão de risco de desastres hidrológicos, desde a estagnação da universalização do saneamento básico às divergências de áreas de gestão, à falta de representação do município na gestão de recursos hídricos para discutir a implementação do saneamento básico e à ausência de controle sobre a ocupação de áreas de risco (Granjeiro; Ribeiro; Miranda, 2020; Santos *et al.*, 2021).


### 3.2 Desastres hidrológicos no semiárido cearense



As Cheias, inundações, enxurradas, alagamentos, enchentes, entre outros, são termos frequentemente utilizados para se referir a desastres hidrológicos, porém apresentam causas e consequências distintas (Brasil, 2022).

A fim de padronizar as notificações de desastres, a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) categorizou-os em desastres naturais (geológicos, hidrológicos, meteorológicos, climatológicos e biológicos) e desastres tecnológicos (relacionados a substâncias radioativas, relacionados a produtos perigosos, relacionados a incêndios urbanos, relacionados a obras civis e relacionados a transporte de passageiros e cargas não perigosas) (COBRADE, 2017).

Os desastres hidrológicos naturais, segundo a referida classificação, dividem-se nos subgrupos de inundações, enxurradas e alagamentos, e estão definidos no Quadro 1:

Quadro 1 - Classificação dos desastres hidrológicos

Subgrupo	Definição	Simbologia
Inundações	Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.	

Subgrupo	Definição	Simbologia
Enxurradas	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.	
Alagamentos	Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.	

Fonte: COBRADE (2017, com adaptações).

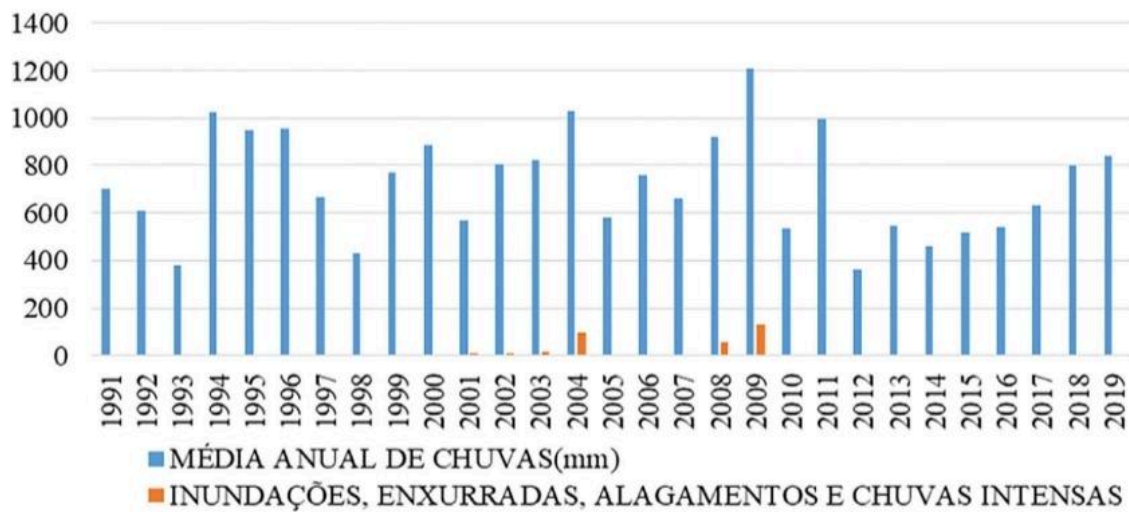
No semiárido cearense, a ocorrência de desastres hidrológicos está relacionada aos fenômenos climáticos. A alta variabilidade climática temporal e espacial do estado e a concentração de chuvas intensas no quadrimestre de fevereiro a maio devem-se principalmente ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical e à ocorrência do fenômeno La Niña (Ceará, 2021; Lima; Lira, 2021).

No entanto, outros fatores também influenciam as inundações e alagamentos no estado, como a deficiência de infraestrutura de drenagem urbana e as ocupações irregulares nas planícies de inundação (Ceará, 2022).

Dentre os municípios cearenses com maiores fragilidades a inundações, estão Senador Pompeu, Mombaça, Quixeramobim e Morada Nova, devido à presença dos rios Quixeramobim e Banabuiú no interior dos núcleos urbanos, estando entre os quarenta municípios do estado monitorados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2022; Costa; Oliveira; Santos, 2019).

Dados de monitoria de fenômenos e de desastres hidrológicos no estado indicam os anos de 2004, 2008 e 2009, em que houve a ocorrência de fenômenos La Niña, como anos em que a quadra chuvosa apresentou anomalias de chuva positiva, tendo como consequências desastres hidrológicos em diversos municípios cearenses, como ilustra a Figura 1, o que levou o estado a decretar Situação de Emergência (Ceará, 2021; Lima; Lira, 2021).

Figura 1 - Acumulado mensal de chuvas x desastres naturais no Ceará (1991-2019)



Fonte: Lima e Lira (2021, p. 613).

No Ceará, os desastres hidrológicos impactam a gestão de recursos hídricos, o meio ambiente, a economia e a sociedade, gerando desde prejuízos econômicos até óbitos, sendo necessário o estabelecimento de sistemas de alertas capazes de prevenir e mitigar a sua ocorrência (Ceará, 2018).

Dados do Programa Nacional de Vigilância em Saúde dos Riscos Associados aos Desastres (VIGIDESASTRES) indicam que foram registrados 172 desastres ao longo do ano de 2024, distribuídos entre 54 municípios cearenses. Dentre os desastres registrados, destacam-se as estiagens e secas (24,42%) e alagamentos (20,93%), em que os desastres hidrológicos resultaram em 52% dos danos às estruturas habitacionais e resultaram em desabrigados e desalojados, principalmente nos municípios de Santa Quitéria, Sobral, Morada Nova e São Luís do Curu (Ceará, 2025).

### 3.3 Fatores de influência de alagamentos e inundações em áreas urbanas

Embora as inundações estejam diretamente relacionadas ao regime de chuvas, a combinação de outros fatores naturais e antrópicos influencia na sua ocorrência em áreas urbanas, tais como a ocupação humana em áreas de várzea ou áreas de preservação permanente (Ferraz, 2021; Saito *et al.*, 2019; Yereseme; Surendra; Kuntoji, 2022).

As dinâmicas urbanas de impermeabilização dos solos e canalização de rios associadas aos sistemas de drenagem insuficientes e às condições topográficas que favorecem

o elevado escoamento superficial e o acúmulo de água em cotas mais baixas são fatores determinantes para eventos de inundações e alagamentos (Dionizio Júnior; Nascimento, 2023; Pimentel; Teixeira, 2023).

Diante disso, os tópicos a seguir descrevem como cada um dos fatores naturais e antrópicos contribui para a suscetibilidade a desastres hidrológicos em áreas urbanizadas.

### ***3.3.1 Altitude e declividade***

A declividade e a altitude são aspectos topográficos que determinam as condições de drenagem das bacias hidrográficas. Em terrenos fortemente ondulados, a água precipitada tem maior dificuldade em infiltrar no solo devido ao aumento da velocidade do escoamento superficial. Desse modo, bacias de drenagem declivosas têm menor tempo de concentração e, por isso, apresentam hidrogramas com vazão de pico elevada e concentrada (Brasil, 2022).

A inclinação do terreno, além de promover o aumento da velocidade de escoamento da água, direciona o fluxo do escoamento superficial das áreas de maior altitude para as áreas de menor altitude, promovendo o acúmulo de água em áreas mais baixas (Giacon Júnior, 2022; Pimentel; Teixeira, 2023).

### ***3.3.2 Pedologia***

Os solos desempenham funções fundamentais na regulação da dinâmica da água, armazenando água nos períodos de cheias, mitigando eventos de inundação e alimentando os corpos d'água nos períodos de cheias por meio do fluxo de base (Saco *et al.*, 2025).

O escoamento superficial, a permeabilidade e a capacidade de armazenamento de água são características do solo diretamente influenciadas pela sua composição e que têm significativa influência na ocorrência de desastres hidrológicos. Solos argilosos, que têm baixa permeabilidade, saturam-se rapidamente, o que propicia o escoamento superficial. Já solos arenosos têm maior porosidade e maior permeabilidade, que favorecem a infiltração da água mais do que solos argilosos; no entanto, a baixa coesão influencia no escoamento superficial. Além disso, a capacidade de infiltração e armazenamento da água no solo é potencializada pelo teor de matéria orgânica (Brasil, 2022; Ramalho, 2025; Saco *et al.*, 2025).

De acordo com Embrapa (2018) e Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005), as classes de solos brasileiros e seus atributos hidrológicos são definidos conforme o Quadro 2:

Quadro 2 - Atributos hidrológicos das classes de solos

Solos	Atributos hidrológicos
Argissolos	Solos com textura média ou arenosa têm profundidade variável; em geral, encontram-se em terrenos de declividade moderada. São solos com drenagem variada, desde forte até imperfeitamente drenados. Durante o período de cheia, a baixa condutividade hidráulica do horizonte B favorece o alto escoamento superficial.
Cambissolos	São solos pouco profundos com horizonte B em estágio inicial de formação, com alto potencial de escoamento superficial. Em geral, estão presentes em terrenos de baixa a alta declividade.
Latossolos	É caracterizado por solos profundos a muito profundos, com elevada porosidade, alta permeabilidade e bem drenados internamente, e baixo potencial de escoamento superficial.
Neossolos	São solos geralmente rasos em estágio inicial de formação e ocupam terrenos declivosos, a exemplo dos Neossolos Litólicos, que têm elevado potencial para o escoamento superficial, e Neossolos Regolíticos. Mas também apresentam solos profundos com elevado teor de areia, alta permeabilidade, como os Neossolos Quartzarênicos, ou situados nas margens dos rios, como os Neossolos Flúvicos.
Planossolos	A baixa porosidade e a permeabilidade limitada em subsuperfície conferem a estes solos um regime hídrico imperfeitamente ou mal drenado, favorecendo o elevado escoamento superficial.
Plintossolos	Em geral se localizam em relevos planos, onde o escoamento de água é reduzido, mas também podem ser localizados em regiões de melhor drenagem.

Fonte: Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005, com adaptações) e Embrapa (2018, com adaptações).

### 3.3.3 Precipitação

A precipitação é um fator ambiental de grande influência para a prevenção de eventos hidrológicos extremos, podendo causar impactos socioambientais negativos em curtos períodos de tempo quando ocorrem chuvas intensas (Brasil, 2022; Costa; Andrade, 2025).

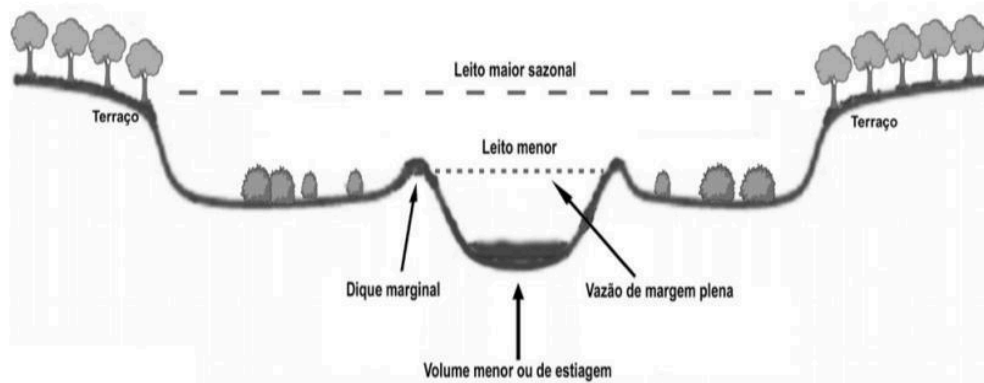
Precipitações intensas resultam no aumento do volume de água e podem ultrapassar a capacidade de infiltração da superfície, resultando no aumento do escoamento superficial, elevação do nível da água de recursos hídricos e sobrecarga de sistemas de drenagem. Em áreas urbanas, o aumento do volume precipitado representa um fator crítico para a ocorrência de inundações e alagamentos, devido à predominância de áreas impermeáveis (Conceição, 2023).

### 3.3.4 Proximidade aos recursos hídricos

As áreas marginais dos recursos hídricos são ambientes que desempenham funções essenciais, regulam a umidade do ar e a temperatura, retêm sedimentos, mitigam

inundações e determinam a morfologia dos corpos d'água. No entanto, essas áreas sofrem alterações sazonais de acordo com o aporte de água. Na Figura 2 mostra-se que, em períodos de cheias, o leito maior dos rios, também denominado como várzea dos rios, é inundado devido ao aumento do nível da água, e, no período de menor volume hídrico ou de estiagem, o nível da água fica restrito pelo dique marginal na área definida como leito menor (Bezerra; Carvalho, 2022; Piroli, 2022).

Figura 2 - Perfil transversal de um curso d'água com a dinâmica das cheias



Fonte: Piroli (2022, p. 37).

Devido a essas alterações sazonais, as áreas próximas aos recursos hídricos são áreas naturalmente mais suscetíveis a inundações e alagamentos, pois fazem parte dos caminhos preferenciais para o fluxo da drenagem da água durante chuvas intensas e períodos de cheias (Giacon Júnior, 2022; Pimentel; Teixeira, 2023; Souza, 2023).

Embora as inundações aconteçam naturalmente em áreas de várzea devido ao período de cheia dos rios, esse evento passa a ser um desastre natural quando atinge áreas ocupadas pelos seres humanos (Alves *et al.*, 2021).

Em ambientes urbanos, essas áreas de inundações sazonais dos recursos hídricos podem sofrer ampliação devido à impermeabilização do solo pela ocupação humana nas áreas de várzeas (Freire; Meyer, 2024).

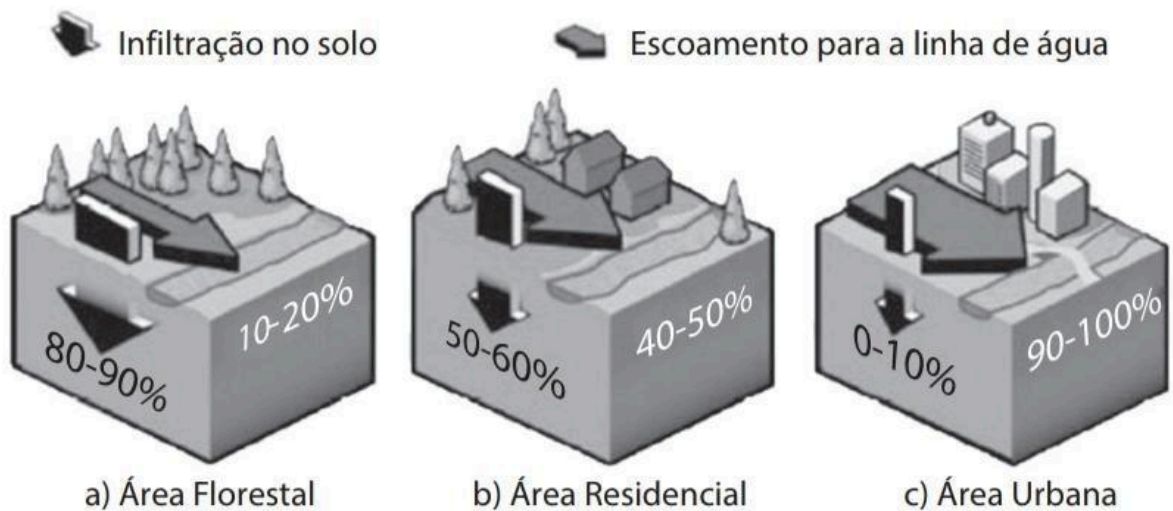
### 3.3.5 Uso e ocupação do solo

Os tipos de usos e cobertura do solo influenciam as taxas de infiltração da água no solo e no escoamento superficial. A ocupação de áreas de vegetação natural, que desempenham a função de amortecimento do pico de vazão em períodos de cheias, por áreas

pavimentadas e por sistemas de drenagem subdimensionados para acompanhar o crescimento urbano acelerado, contribui para a ocorrência de eventos de inundação e alagamentos (Leite *et al.*, 2024).

Na Figura 3, a urbanização aumenta as áreas impermeáveis, reduzindo a taxa de infiltração e favorecendo o escoamento superficial (Pimentel; Teixeira, 2023; Piroli, 2022).

Figura 3 - Alterações hidrológicas promovidas pela urbanização



Fonte: Piroli (2022, p. 106).

Quando as águas da chuva atingem o solo em áreas urbanizadas, a dinâmica natural da água é alterada. A baixa taxa de infiltração desse tipo de cobertura do solo reduz a recarga subterrânea, assim como o aumento do escoamento favorece a erosão do solo e o carreamento de material para os sistemas de drenagem naturais ou artificiais, degradando a qualidade das águas pluviais e sobrecarregando esses sistemas, resultando em inundações e alagamentos (Brasil, 2022; Silva *et al.*, 2024).

Outros fatores inerentes às áreas urbanizadas tornam essas áreas mais suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações, como: o descarte inadequado de resíduos sólidos em vias públicas, encostas e rios, que diminui a capacidade dos sistemas de drenagem pluvial; a adoção de canais retificados como medida estrutural de prevenção de alagamentos, que apenas transferem a problemática para as áreas a jusante. Além disso, as infraestruturas urbanas, como estradas, redes de coleta de esgotos e redes de drenagem, dividem a bacia natural de drenagem em sub-bacias menores, que colapsam mais rapidamente com chuvas de menores intensidades (Brasil, 2022).

### **3.3.6 Adensamento populacional**

Embora os estudos relacionem a ocorrência de inundações mais a fatores como urbanização e precipitação, a densidade populacional é um fator que também deve ser analisado. O adensamento populacional pressiona os recursos naturais e impacta o equilíbrio ambiental do solo e do microclima, por meio das intervenções na cobertura vegetal, da impermeabilização do solo e da canalização dos cursos d'água. Além disso, a densidade populacional é um parâmetro essencial para a previsão de cenário de drenagem urbana (Carvalho, 2022; Duarte; Santos; Castelhana, 2021; Ramos Filho, 2022; Sousa; Santos, 2019).

Em geral, o aumento da densidade populacional em áreas suscetíveis a desastres naturais é impulsionado pela pressão imobiliária sobre as áreas com condições ambientais mais adequadas à ocupação humana, o que direciona a maior parte da população para áreas menos valorizadas, como encostas, planícies de inundações, margens de corpos d'água e áreas com deficiência de sistemas de drenagem (Aragão *et al.*, 2017; Brasil, 2022).

## **3.4 Mapeamento de desastres hidrológicos e o método AHP**

Inundações urbanas são desastres naturais, também classificados como desastres hidrológicos, influenciados por fatores climáticos antropogênicos e globais. A gestão de risco desses desastres incluem análises de risco, vulnerabilidade e suscetibilidade de ocorrências (Yereseme; Surendra; Kuntoji, 2022).

Nesse sentido, o risco consiste na probabilidade de perdas ambientais, econômicas e sociais, além de manter a relação de dependência com o perigo, a vulnerabilidade e a exposição. A vulnerabilidade refere-se aos fatores do sistema ou comunidade que geram efeitos adversos e intensificam os danos. Enquanto a suscetibilidade é definida como a predisposição do local à ocorrência desses eventos (CEMADEN, 2018; Santa Catarina, 2024; Yereseme; Surendra; Kuntoji, 2022).

As estratégias fundamentais para o gerenciamento de risco de desastres englobam medidas estruturais e não estruturais para proteção de eventos hidrológicos extremos, devendo ser priorizadas medidas de prevenção, gerenciamento e mitigação dos impactos, enquanto medidas de proteção total ainda não são tangíveis (Vojtek *et al.*, 2021).

No cenário de gestão de desastres hidrológicos, o mapeamento e monitoramento das dinâmicas temporais das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos são ferramentas de apoio indispensáveis para a tomada de decisões do poder público relativas à antecipação de

evacuação de áreas de risco e alocação de recursos (Cechim Júnior *et al.*, 2020; Gossler, 2023; Kaya; Derin, 2023).

Segundo Sharma *et al.* (2022), mapas de suscetibilidade são uma abordagem indicada para estudos preliminares de prevenção de eventos hidrológicos extremos, pois podem ser elaborados com volume menor de dados do que mapas de risco ou de perigo, que requerem a combinação de todos os fatores de influência. No entanto, de acordo com Gharakhanlou e Perez (2022), a precisão de mapas de suscetibilidade pode ser aumentada se for incorporada maior quantidade de condicionantes de controle do evento.

Processo Analítico Hierárquico (AHP) é um dos métodos de Apoio à Decisão Multicritério (MCDM) mais utilizados para o mapeamento de áreas de suscetibilidade de inundações e alagamentos, pois é uma ferramenta de fácil aplicação e baixo custo que possibilita a avaliação de múltiplos fatores, ainda que em condições de deficiência de informações (Kaya; Derin, 2023; Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022).

O método AHP consiste em um método matemático desenvolvido por Thomas L. Saaty, em meados da década de 1970, em que os fatores são hierarquizados de acordo com a avaliação de importância relativa. O método permite a utilização de fatores qualitativos e quantitativos para a tomada de decisão, realizando a atribuição de importância dos fatores por escala numérica de importância em comparação par a par com os demais fatores (Chicombo; Moreira, 2024; Hurtado, 2023).

### **3.5 Impactos e estratégias de prevenção e mitigação das inundações e alagamentos na área urbana de Morada Nova**

O centro urbano de Morada Nova se desenvolveu ao longo das Áreas de Preservação Permanente do rio Banabuiú e do lago Benício Chagas, popularmente conhecido como lagoa da Salina. Inicialmente, o processo de ocupação foi orientado na direção de oeste a sul pela transposição da rua Bartolomeu Aquino dos Santos, e posteriormente ao norte da rua Coronel José Ambrósio (Ceará, 2018; Ceará, 2020).

A mudança da cobertura dos solos do centro urbano de Morada Nova é evidenciada na comparação de registros fotográficos do entorno do lago Benício Chagas, ponto turístico importante para o município, como demonstram as Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Lagoa da Salina na década de 1960



Fonte: Morada Nova Antiga (2020).

Figura 5 - Lagoa da Salina em 2024



Fonte: Morada Nova, Ceará (2024).

A ocupação indevida de áreas de várzea associada à impermeabilização de solos favorece a ocorrência de desastres hidrológicos e resulta em danos ao meio ambiente, à saúde, à economia, à segurança e às infraestruturas. Ainda o estresse térmico das ilhas de calor urbanas durante episódios de inundações pode atrair chuvas convectivas e ampliar a magnitude pela formação de tempestades de ventos, gerando ciclones desastrosos (Fernandes; Palhares, 2024).

A urbanização do município ocorreu principalmente em áreas planas e com menores altitudes, suprimindo a drenagem natural e aterrando pequenos corpos d'água, como representados na Figura 6.

Figura 6 - Evolução da ocupação do Bairro 2 de Agosto ao longo de cinco décadas



Fonte: Morada Nova Antiga (2023).

Os registros fotográficos de inundações e alagamentos de Morada Nova indicam que esses desastres são recorrentes na história do município. A Figura 7 demonstra o impacto imediato das cheias do rio Banabuiú nas áreas de várzea do curso d'água na década de 60 no centro de Morada Nova: famílias desabrigadas e a redução da mobilidade e tráfego de pessoas.

Figura 7 - Alagamento em Morada Nova no ano de 1964



Fonte: Morada Nova Antiga (2020).

A fim de mitigar os riscos de inundações em períodos de cheias, as medidas estruturais adotadas para Morada Nova foram a construção de um dique, que funciona como uma barragem auxiliar, à margem esquerda do rio Banabuiú, situado ao sul do perímetro urbano da sede municipal, que prevenia a inundação de assentamentos que se instalaram nas áreas de várzea do rio ao longo das décadas de 60 e 70. No entanto, a intervenção intensificou a ocorrência de alagamentos na região devido ao represamento das águas precipitadas na bacia de contribuição do trecho urbano do rio, que escoam das áreas de maior altitude para as de menor altitude e se acumulam nas áreas mais planas, entre o adensamento urbano e o dique construído (Ceará, 2020).

Registros da década de 1980 demonstram que as áreas centrais do município permaneceram sendo afetadas por eventos hidrológicos críticos, conforme Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8 - Alagamento do terminal rodoviário de Morada Nova em 1984



Fonte: Foto de Morada Nova, Ceará (2020).

Figura 9 - Alagamento da Rua Manoel de Castro, Centro de Morada Nova, em 1984



Fonte: Foto de Morada Nova, Ceará (2020).

Figura 10 - Alagamento da Rua Francisco Monteiro Maia, Morada Nova, em 1984



Fonte: Foto de Morada Nova, Ceará (2020).

Embora inundações e alagamentos ocorram anualmente no município durante o período chuvoso da região, apenas eventos de maior magnitude, como as cheias de 2004 e 2009, são indicados na plataforma digital de desastres da Defesa Civil (Atlas Digital de Desastres no Brasil, 2025).

Além dos danos ao meio ambiente e risco à saúde da população, a ocorrência destes eventos por longos períodos pode resultar em mortes e ferimentos; propagar doenças de veiculação hídrica, devido à contaminação da água por efluentes e substâncias tóxicas; interromper as atividades econômicas e os serviços essenciais, como transporte público, fornecimento de energia elétrica e saneamento básico; provocar perdas de patrimônio público e privado; e desabrigar a população atingida (Farias; Mendonça, 2022; Gharakhanlou; Perez, 2022; Yereseme; Surendra; Kuntoji, 2022).

De acordo com a Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento da Casa Civil da Presidência da República (2023), estima-se que 5.549 habitantes de Morada Nova estão em áreas de risco hidrogeológico, como deslizamentos de terra, alagamentos, enxurradas e inundações.

Conforme o Atlas Digital de Desastres no Brasil (2025), durante o desastre hidrológico de 2004 em Morada Nova, cerca de 6 mil pessoas ficaram desalojadas e houve R\$ 10 milhões em danos materiais. Enquanto no evento de 2009 houve danos ainda maiores, com cerca de 13,4 mil desalojados e aproximadamente R\$ 38 milhões de prejuízos públicos, sendo cerca de 94% deste prejuízo relacionado ao abastecimento de água.

Entre os eventos recentes não inseridos no Atlas Nacional está o desastre hidrológico de 2024. Segundo Ramires (2024) e Ceará (2024a), este evento teve como principais fatores de contribuição as precipitações acima do previsto e o rompimento de barragens de reservatórios de pequeno porte na região de Morada Nova, que resultou em inundações e alagamentos de parte da área urbana do município e impactou cerca de mil famílias, das quais 150 famílias ficaram desabrigadas, e paralisou temporariamente serviços de telefonia e transporte, entre os dias 19 e 21 de abril de 2024. De acordo com as notícias, as áreas urbanas afetadas pelo evento hidrológico foram os bairros: Parque de Exposição, 2 de agosto, Pedra e Cal e Padre Assis Monteiro.

Diante de cenários críticos como esses, a gestão de risco de desastres hidrológicos é ferramenta essencial para prevenção e mitigação de impactos, em que priorizam-se a conservação do meio ambiente associada a ações estruturais, como sistemas de drenagem urbana, e ações não estruturais, como planos de evacuação, sistemas de alertas, projetos de educação das populações vulneráveis, mapeamentos topográficos e simulações de desastres (Castro, 2023; Ferreira *et al.*, 2025; Fernandes; Palhares, 2024; Pelegrini, 2021).

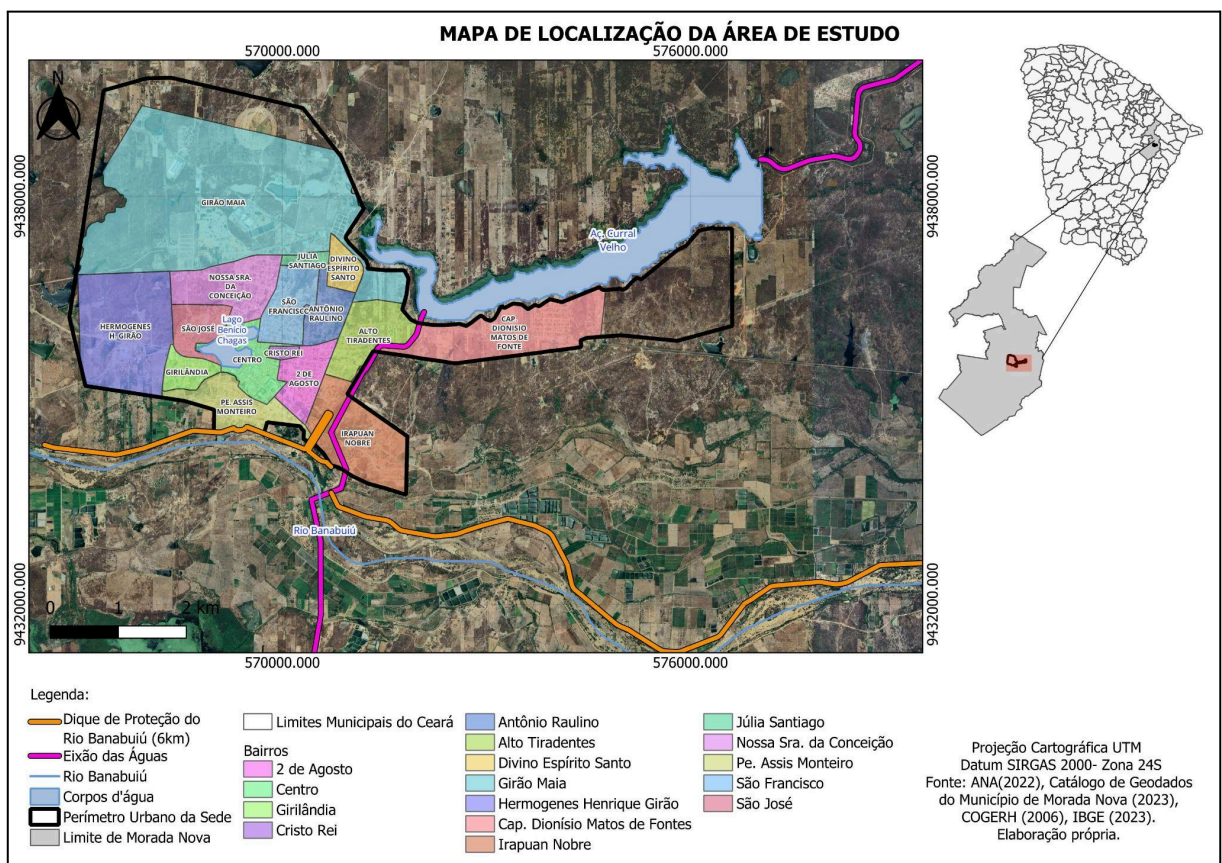
Assim, as medidas estruturais adotadas pelo município consistem no dique de barramento de cheias do rio Banabuiú e em um canal de drenagem que atravessa os bairros Centro, Padre Assis Monteiro e 2 de Agosto, além da execução de aberturas emergenciais do dique do canal que compõe o Eixão das Águas para o escoamento da água acumulada na área urbana do município, sendo realizado por gravidade e por bombeamento para o canal, que é uma importante obra de transferência hídrica da Bacia do Jaguaribe para a Região Metropolitana de Fortaleza. Já como medidas não estruturantes, têm-se a Carta de Suscetibilidade à Inundação do SGB e o Plano de Contingência de Inundações de Morada Nova (Ceará, 2020; Morada Nova, 2025; 2024).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Localização da Área de Estudo

O estudo abrangeu a análise da suscetibilidade a inundações e alagamentos do perímetro urbano da sede do município de Morada Nova-CE, localizado nas coordenadas UTM, 569551 m Leste e 9435511 m Norte, SIRGAS 2000, zona 24 S, no centro-leste do Ceará. A área analisada possui 24,46 km<sup>2</sup> de extensão e contempla catorze bairros e um trecho urbano do Eixão das Águas, importante obra de transferência hídrica do estado. Além disso, no limite inferior da área urbana localiza-se um trecho do dique de proteção contra inundações do rio Banabuiú (Ceará, 2020; IPECE, 2025).

Figura 11 - Localização e delimitação do perímetro urbano da sede de Morada Nova-CE



Fonte: elaborado pelo autor.

Este município possui 2.779 km<sup>2</sup> de extensão territorial e está inserido na Microrregião de planejamento do Baixo Jaguaribe. Apresenta clima tropical quente semiárido, com temperaturas médias anuais de 26°C a 28°C e período chuvoso entre os meses de

fevereiro a abril, umidade relativa do ar que varia entre 50 e 70%, taxas de evaporação elevadas de cerca de 2.660 mm/ano e precipitação média anual entre 615 e 750 mm (Ceará, 2020; IPECE, 2025).

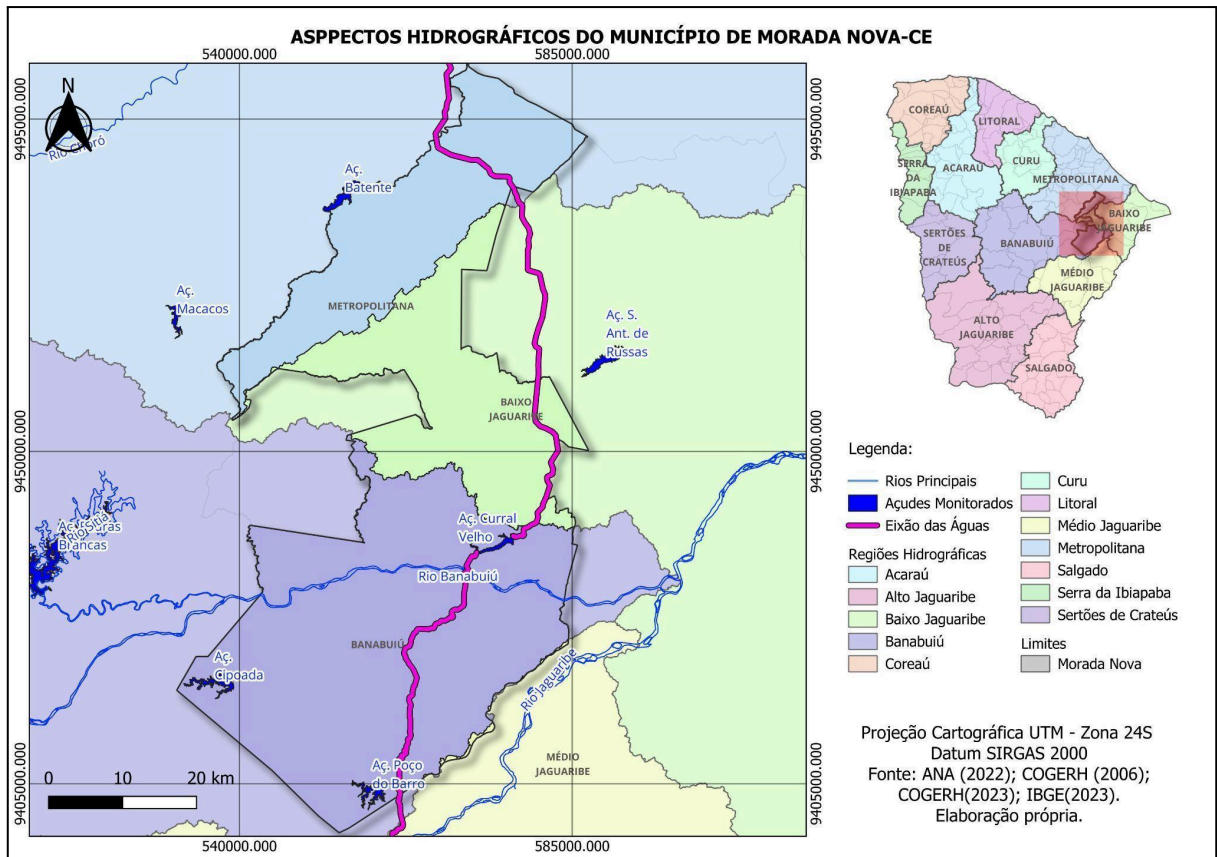
O relevo da região é caracterizado por planície ribeirinha, serras secas, sertões e tabuleiros interiores, com altitude média de 89 m, solos formados pelos Argissolos, Neossolos, Planossolos e com vegetação nativa formada pela Caatinga Arbustiva Aberta, Caatinga Arbustiva Densa e Complexo Vegetacional da Zona Litorânea (IPECE, 2025).

Ainda com base no Ipece (2025), o município possui uma população estimada de 61.443 habitantes, dos quais cerca de 52% residem no perímetro urbano da sede, que é a área de estudo desta pesquisa. A economia da região baseia-se no setor de serviços, que contribui com 55,2% no Valor Adicionado Bruto (VAB), seguido pela indústria (27,0%) e pela agropecuária (17,8%).

A economia da região advém da contribuição do setor primário, uma vez que o município está inserido na “mancha fértil” do semiárido nordestino, sendo contemplado com 25% dos projetos de assentamento do Vale do Jaguaribe, dos quais se destaca o Perímetro Irrigado ao longo da planície aluvial do rio Banabuiú (Ceará, 2018a).

Conforme a Figura 12, o município é contemplado com infraestruturas hídricas importantes para a garantia da segurança hídrica do Estado, tais como o canal do Eixão das Águas e o reservatório Curral Velho, que integram o sistema de transferência hídrica do Açude Castanhão para a Região Metropolitana de Fortaleza (Ceará, 2018a).

Figura 12 - Características hidrográficas de Morada Nova - CE



Fonte: elaborado pelo autor.

Os aspectos hidrográficos do município são fatores de grande relevância para a economia local, pois estão inseridos na Bacia Hidrográfica do Jaguaribe (BHJ) e situados em três das cinco regiões hidrográficas que compõem a BHJ, sendo elas a Região Hidrográfica do rio Banabuiú, Região Hidrográfica do Baixo Jaguaribe e a Região Hidrográfica do Médio Jaguaribe, além de compreender parte da Região Hidrográfica Metropolitana (Ceará, 2020; IPECE, 2025).

A infraestrutura urbana do município apresenta pavimentação por pedra tosca nas vias secundárias e revestimento asfáltico nas vias principais e arborização urbana caracterizada pela distribuição irregular. Na esfera do saneamento básico, o município apresenta contraste entre os percentuais de cobertura do abastecimento de água (98,73%) e os percentuais de cobertura da coleta de esgoto doméstico (5,04%), sendo estimado que 40% dos efluentes gerados no município são lançados sem tratamento no Lago Benício Chagas, popularmente conhecido como Lagoa da Salina. Ademais, o manejo de resíduos sólidos no município ainda é realizado de maneira inadequada, com a disposição final em lixões, embora

o aterro sanitário consorciado esteja em construção e a coleta seletiva tenha sido implementada (Ceará, 2018a; Ceará, 2020).

## 4.2 Estruturação e Aplicação do Modelo Multicritério

A pesquisa realizada consiste numa análise multicritério de dados geoespaciais secundários, baseada no mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e alagamentos realizado por Pessoa Neto, Silva e Barbosa (2022), que utiliza a metodologia Processo de Análise Hierárquica e ferramentas de geoprocessamento.

Este trabalho está estruturado em cinco etapas, que consistem na seleção dos fatores condicionantes; no levantamento e processamento dos dados; na reclassificação dos fatores; na aplicação da metodologia AHP; e na elaboração e validação do mapa de suscetibilidade.

### 4.2.1 Seleção dos Fatores Condicionantes

A seleção dos fatores de influência direta ou indireta nos eventos hidrológicos de inundações e alagamentos foi realizada a partir da revisão bibliográfica de vinte estudos relacionados à utilização do método Processo de Análise Hierárquica (AHP) em conjunto com Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para mapeamento de áreas suscetíveis a inundação ou inundação e alagamento, Quadro 3.

Quadro 3 - Síntese dos fatores de influência utilizados nos estudos analisados

Estudo	Área de Estudo	Suscetibilidade	Fatores de Influência Utilizados (Critérios)
Gossler (2023)	Rolante (RS)	Inundação	Declividade, Altitude, Uso e Ocupação do Solo, Distância do Recurso Hídrico, Tipo de Solo
Pessoa Neto (2022)	Jaboatão dos Guararapes (PE)	Inundação e Alagamento	Declividade, Hipsometria, Uso e Ocupação do Solo, Pedologia, Distância entre Corpos Hídricos, Variabilidade de Precipitação, Densidade Urbana
Goulart e Matsuoka (2021)	Área urbana de Uberlândia (MG)	Inundação e Alagamento	Declividade, Tipos de Solo, Cobertura, NDVI, Densidade Urbana, e uso e cobertura do solo).
Lima <i>et al.</i> (2025)	Recife (PE)	Inundação	Pluviometria, declividade, altitude, pedologia, uso e ocupação do solo.

<b>Estudo</b>	<b>Área de Estudo</b>	<b>Suscetibilidade</b>	<b>Fatores de Influência Utilizados (Critérios)</b>
Cury <i>et al.</i> (2021)	Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga (SC)	Inundação	Declividade, altitude, ordem dos rios e uso e cobertura da terra.
Eberle, Cemin, Schneider (2024)	Perímetro urbano de Caxias do Sul (RS)	Inundação e Alagamento	Altitude, declividade, distância das vias de acesso, distância dos cursos d'água, pedologia e uso e ocupação do solo.
Chicombo, Moreira (2024)	Distrito de Chókwe, Moçambique	Inundação	Altitude, proximidade de canais de drenagem, índice topográfico de umidade (TWI), declividade, pedologia, litologia.
Giacon Junior (2022)	Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê (SP)	Inundação	Altimetria, curvatura, densidade de drenagem, distância interfluvial, embasamento geológico, inclinação, orientação das vertentes, Grupo Hidrológico de Solo (SGH), solo, TWI, cobertura da terra e uso do solo.
Alves <i>et al.</i> (2024)	Bacia do Lago Igapó	Inundação	Acumulação de fluxo, distância ao canal de descarga, altitude, declividade, tipo de cobertura do solo.
Ramos (2021)	Bacia do Rio Mundaú (AL)	Inundação	Altitude e declividade.
Conceição (2023)	Área urbana de Maceió (AL)	Inundação e Alagamento	Uso do solo, declividade, intensidade pluviométrica e solos
Hurtado (2023)	Sinop (MT)	Alagamento	Altitude, declividade tipos de solos e densidade de urbanização.
Fernandes, Palhares (2024)	Montes Claros (MG)	Inundação	Altitude, declividade, uso do solo e classes de solo.
Nascimento, Dinizio Junior (2025)	Aracaju (SE)	Inundação e Alagamento	Índice pluviométrico, cobertura do solo, hipsometria e declividade.
Lima (2024)	Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe (AL/PE)	Inundação	Declividade, altitude, tipos de solo, uso e ocupação do solo.
Portela <i>et al.</i> (2023)	Bacia hidrográfica do rio Sirinhaém (PE)	Inundação	Declividade, altitude, tipos de solo, uso e ocupação do solo.
Silva <i>et al.</i> (2024)	Ipatinga (MG)	Inundação	Declividade, altitude, tipos de solo, uso e ocupação do solo.
Mira, Silva (2023)	Sub-bacia do Alto-Médio Rios Mogi Guaçu e Pardo (MG)	Inundação	Declividade, altitude, uso da terra.
Oliveira, Barcellos, Silva (2022)	Duque de Caxias (RJ)	Inundação	Declividade, altitude, uso e ocupação do solo.
Oliveira <i>et al.</i> (2022)	Itambacuri (MG)	Inundações e Alagamentos	Declividade, altitude, acumulação de fluxo e uso e ocupação do solo.

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da revisão da literatura, optou-se para este estudo pelos fatores condicionantes de inundação e alagamentos mais utilizados; são eles: declividade, altitude, uso e ocupação do solo, pedologia, distância dos recursos hídricos, precipitação e densidade populacional, que correspondem aos fatores mais recorrentes nos estudos avaliados.

#### 4.2.2 Levantamento e processamento dos dados

A obtenção dos dados espaciais para a aplicação da metodologia foi realizada por fontes oficiais e solicitação de arquivos geoespaciais aos órgãos municipais responsáveis pelo Catálogo de Geodados Municipal, Quadro 4.

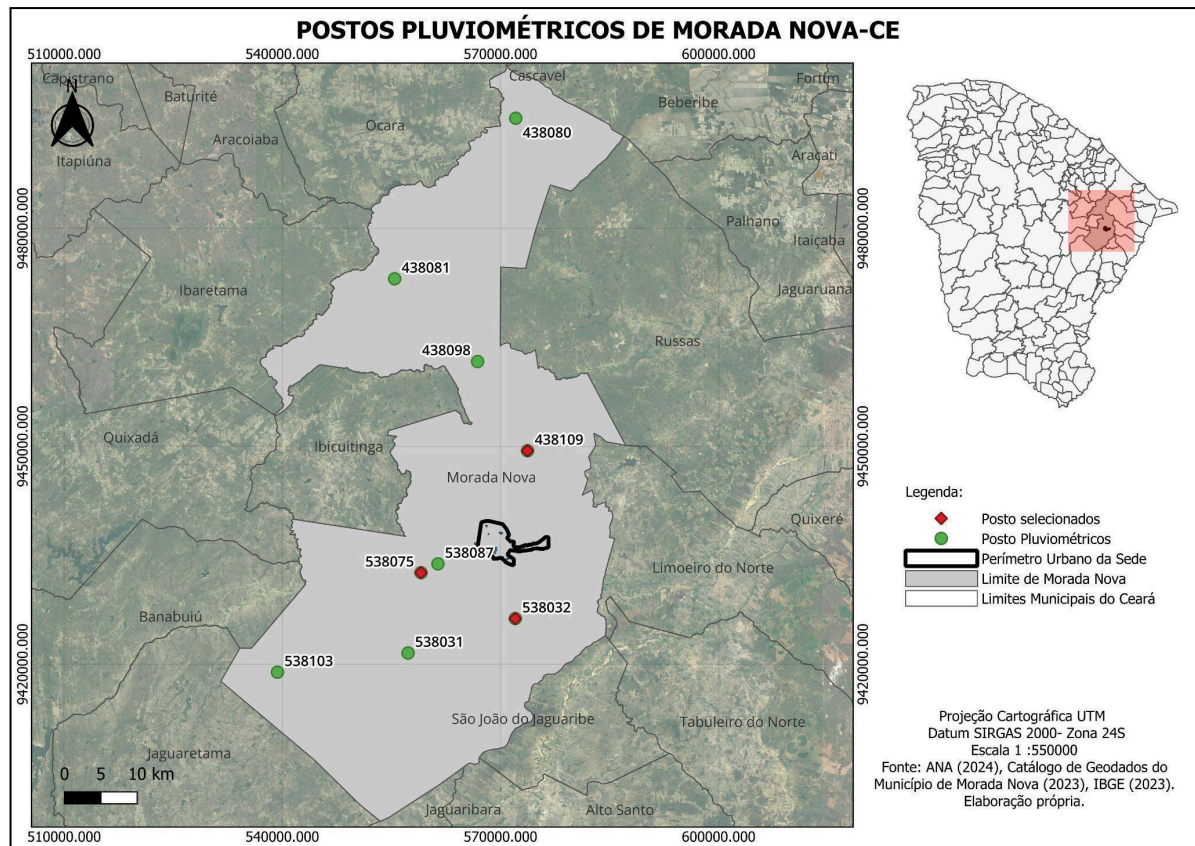
Quadro 4 - Fontes de dados dos fatores de influência utilizados

Fatores	Tipos de arquivos	Fonte
Declividade	Raster	Modelo Digital de Elevação do projeto TOPODATA do INPE (2008)
Altitude	Raster	Modelo Digital de Elevação do projeto TOPODATA do INPE (2008)
Uso e ocupação do solo	Raster	Coleção 10 de Cobertura e Usos da Terra - MapBiomas (2024)
Pedologia	Vetor	IBGE (2023)
Proximidade aos recursos hídricos	Vetor	Hidrografia, espelho d'água e drenagem da ANA (2022) e do Catálogo de Geodados Municipal
Índices de precipitação	csv.	Dados pluviométricos da ANA (2024)
Densidade Populacional	csv.	Dados Censitários do IBGE (2022)

Fonte: elaborado pelo autor.

Para os dados de precipitação, aplicou-se tratamento prévio devido à densidade dos dados e às falhas nas séries históricas. Assim, identificaram-se os postos pluviométricos de Morada Nova, Figura 13, e estabeleceram-se os seguintes critérios de seleção: postos pluviométricos ativos próximos à área de influência que iniciaram a operação anterior ao intervalo de estudo, de 2005 a 2024, e que possuíam menos falhas na série histórica dos últimos 20 anos.

Figura 13 - Postos pluviométricos de Morada Nova - CE



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da aplicação dos critérios de seleção, obteve-se 4 postos pluviométricos, dos quais um deles foi descartado devido à proximidade com um dos postos e uma vez que apresentava muitas falhas na série histórica. Portanto, este estudo tomou como referência os postos pluviométricos convencionais, na Tabela 1.

Tabela 1 - Postos pluviométricos próximos à área de estudo

Código	Nome	Sub-bacia	Responsável	Operadora	Início	Coordenadas UTM	
						x	y
438109	Lagoa da Serra	Rio Jaguaribe	FUNCEME	FUNCEME	31/12/2004	-38,335	-4,981
538032	Morada Nova	Rio Jaguaribe	FUNCEME	FUNCEME	31/12/1973	-38,35	-5,19
	Fazenda						
538075	Lacraia	Rio Jaguaribe	FUNCEME	FUNCEME	31/12/2001	-38,467	-5,133

Fonte: elaborado pelo autor.

Para o preenchimento de falhas da série histórica de precipitação total anual, optou-se pelo método da ponderação regional devido à simplicidade e por ser um método

recomendado para o preenchimento de dados mensais e anuais, conforme Pinto *et al.* (2017). Os dados de medições pluviométricas dos postos vizinhos foram aplicados na Equação 1:

$$P_m = \frac{\Sigma(\frac{P_{xm}}{P_{im}} \times P_i)}{N_p} \quad (1)$$

Em que, segundo Diaz, Pereira e Nobrega (2018),  $P_m$  corresponde à precipitação a ser estimada,  $P_{xm}$  é a precipitação média do posto que apresenta falhas,  $P_{im}$  é a precipitação média dos postos vizinhos,  $P_i$  a precipitação mensal do posto vizinho do mês em análise, e  $N_p$  o número de postos vizinhos considerados como referência para o preenchimento das falhas.

Após preenchimento de falhas, obtiveram-se os dados das precipitações anuais elencados na Tabela 2.

Tabela 2 - Série histórica de precipitação total anual

Anos	Precipitações Totais Anuais		
	Lagoa da Serra	Morada Nova	Fazenda Lacreia
2005	427,00	481,20	663,00
2006	1070,00	653,10	719,60
2007	711,00	607,90	682,70
2008	851,00	767,00	847,55
2009	1211,00	1019,50	1135,20
2010	752,34	615,30	752,10
2011	1186,50	880,80	1030,10
2012	447,50	134,30	237,90
2013	684,90	480,20	696,70
2014	471,60	515,60	488,20
2015	585,00	266,50	553,60
2016	478,70	282,00	380,70
2017	577,17	363,70	661,00
2018	845,40	829,60	908,10
2019	661,50	601,90	716,50
2020	886,20	944,60	860,40
2021	624,80	412,30	609,00
2022	1083,00	1170,50	1194,60
2023	622,90	714,20	837,10
2024	900,80	880,80	1074,90

Anos	Precipitações Totais Anuais		
	Lagoa da Serra	Morada Nova	Fazenda Lacraia
Média	753,92	631,05	752,45

Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, foi atribuída a uma camada de pontos a média anual de cada posto. Com o auxílio do *software QGIS*, versão 3.36, sistema de coordenadas *UTM* e sistema de referência SIRGAS 2000, Zona 24S, foi aplicada a ferramenta de interpolação do Inverso da Distância Ponderada (IDW) na camada de pontos para obtenção do mapa de distribuição espacial da precipitação.

Da mesma forma, outros fatores, como declividade e proximidade aos recursos hídricos, foram obtidos a partir do processamento de dados secundários. Para a obtenção dos dados de declividade em percentual, utilizou a ferramenta Raster “declividade” no arquivo de altitude do MDE do projeto TOPODATA do INPE (2008).

Para a obtenção das proximidades aos recursos hídricos, utilizaram-se as ferramentas buffer nos arquivos vetoriais de espelho d'água, hidrografia e drenagem da ANA (2022) e do Catálogo de Geodados Municipal.

Para os cursos d'água internos ao perímetro urbano, a ferramenta buffer com as distâncias definidas nas classes listadas na seção a seguir. O buffer foi aplicado diretamente ao arquivo vetorial de linhas devido à característica de intermitência dos cursos d'água internos ao perímetro urbano de Morada Nova, em que os cursos d'água possuem leitos secos durante a maior parte do ano, bem como a ferramenta buffer foi aplicada diretamente aos arquivos de espelho d'água.

No entanto, para o rio Banabuiú, que é um curso d'água perenizado localizado adjacente ao perímetro urbano com influência significativa nos eventos de inundações da área de estudo, foi delimitada manualmente a calha do leito regular por meio de inspeção visual das imagens de satélites do *Google Earth Pro* no período de estiagem mais recente.

Em seguida, foi realizada a união dos arquivos buffer dos respectivos intervalos de classes de distância pela literatura e listados na Tabela 4 da seção a seguir.

#### **4.2.3 Reclassificação dos Fatores**

Após a etapa de tratamento dos dados, foi realizada a reclassificação dos fatores de influência no *software QGIS*, com aplicação inicial da ferramenta de rasterização das

camadas de vetores, padronizando todos os arquivos raster para a resolução espacial de 30 m. Na sequência, foram definidos os intervalos de classes de cada fator e atribuídas as notas de suscetibilidade para cada classe com base na revisão de literatura dos valores de estudos de Gossler (2023), Pessoa Neto, Silva, Barbosa (2022) e Giacon Júnior (2022), que avaliam a suscetibilidade, vulnerabilidade ou risco à inundação.

A atribuição de notas consistiu em reclassificar cada classe dos fatores, atribuindo notas de 1 a 10, de acordo com a sua contribuição para a suscetibilidade a inundações e alagamentos, em que 1 indica a menor suscetibilidade e 10 a maior, conforme consulta aos estudos citados anteriormente.

A reclassificação conforme os fatores selecionados e sua pontuação está destacada na Tabela 3.

Tabela 3 - Reclassificação dos fatores condicionantes

<b>Fatores</b>	<b>Classes</b>	<b>Notas</b>
Declividade (%)	0 - 3	10
	3 - 8	8
	8 - 20	4
	20 - 45	2
Hipsometria (m)	0 - 5	10
	5 - 10	9
	10 - 15	8
	15 - 20	7
	20 - 35	6
	35 - 50	5
	50 - 75	4
	75 - 100	3
	100 - 175	2
	175 - 250	1
Pedologia	Área Urbana	10
	Corpo D'Água Continental	10
	Argissolos Vermelho	7
	Neossolos Flúvicos	4
	Neossolos Litólicos	4
Cobertura e Uso da Terra	Formação florestal	1
	Formação savânica	2
	Mosaico de usos	4
	Pastagem	6
	Outras lavouras temporárias	4
	Outras lavouras perenes	4

Fatores	Classes	Notas
	Outras áreas não vegetadas	5
	Área Urbanizada	8
	Rio, lago e oceano	10
Proximidades dos recursos hídricos (m)	0 - 150	10
	150 - 300	8
	300 - 500	3
	500 - 1.000	2
	> 1.000	1
Precipitação média anual (mm)	≤ 694	1
	694 - 698	2
	698 - 702	3
	702 - 706	4
	706 - 710	5
	710 - 714	6
	714 - 718	7
	718 - 723	8
	723 - 727	9
Densidade populacional (hab/km <sup>2</sup> )	> 727	10
	≤ 146	1
	146-284	2
	284-423	3
	423-561	4
	561-699	5
	699-837	6
	837-975	7
	975-1114	8
1114-1252	9	
> 1252	10	

Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.2.4 Aplicação do método AHP

Na etapa de aplicação da metodologia de AHP, os fatores de influência foram hierarquizados, julgados e comparados a partir de uma matriz pareada para determinação da importância de cada fator quanto aos eventos hidrológicos avaliados nesta pesquisa, Quadro 5, no qual  $a_{ij}$  é o valor de intensidade de importância do fator da linha  $i$  em relação à coluna  $j$ , bem como se considera para a matriz de comparação pareada que  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

Quadro 5 - Construção da matriz de comparação par a par dos critérios

Fator	Fator 1	Fator p	...	Fator m
Fator 1	1	$a_{1p}$	...	$a_{1m}$
Fator p	$a_{p1}$	1	...	$a_{pm}$
...	...	...	...	...
Fator m	$a_{m1}$	$a_{mp}$	...	1

Fonte: Pessoa Neto, Silva, Barbosa (2022, com adaptações).

A apreciação ocorreu com base na revisão de literatura, considerando as características físicas e hidrológicas do município de Morada Nova - CE, sendo utilizada a escala de importância dos fatores de Saaty (1990), representada no Quadro 6.

Quadro 6 - Escala de importância de Saaty

Valores de intensidade da importância	Descrição da importância	Explicação
1	Igual	Os dois atributos contribuem equitativamente.
3	Moderada	Experiência e julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro.
5	Essencial ou forte	Experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro.
7	Muito forte	Um atributo é fortemente favorecido e seu domínio é demonstrado na prática.
9	Extrema	A evidência que favorece um atributo em relação ao outro é da mais alta ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Há uma condição intermediária entre os dois atributos.

Fonte: Saaty (1990, com adaptações).

Após a atribuição dos valores de importância, foram obtidos os pesos de cada fator a partir do valor normalizado do autovetor, Quadro 7, em que o autovetor foi obtido por meio da média geométrica dos valores de cada linha da matriz de comparação pareada (Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022).

Quadro 7 - Determinação dos pesos dos fatores a partir do autovetor

Fator	Fator 1	Fator p	...	Fator m	Autovetor	Pesos ( $\omega$ )
Fator 1	1	$a_{1p}$	...	$a_{1m}$	$\overline{g}_1 = \sqrt[m]{a_{11} \times a_{1p} \times \dots \times a_{1m}}$	$\omega_1 = \frac{\overline{g}_1}{S}$
Fator p	$a_{p1}$	1	...	$a_{pm}$	$\overline{g}_p = \sqrt[m]{a_{p1} \times a_{pp} \times \dots \times a_{pm}}$	$\omega_p = \frac{\overline{g}_p}{S}$
...	...	...	...	...	...	...
Fator m	$a_{m1}$	$a_{mp}$	...	1	$\overline{g}_m = \sqrt[m]{a_{m1} \times a_{mp} \times \dots \times a_{mm}}$	$\omega_m = \frac{\overline{g}_m}{S}$
Soma ( $\omega S$ )	$\sum_{i=1}^m a_{i1}$	$\sum_{i=1}^m a_{ip}$	...	$\sum_{i=1}^m a_{im}$	$S = \sum_{i=1}^m \overline{g}_i$	1

Fonte: Pessoa Neto, Silva, Barbosa (2022, com adaptações).

Em seguida, realizou-se a avaliação da consistência da matriz de julgamentos por meio do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC), em que deverão ser obtidos valores de RC menor ou igual a 10% para assegurar a coerência dos pesos atribuídos aos fatores avaliados. Para o cálculo do IC, na Equação 2, o  $\lambda_{max}$  corresponde ao autovalor máximo da matriz de julgamento; e  $n$  é o número de fatores (Conceição, 2023).

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (2)$$

O  $\lambda_{max}$  foi obtido a partir da Equação 3, em que  $\omega S_i$  é o vetor soma indicado no Quadro 5,  $\omega_i$  representa os pesos atribuídos por fator  $i$  e  $n$  é o número de fatores da matriz de julgamento (Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\omega S_i}{\omega_i} \quad (3)$$

Para o cálculo da Razão de Consistência, Equação 4, considera-se a divisão do Índice de Consistência e o Índice de Consistência Randômica da matriz (Gossler, 2023).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

O Índice de Consistência Randômica da matriz, por sua vez, é determinado de acordo com a ordem da matriz, conforme Tabela 4 (Saaty, 2002).

Tabela 4 - Índice de Consistência Aleatória

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (2002).

#### 4.2.5 Geração, validação e análise do Mapa de Suscetibilidade

Após as etapas de reclassificação dos fatores e de atribuição e validação dos pesos, utilizou-se a ferramenta de calculadora raster para a aplicação da álgebra de mapas, em que se aplica a Equação 5, para a obtenção do raster de suscetibilidade a inundações e alagamentos, com valores de pixel variando de 0 a 10.

$$M = \omega_D * D + \omega_H * H + \omega_O * O + \omega_S * S + \omega_A * A + \omega_P * P + \omega_U * U \quad (5)$$

Sendo M o valor de suscetibilidade a inundações e alagamentos,  $\omega$  é o peso calculado para cada fator, D é o fator declividade, H é o fator altitude, O é a cobertura e uso da terra, S é a pedologia, A é a proximidade aos recursos hídricos, P é a precipitação média anual, U é a densidade populacional (Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2022).

A partir do arquivo raster de suscetibilidade obtido, é realizada a reclassificação da camada para a elaboração do mapa temático, considerando cinco classes de suscetibilidade, seguindo a classificação de Pessoa Neto, Silva e Barbosa (2022) e Conceição (2023) indicada na Tabela 5.

Tabela 5 - Classes de suscetibilidade

Classificação	Valor de Suscetibilidade (AHP)	Descrição
Muito Baixa	$AHP \leq 2$	Áreas fortemente influenciadas pela declividade elevada, que impede o acúmulo de água.
Baixa	$2 < AHP \leq 4$	Áreas com alguns fatores atenuantes, tais como alta permeabilidade, cobertura vegetal remanescente ou em regeneração.
Média	$4 < AHP \leq 6$	Regiões que possuem uma combinação de características favoráveis, como declividade

Classificação	Valor de Suscetibilidade (AHP)	Descrição
		acentuada, e fatores atenuantes, como solos permeáveis e cobertura vegetal.
Alta	$6 < \text{AHP} \leq 8$	Áreas que reúnem alguns fatores favoráveis e que necessitam de monitoramento e que podem ser atenuadas por estrutura de drenagem adequada.
Muito Alta	$8 < \text{AHP} \leq 10$	Abrangem todos os fatores favoráveis para ocorrência de desastres hidrológicos, em que predomina área de planícies de inundação, áreas edificadas e próximas aos recursos hídricos.

Fonte: Pessoa Neto, Silva, Barbosa (2022, com adaptações); Conceição (2023, com adaptações).

Em seguida, avaliaram-se os percentuais das áreas de suscetibilidade do perímetro urbano do município e sua distribuição por bairro.

A validação do mapa de suscetibilidade a inundações e alagamentos obtido pela metodologia AHP procedeu-se a partir da comparação com um mapa de inventário, utilizando a ferramenta de contagem de pontos por polígonos do *QGIS*, com identificação das classes de localização dos pontos de ocorrências reais. Assim, comparou-se a acurácia do mapeamento do SGB em relação ao mapa de inventário.

A comparação dos mapas de suscetibilidade com os registros reais do mapa de inventário considerou os pontos localizados em classes altas e muito altas como acertos, conforme a metodologia de Pessoa Neto (2022), e os pontos localizados em outras classes indicaram inconsistência. Em seguida, obteve-se a Acurácia do mapa.

A elaboração do mapa de inventário foi realizada por meio da geocodificação de registros reais de inundações e alagamentos obtidos a partir de informações adquiridas junto às redes sociais e sites locais de notícias, uma vez que os órgãos municipais de infraestrutura, meio ambiente e defesa civil não dispõem de um mapeamento de pontos reais de ocorrência dos eventos hidrológicos analisados.

Para isso, foram realizadas buscas nas redes sociais, Instagram e Facebook, por registros fotográficos de inundações e alagamentos em Morada Nova referentes aos eventos hidrológicos mais recentes, ocorridos no ano de 2024, e ao alerta de desastres hidrológicos mais recente registrado oficialmente pelo Atlas Digital de Desastres no Brasil, que corresponde ao ano de 2009. Para o ano de 2024, foram utilizadas as strings de busca: “Morada Nova” *AND* “2024” *AND* “chuvas” *OR* “alagamento” *OR* “inundação” *OR* “enchente”. Enquanto, para os registros de 2009, utilizou-se: “Morada Nova” *AND* “2009” *AND* “chuvas” *OR* “alagamento” *OR* “inundação” *OR* “enchente”.

Realizou-se a comparação entre o mapa de suscetibilidade AHP e a carta de suscetibilidade à inundação de Morada Nova elaborada pelo SGB (2014) que apesar de denominar o mapeamento como suscetibilidade à inundação, a metodologia adotada pelo SGB considera que o termo inundações inclui os alagamentos. A metodologia adotada na elaboração dos mapas do SGB consiste no cruzamento da suscetibilidade geral por fatores morfométricos da sub-bacia hidrográfica com dados de modelagem *Height Above the Nearest Drainage* (HAND), por meio de lógica booleana, com recorte para áreas de planície e terraço (Bitar, 2014).

A comparação entre os mapas foi realizada adaptando a metodologia de Pessoa Neto (2022), na qual são considerados como acertos as áreas de interseção das classes alta e muito alta do mapa AHP e alta do mapa do SGB. Já as áreas de alto risco pelo mapa do SGB que não fizerem interseção com as classes alta ou muito alta do AHP foram consideradas como áreas de omissão, Equação 6.

$$(SGB - SGB \cap AHP) \quad (6)$$

Do mesmo modo, as áreas classificadas como alto e muito alto no AHP que não tiverem interseção com a classe de alto risco do mapa do SGB foram consideradas como áreas de comissão, Equação 7.

$$(AHP - SGB \cap AHP) \quad (7)$$

Por fim, calculou-se a acurácia geral do mapeamento do método AHP em relação ao SGB a partir da Equação 8, em que relaciona a área de acerto e a área de inundação (alto risco) do mapa do SGB.

$$Acurácia = \frac{SGB \cap AHP}{SGB} \times 100 \quad (8)$$

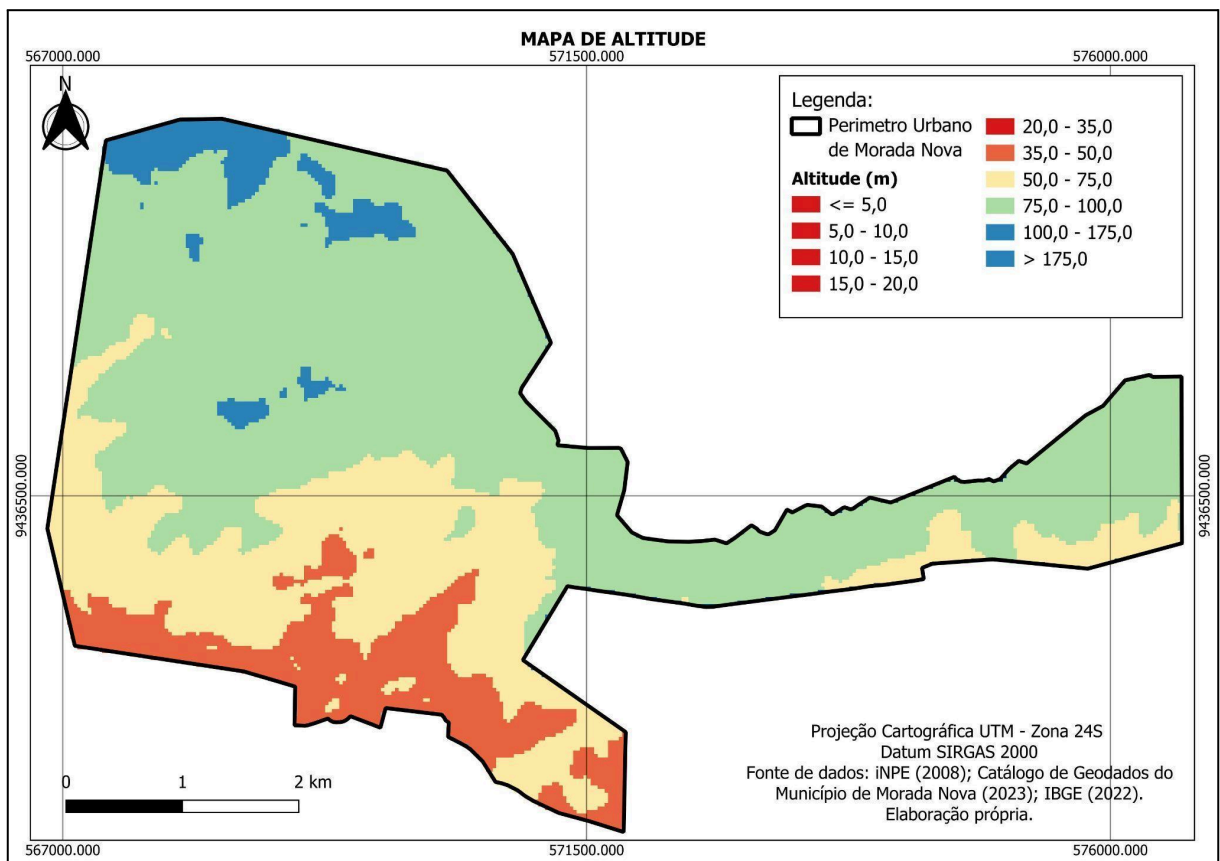
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise dos fatores condicionantes

#### 5.1.1 Altitude

De acordo com a análise de altitude da área de estudo, apresentada na Figura 14, o perímetro urbano de Morada Nova mostrou altitudes que variam entre 35 e 175 m, estando majoritariamente (57,93%) na classe de 75 a 100 m de altitude, conforme a Tabela 6.

Figura 14 - Caracterização hipsométrica da área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Percentuais de altitude

Fator	Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Altitude (m)	35 - 50	2,75	11,24%
	50 - 75	6,46	26,41%
	75 - 100	14,17	57,93%

<b>Fator</b>	<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Taxa percentual (%)</b>
	100 - 175	1,08	4,43%
		Total 24,46	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor.

Destaca-se que a altitude da área analisada decresce da metade superior do mapa em direção à região sul, o que é esperado, uma vez que adjacente à região de menor altitude está localizado o rio Banabuiú, que é o rio principal da região hidrográfica. Conforme Piroli (2022), o fluxo da drenagem das águas de uma bacia segue por gravidade em direção ao rio principal, que se encontra nas menores altitudes do relevo.

Segundo Ramos (2021), devido a esse fluxo de escoamento das áreas mais altas para as mais baixas, as áreas de menor altitude tornam-se mais propensas a inundações. Portanto, a análise da distribuição da altitude na área de estudo na Figura 14 sugere que a região sul do perímetro urbano teria maior suscetibilidade a inundações.

### **5.1.2 Declividade**

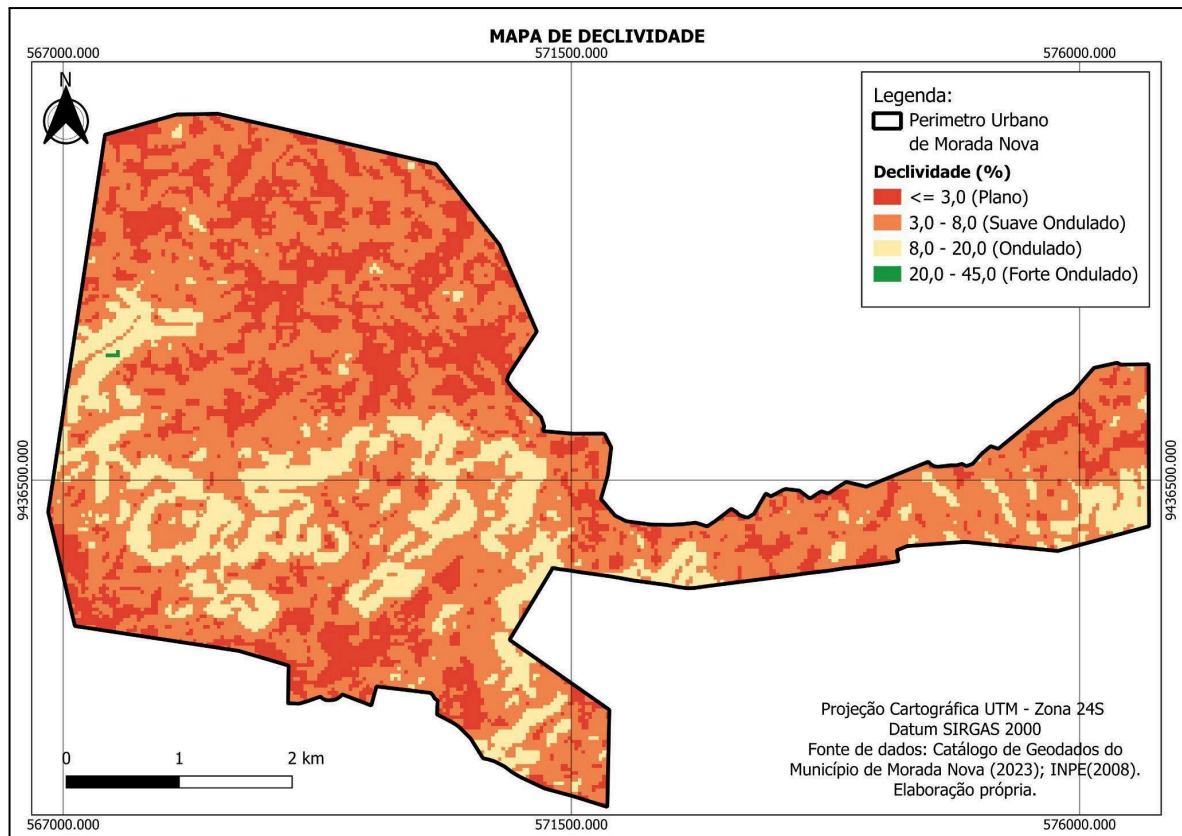
A caracterização da área quanto ao fator declividade, representado na Figura 15, demonstra que a área urbana da sede municipal tem relevo de plano a ondulado, com predomínio de área de declividade inferior a 20%, com cerca de 71,6% da área total de estudo com declividade inferior a 8%, como indicado na Tabela 7.

Tabela 7 - Percentuais de declividade

<b>Fator</b>	<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Taxa percentual (%)</b>	
Declividade (%)	0 - 3 (Plano)	5,73	23,43%	
	3 - 8 (Suave Ondulado)	14,22	58,15%	
	8 - 20 (Ondulado)	4,50	18,40%	
	20 - 45 (Forte Ondulado)	0,01	0,03%	
		Total	24,46	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 15 - Caracterização da declividade do relevo



Fonte: elaborado pelo autor.

Tais características de baixa declividade conferem à área urbana uma maior vulnerabilidade geomorfológica a inundações e alagamentos, uma vez que, conforme Conceição (2023), terrenos planos ou suavemente ondulados reduzem a velocidade de escoamento superficial e favorecem o acúmulo de água.

Trabalhos similares, de mapeamento de suscetibilidade a inundações e alagamentos em regiões que predominam baixas declividades, apontam este fator como uma das características ambientais de maior influência para a ocorrência de eventos hidrológicos extremos.

Em Oliveira, Barcellos e Silva (2021), a baixa declividade, inferior a 8%, associada às baixas altitudes, foram fatores determinantes para classificação de áreas de alta suscetibilidade. Para Pessoa Neto, Silva, Barbosa (2022) e Silva *et al.* (2025), as altas suscetibilidades a inundações e alagamentos são fortemente influenciadas pela combinação de áreas com baixas declividades com o fator de proximidade aos recursos hídricos.

De mesmo modo, Nascimento e Dinizio Junior (2025) apresentaram em seu estudo que 86% dos pontos de alagamentos estavam localizados em áreas com declividades

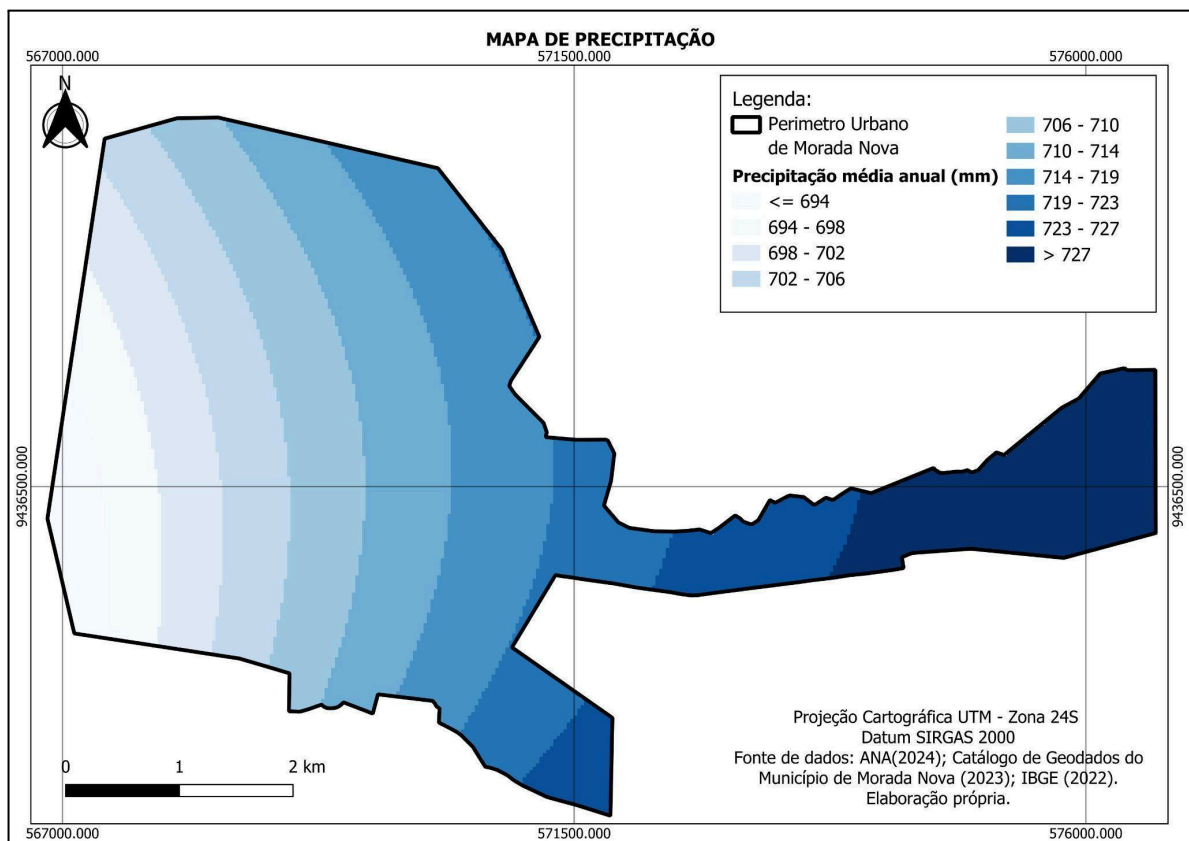
inferiores a 8%, o que corrobora as relações de maior suscetibilidade a inundação em áreas de baixa declividade.

Além disso, Oliveira *et al.* (2022) reforçam que regiões de baixa declividade e próximas aos recursos hídricos são frequentemente afetadas pelos processos de urbanização, corroborando para o aumento da vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos.

### 5.1.3 Índice de Precipitação

A análise da distribuição espacial da precipitação média anual da área urbana de Morada Nova, Figura 16, revela que, apesar da baixa variação de precipitação na área de estudo, as áreas a oeste do perímetro urbano têm precipitações mais elevadas, o que pode favorecer o aumento dos níveis de recursos hídricos nessa região (Conceição, 2023).

Figura 16 - Distribuição espacial da precipitação média anual



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme a Figura 16 e a Tabela 8, observa-se que predomina na área de estudo a precipitação média anual entre 702-718 mm. Embora não representem índices de precipitação

elevada quando comparadas a outras regiões do país, em municípios do semiárido as precipitações têm concentração sazonal.

Tabela 8 - Percentuais de precipitação média anual

Fator	Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Precipitação média anual (mm)	≤ 694	0,82	3,37%
	694 - 698	1,47	6,01%
	698 - 702	2,10	8,59%
	702 - 706	2,71	11,08%
	706 - 710	3,22	13,16%
	710 - 714	3,65	14,92%
	714 - 718	3,99	16,31%
	718 - 723	2,33	9,54%
	723 - 727	1,48	6,05%
	>727	2,68	10,96%
	Total	24,46	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor.

Em regiões semiáridas, a precipitação é um fator significativo tanto para a inundação, pois implica na elevação dos níveis dos recursos hídricos, quanto para os alagamentos, pois precipitações intensas e concentradas em curto período aumentam o escoamento superficial e contribuem para o acúmulo em áreas planas (CEPED, 2013).

A ocorrência de precipitações elevadas em áreas urbanizadas com elevada impermeabilização dos solos e infraestrutura de drenagem insuficiente são fatores determinantes para a ocorrência de alagamentos nessas regiões (Lima *et al.*, 2025).

Assim, os estudos de Giacom Junior (2022), Lima (2024) e Pessoa Neto (2022) indicam a influência da precipitação na suscetibilidade do município como relevante para a análise de áreas críticas, mas que deve ser analisada em conjunto com fatores geomorfológicos e antrópicos.

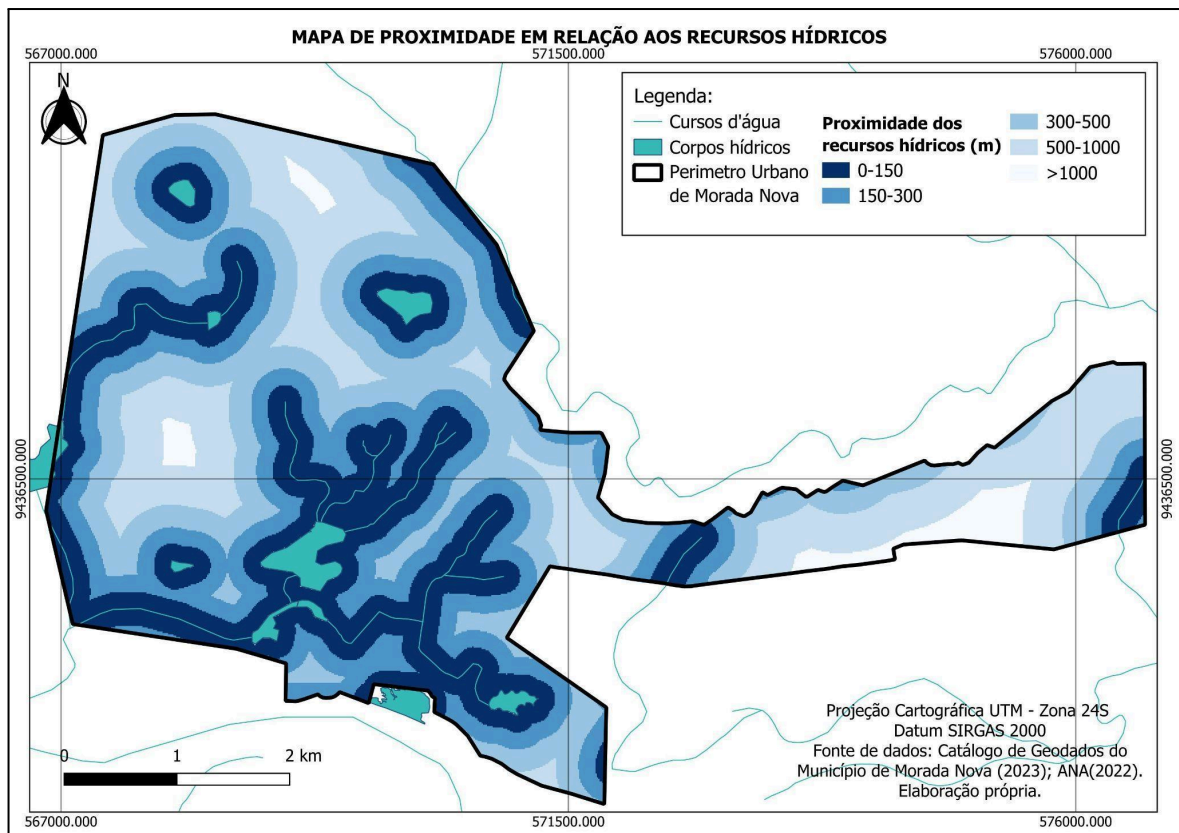
### 5.1.4 Proximidade em relação aos recursos hídricos

A análise da proximidade dos recursos hídricos urbanos é um fator importante para a identificação de áreas sensíveis a eventos de inundação e alagamentos em regiões semiáridas, devido à frequente antropização das planícies de inundação destes corpos d'água no período de estiagem (Santos, 2024).

As áreas do entorno dos recursos hídricos desempenham importantes funções ecológicas para a manutenção dos ecossistemas aquáticos, do fluxo de base dos recursos hídricos em períodos de estiagem e para a contenção de inundações, sendo consideradas como Áreas de Preservação Permanente pelo Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012).

Na área urbana do município de Morada Nova, conforme ilustrado na Figura 17, verifica-se a presença de cursos d'água intermitentes e lagos urbanos compondo a drenagem da área urbana central.

Figura 17 - Distância em relação aos recursos hídricos



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme a Tabela 9, cerca de 27,1% do perímetro urbano do município está a menos de 150m de distância de algum recurso hídrico. Em geral, essas áreas são classificadas como áreas de várzea, que apresentam vulnerabilidade natural à inundação nos períodos de cheias, mas devido a processo de urbanização e impermeabilização podem se tornar suscetíveis a alagamentos (Freire; Meyer, 2024).

Tabela 9 - Percentuais de distância em relação aos recursos hídricos

<b>Fator</b>	<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Taxa percentual (%)</b>
Proximidades dos recursos hídricos (m)	0 - 150	6,63	27,10%
	150 - 300	5,73	23,42%
	300 - 500	6,22	25,44%
	500 - 1.000	5,20	21,25%
	> 1.000	0,68	2,79%
Total		24,46	100,00%

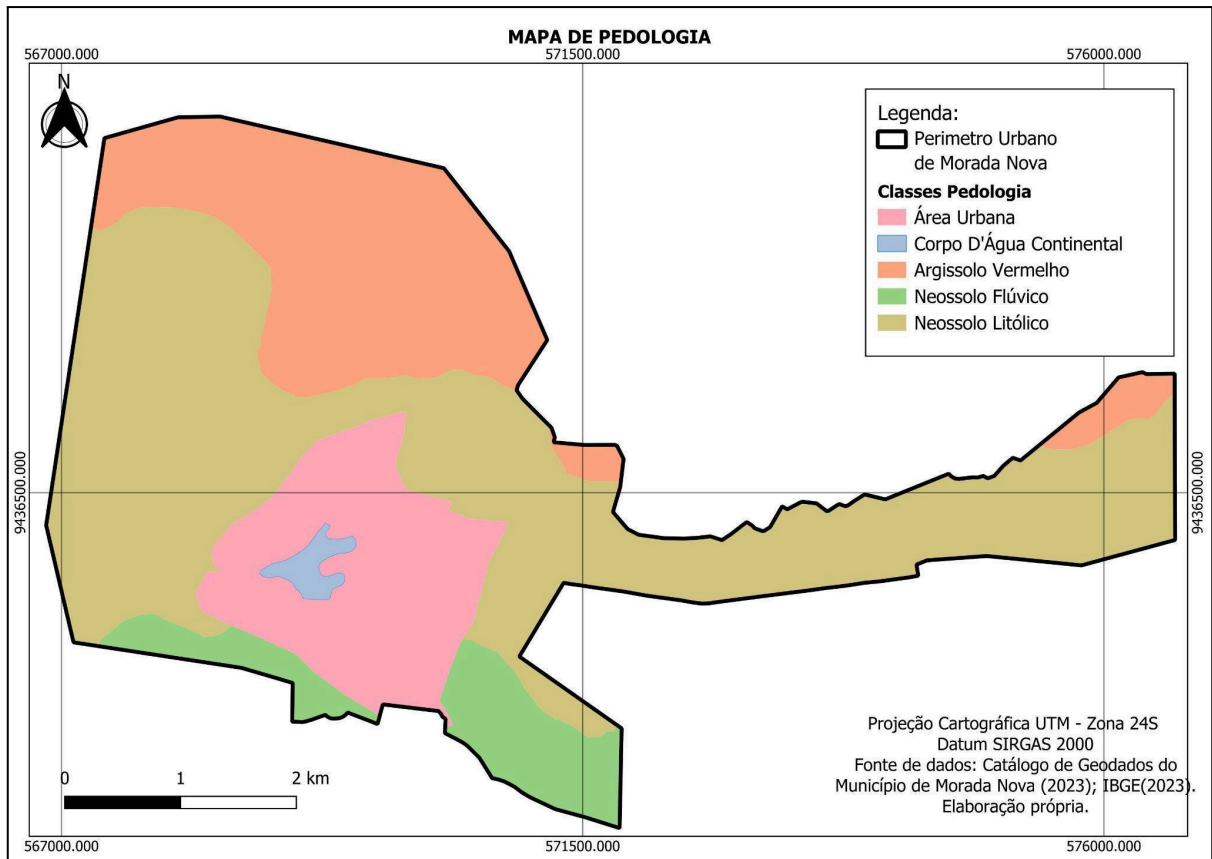
Fonte: elaborado pelo autor.

Em estudos semelhantes à presente pesquisa, como os de Giacon Júnior (2022), Pessoa Neto (2022) e Gossler (2023), a proximidade em relação aos recursos hídricos é considerada como fator de grande influência para a suscetibilidade a inundação e alagamentos, tendo seus efeitos agravados pela ocupação antrópica.

### **5.1.5 Pedologia**

As características do solo da área de estudo indicam a distribuição vertical da região superior até a região inferior, seguindo a distribuição de altitude, em que se tem Argissolo Vermelho na área de maior altitude, Neossolo Litólico nas áreas de altitude intermediária e Neossolo Flúvico nas áreas mais baixas, Figura 18.

Figura 18 - Caracterização dos tipos de solo



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 10 indica que mais de 50% da região possui Neossolo Litólico, seguido dos Argissolos Vermelhos (24,04%).

Tabela 10 - Percentuais de tipos de solo

Fator	Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Pedologia	Corpo D'Água Continental	0,23	0,94%
	Área Urbana	3,74	15,29%
	Argissolos Vermelho	5,88	24,04%
	Neossolos Litólicos	12,67	51,80%
	Neossolos Flúvicos	1,94	7,93%
Total		24,46	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor.

Ambos os solos da região favorecem a ocorrência de desastres hidrológicos. As áreas urbanizadas, embora tenham um dos menores percentuais de área, são solos amplamente

impermeáveis que podem acentuar a ocorrência de alagamentos na região por se localizarem em regiões de altitude mais baixas (Brasil, 2022; Silva *et al.*, 2024).

Além disso, entre os solos mais suscetíveis da região estão os Argissolos Vermelhos, que geralmente são solos profundos a muito profundos, com menor número de vazios e baixa capacidade de infiltração, o que torna estes solos impermeáveis e contribui para o aumento do escoamento superficial (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005; Embrapa, 2018)

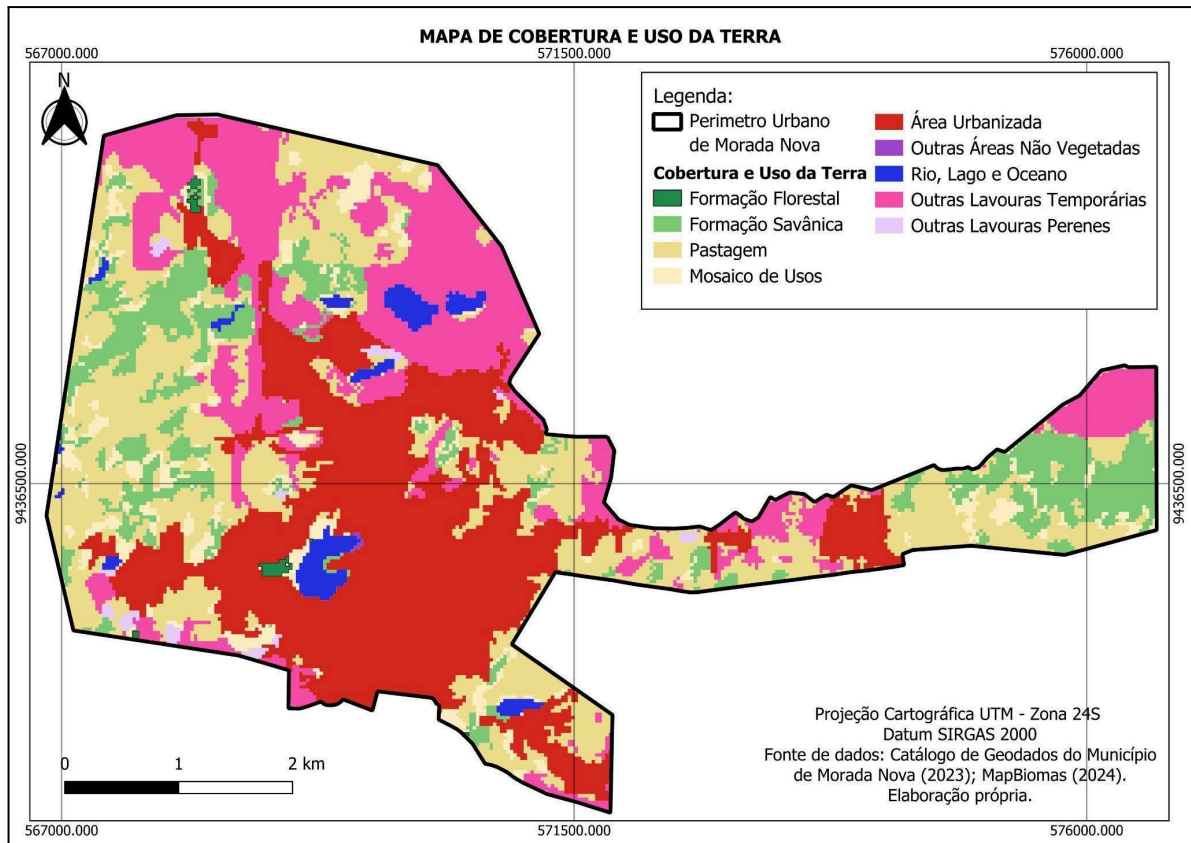
A presença deste tipo de solo nas áreas de maior altitude da região de estudo pode potencializar o alagamento e a inundação nas áreas mais baixas da bacia de drenagem. Já os Neossolos Litólicos, que são os solos predominantes (51,80%) na região de estudo, apresentam média suscetibilidade aos eventos hidrológicos extremos, pois são solos rasos e pedregosos e têm sua suscetibilidade relacionada à baixa capacidade de armazenamento de água infiltrada (Ceará, 2024b; Giacon Júnior, 2022; Conceição, 2023).

Ainda que percentuais menores, os Neossolos Flúvicos (7,93%), assim como os Neossolos Litólicos, têm média suscetibilidade; sua influência à inundação tem como fator determinante a alta variabilidade de textura e a drenagem restrita. A presença deste tipo de solo, na região mais baixa e plana da área urbana de Morada Nova, pode favorecer a ocorrência de desastres hidrológicos neste ponto da área de estudo (Ceará, 2024b).

### ***5.1.6 Cobertura e usos da terra***

Na Figura 19, verifica-se que a área urbanizada concentra-se, em sua maioria, na área central, em altitude mais baixa em relação ao entorno e com declividade de plano a suave ondulado. Conforme Oliveira (2023), essas características, quando sobrepostas, a alta suscetibilidade desse tipo de cobertura do solo potencializa e torna as áreas mais suscetíveis à ocorrência de desastres hidrológicos, devido à drenagem das águas das áreas mais altas e declivosas para as regiões de menor altitude e mais planas, reduzindo a velocidade de escoamento superficial e promovendo o acúmulo de água em áreas planas com solos impermeáveis.

Figura 19 - Caracterização da cobertura e uso da terra



Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se, ainda pela análise da Figura 19, que as áreas de formação florestal e formação savânica, que são coberturas do solo menos suscetíveis a desastres hidrológicos, são escassas na zona urbana do município, e as poucas áreas de remanescente de vegetação nativa existentes estão localizadas nas áreas mais periféricas e estão cercadas por áreas de pastagem e outras lavouras temporárias. Sugerindo que, além da esperada expansão das áreas urbanizadas sob a vegetação nativa, as atividades agropecuárias, uma das principais atividades econômicas do município, segundo o Ipece (2025), podem estar atuando como vetor de pressão para a substituição da cobertura vegetal remanescente no município.

A partir da análise da Tabela 11, observa-se que os usos e coberturas do solo mais significativos da região de estudo são áreas urbanizadas (30,42%), pastagem (27,88%) e outras lavouras temporárias (21,38%), ambas classes de cobertura de média a alta suscetibilidade a inundações e alagamentos.

Tabela 11 - Percentuais de cobertura e usos da terra

<b>Fator</b>	<b>Classe</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Taxa percentual (%)</b>
Cobertura e Uso da Terra	Formação florestal	0,06	0,25%
	Formação savânica	2,82	11,53%
	Mosaico de usos	1,41	5,76%
	Pastagem	6,82	27,88%
	Outras lavouras temporárias	5,23	21,38%
	Outras lavouras perenes	0,15	0,61%
	Outras áreas não vegetadas	0,01	0,04%
	Área Urbanizada	7,44	30,42%
	Rio, lago e oceano	0,52	2,13%
		Total	24,46

Fonte: elaborado pelo autor.

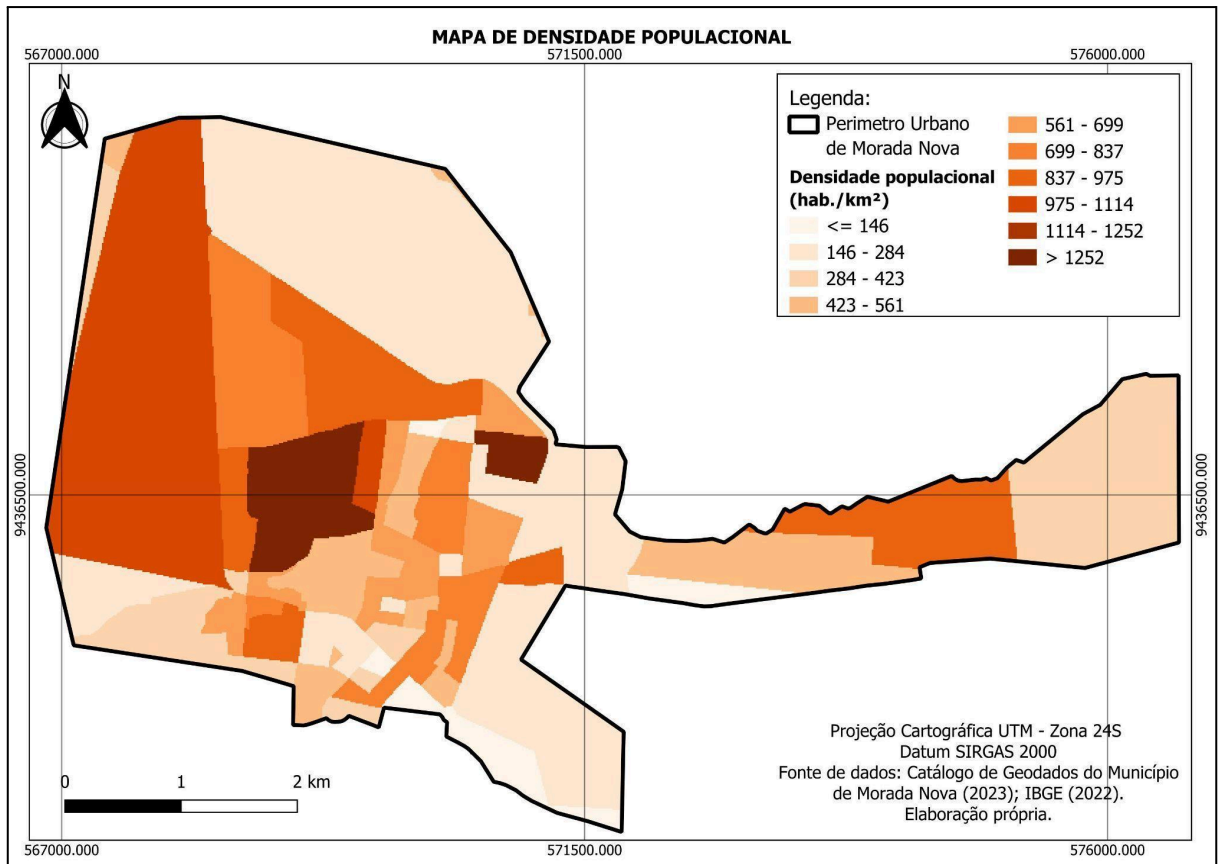
Assim, a substituição da cobertura vegetal natural por usos urbanos e as áreas de pastagem na área de estudo podem contribuir para o aumento de áreas impermeáveis e de áreas compactadas, promovendo a diminuição da infiltração das águas da chuva no solo e o aumento do escoamento superficial, implicando em uma maior suscetibilidade a inundações e alagamentos.

### **5.1.7 Densidade Populacional**

Na Figura 20, verifica-se maior densidade populacional em áreas periféricas do município. As áreas mais adensadas localizam-se na porção central em direção ao oeste do perímetro urbano, que são áreas opostas às áreas indicadas como mais urbanizadas pelo mapa de cobertura e uso da terra. Segundo Aragão *et al.* (2017), o adensamento populacional em áreas periféricas pode ser reflexo da pressão imobiliária na região central, que impulsiona a concentração da população em áreas menos valorizadas e com características ambientais que podem favorecer riscos de desastres ambientais diversos.

Além disso, segundo o mesmo autor, o aumento da densidade populacional pode ter efeitos significativos sobre a vazão de água no exutório de bacias urbanas para chuvas intensas, favorecendo a ocorrência de inundações e alagamentos.

Figura 20 - Caracterização da densidade populacional



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme a Tabela 12, A análise demográfica demonstra que cerca de 30% da área do estudo tem densidade populacional entre 146 e 284 habitantes/km<sup>2</sup>.

Tabela 12 - Percentuais de densidade populacional

Fator	Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Densidade Populacional (hab./km <sup>2</sup> )	≤ 146	0,77	3,15%
	146-284	7,36	30,09%
	284-423	2,89	11,82%
	423-561	2,01	8,22%
	561-699	1,06	4,33%
	699-837	2,05	8,38%
	837-975	2,67	10,92%
	975-1114	4,49	18,36%
	> 1252	1,16	4,74%
Total		24,46	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.2 Aplicação da metodologia AHP

Conforme a construção da Matriz de Comparação Pareada para atribuição dos pesos dos fatores de influência da suscetibilidade de inundações e alagamentos no município de Morada Nova, indicada na Tabela 13, os fatores que obtiveram maior peso em relação aos demais fatores analisados foram a proximidade em relação aos recursos hídricos e a declividade.

Tal resultado corrobora com os resultados obtidos em estudos semelhantes, como os de Chicombo e Moreira (2024), Souza (2023) e Pessoa Neto, Silva, Barbosa (2022). Da mesma forma, o fator calculado com menor relevância foi a pedologia, que também tem sido atribuída menor relevância em estudos como o de Portela *et al.* (2022), Lima (2024), Lima *et al.* (2025).

Tabela 13 - Pesos dos fatores de influência

Fatores	S	U	O	P	H	D	A	Pesos
<b>Pedologia (S)</b>	1	0,333	0,333	0,333	0,167	0,143	0,125	0,025
<b>Densidade Populacional (U)</b>	3	1	0,333	0,333	0,333	0,167	0,143	0,054
<b>Cobertura e Uso da Terra (O)</b>	3	3	1	0,333	0,333	0,333	0,167	0,083
<b>Precipitação (P)</b>	3	3	3	1	0,333	0,333	0,333	0,112
<b>Altitude (H)</b>	6	3	3	3	1	0,333	0,333	0,170
<b>Declividade (D)</b>	7	6	3	3	3	1	0,333	0,238
<b>Proximidade aos Recursos Hídricos (A)</b>	8	7	6	3	3	3	1	0,317

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da Tabela 14, verifica-se que o valor de RC é de 8,2%, estando no intervalo abaixo de 10%, o que garante que os pesos atribuídos aos fatores analisados neste estudo são coerentes e confiáveis para a aplicação no método.

Tabela 14 - Validação da atribuição de pesos pelo método AHP

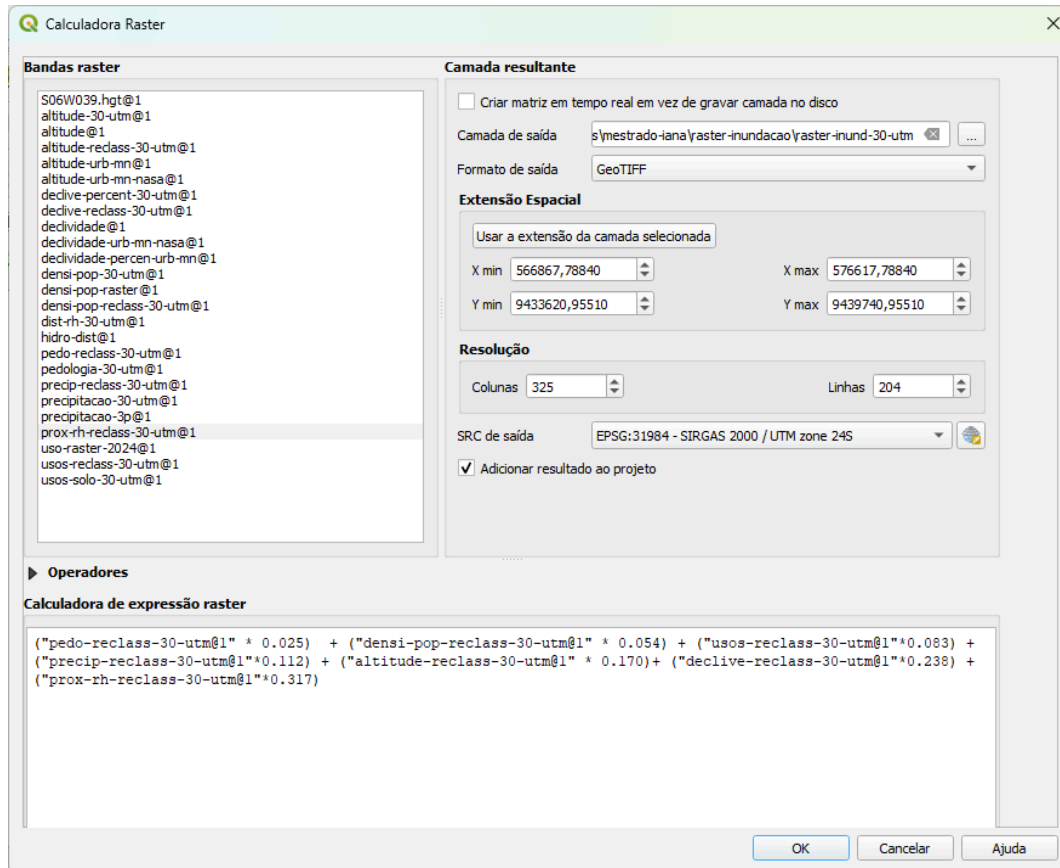
$\lambda_{\max}$	IC	IR	RC
7,650	0,108	1,320	0,082

Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, obteve-se a Equação 9 para a etapa de álgebra de mapas, que consiste na aplicação da equação na “Calculadora Raster” do software QGis, conforme Figura 21:

$$M = 0,238 * D + 0,170 * H + 0,083 * O + 0,025 * S + 0,317 * A + 0,112 * P + 0,054 * U \quad (9)$$

Figura 21 - Aplicação da equação de AHP na calculadora Raster



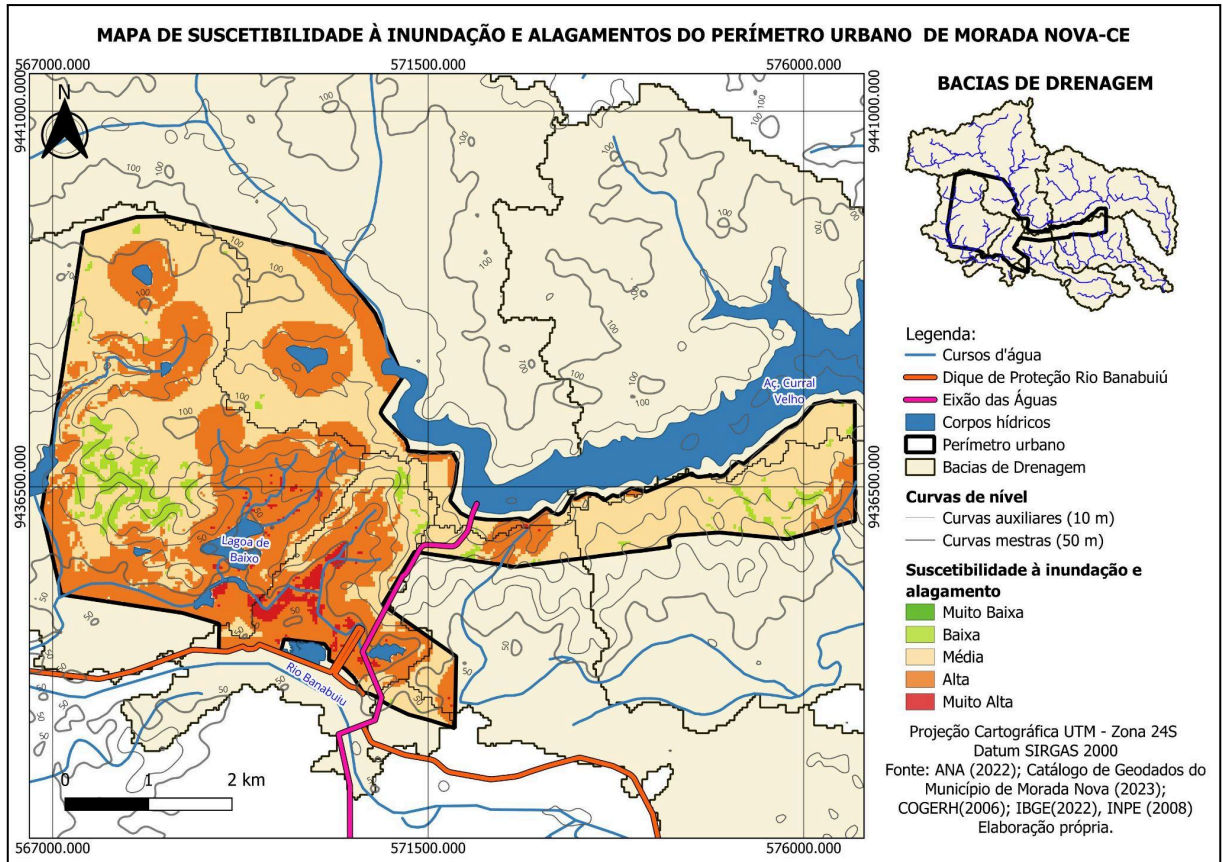
Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.3 Mapa de suscetibilidade à inundação e alagamentos

Após a realização da etapa da álgebra de mapas, obteve-se o mapa de suscetibilidade da Figura 22. Observa-se que, assim como no estudo de Conceição (2023), o mapeamento de suscetibilidade às inundações e alagamento de zonas urbanas tende a predominar as classes de média e alta suscetibilidade. No entanto, a análise da zona urbana de Morada Nova não apresentou áreas de muito baixa suscetibilidade.

Além disso, na Figura 22, observa-se que as classes de média suscetibilidade estão localizadas principalmente nas proximidades dos divisores topográficos das bacias de drenagem urbana e em cotas mais elevadas do terreno, enquanto predomina a localização das classes de alta e muito alta suscetibilidade em áreas próximas à rede de drenagem.

Figura 22 - Mapa de suscetibilidade à inundação e alagamentos



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme a Tabela 15 e a Figura 22, observa-se que a zona urbana de Morada Nova está majoritariamente em área de média suscetibilidade. Segundo Conceição (2023), áreas de média suscetibilidade, embora possuam fatores que condicionam a ocorrência de inundações e alagamentos, têm tambm fatores atenuantes; portanto, são áreas que devem ser monitoradas e deve ser realizado ordenamento do uso e ocupação do solo.

Tabela 15 - Percentuais de área por classe de suscetibilidade

Suscetibilidade a inundações e alagamentos	área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Baixa	0,95	3,88%
Média	12,58	51,43%
Alta	9,67	39,53%
Muito Alta	1,26	5,15%
Total	24,46	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor.

A segunda maior classe identificada na área de estudo refere-se à alta suscetibilidade (39,53%) e, assim como em Conceição (2023) e Lima *et al.* (2025), as áreas de alta e muito alta suscetibilidade situam-se nas áreas de menor altitude, próximas aos recursos hídricos e em áreas em que prevalecem coberturas do solo impermeáveis, que na área de estudo estão localizadas principalmente na metade inferior do mapa. Embora se tenha a presença do dique do rio Banabuiú adjacente a esta região de maior suscetibilidade, a barreira criada pelo dique para contenção de inundações pode favorecer o alagamento dessas áreas por limitar o escoamento da água para a calha do rio, assim como tem sido verificado em (Ceará, 2020).

Para Oliveira *et al.* (2021), Veiga (2024), Conceição (2023) e Gossler (2023), as áreas classificadas como alta e muito alta têm alta probabilidade de ocorrência e é esperado altos danos, e por isso requerem a adoção de medidas mitigadoras mais efetivas, como o aumento de áreas permeáveis, sistemas de drenagem e políticas públicas de planejamento territorial.

Além disso, as áreas de suscetibilidade muito alta próximas aos recursos hídricos reforçam a necessidade de restringir o parcelamento do solo nessas regiões, enquanto as áreas de média e alta suscetibilidade analisadas estão situadas em áreas mais distantes da várzea dos cursos d'água em que o alagamento ocorre por maior influência dos fatores relativos à declividade, à altitude e ao uso e ocupação do solo que favorecem o acúmulo temporário de água, semelhante ao observado por Gossler Gossler (2023).

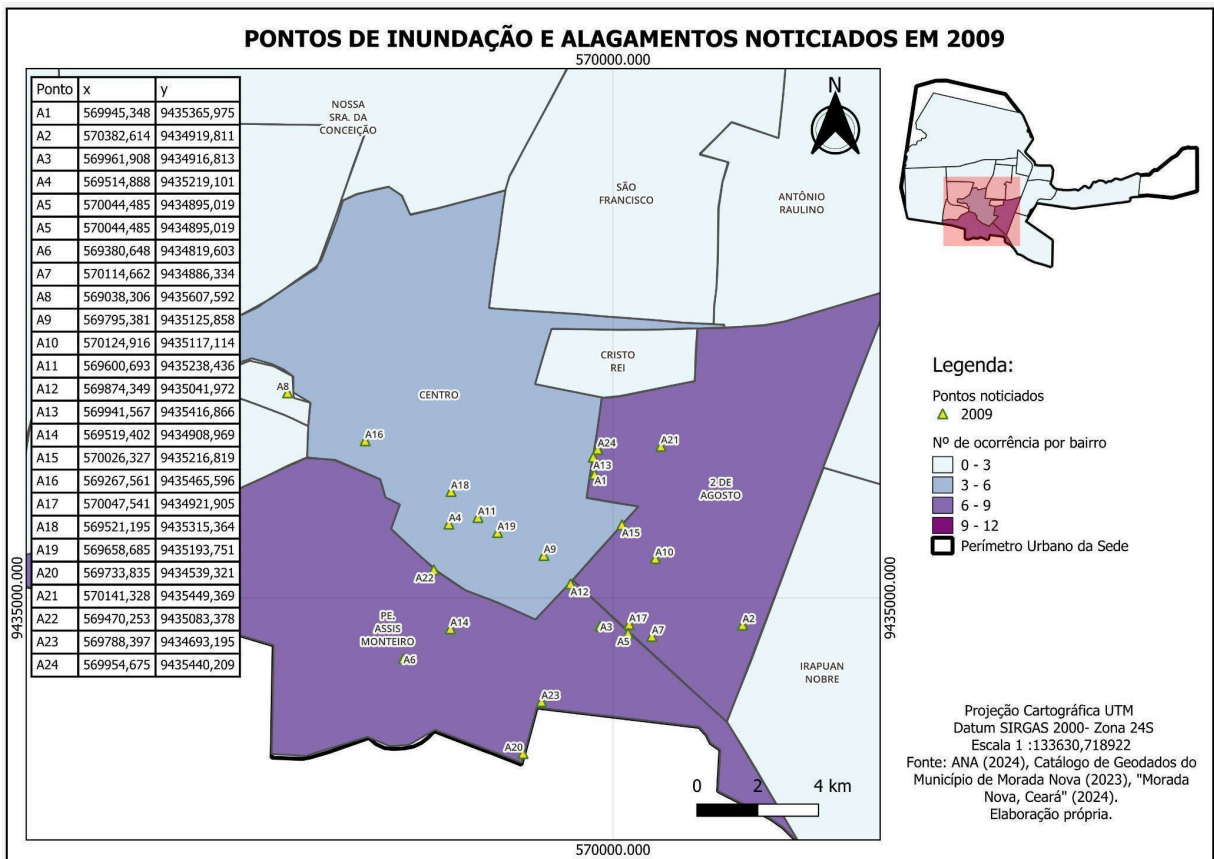
No entanto, conforme Fernandes e Palhares (2024), áreas classificadas como de média suscetibilidade ainda requerem o monitoramento do poder público devido a sua suscetibilidade ser fortemente acentuada por chuvas intensas em curtos períodos de tempo.

Como esperado, os diversos fatores antrópicos presentes nas áreas urbanas elevam a suscetibilidade a desastres hidrológicos nessas áreas. O elevado percentual de média a muito alta suscetibilidade no município poderia ser reduzido a partir de ações não estruturais de integração entre as políticas de gestão ambiental, saneamento, ordenamento territorial e recursos e por outras ações estruturais de mitigação de cheias, além do mapeamento de áreas críticas, como bacias de detenção, bacias de retenção, canais verdes, valas de infiltração e telhados verdes (Lima, 2018).

### 5.4 Mapa de inventário de registros reais

A partir do levantamento de registros reais de inundações e alagamentos noticiados e situados na área urbana de Morada Nova, foram identificados 24 pontos de ocorrências no ano de 2009, Figura 23, em que os bairros mais afetados nos desastres hidrológicos de 2009 correspondem aos bairros Padre Assis Monteiro, 2 de Agosto e Centro.

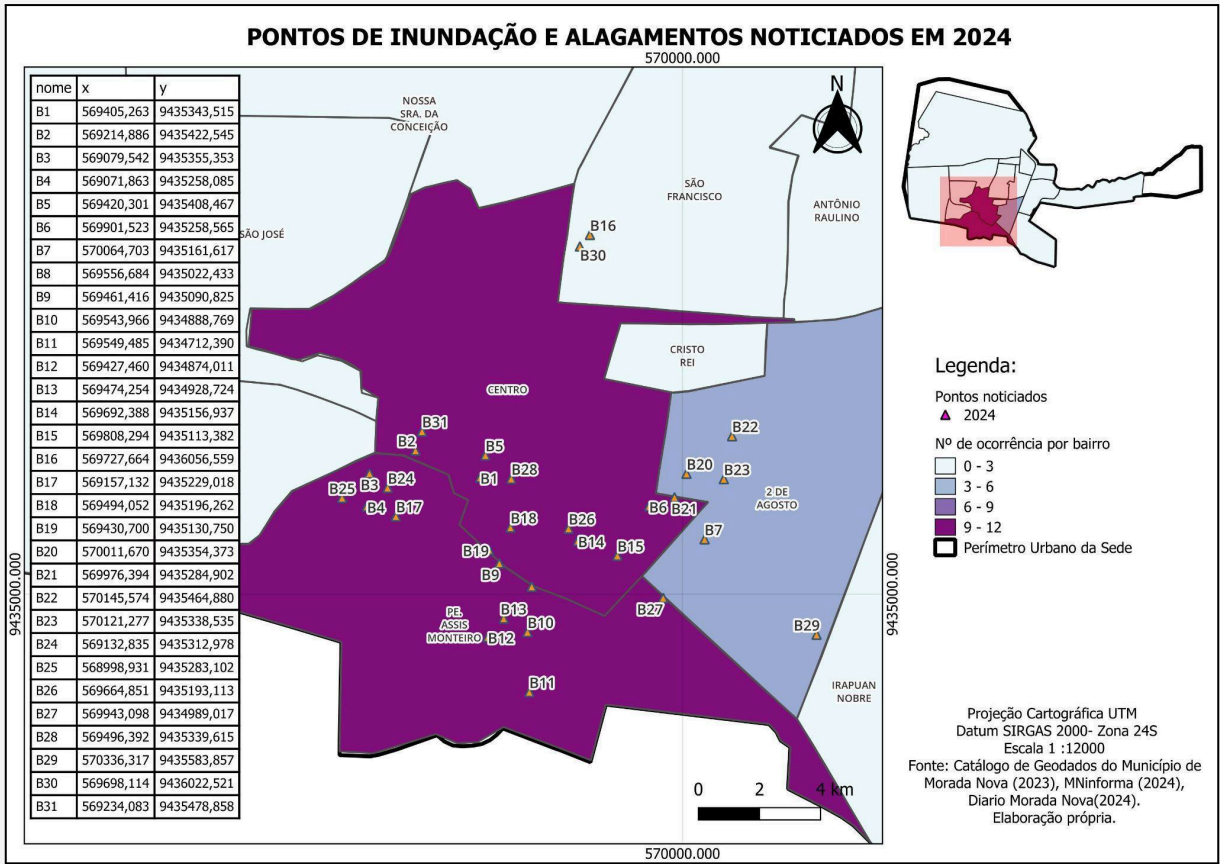
Figura 23 - Localização dos registros reais de inundações e alagamentos em 2009



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme a Figura 24, foram identificados 31 pontos de ocorrência em 2024, totalizando 55 pontos de desastres hidrológicos para a composição do mapa de inventário. A análise do mapa de ocorrências de 2024 demonstrou novamente os bairros Padre Assis Monteiro, 2 de Agosto e Centro como os mais afetados pelos desastres.

Figura 24 - Localização dos registros reais de inundações e alagamentos em 2024



Fonte: elaborado pelo autor.

Os registros fotográficos do evento hidrológico ocorrido em 2009, que foram geocodificados para a elaboração do mapa de inventário da Figura 23, estão representados na Figura 25.

Figura 25 - Registros fotográficos de inundações e alagamentos em 2009



Fonte: Morada Nova, Ceará (2018).

A partir das análises das imagens da Figura 25, observa-se que os eventos hidrológicos de 2009 em Morada Nova afetaram tanto áreas residenciais como áreas comerciais e de serviços públicos, com obstrução de ruas que dificultam o tráfego de pessoas e automóveis, assim como observado no estudo de Gossler (2023).

Os pontos A5, A9 e A17 indicam o alagamento de escolas e órgãos públicos, demonstrando o impacto desses eventos para a continuidade de serviços públicos de assistência básica à população. Além disso, os pontos A11, A16 e A19 demonstram o alagamento e inundações de áreas comerciais, refletindo o impacto desses eventos no comércio local.

Semelhante ao ilustrado pelos registros fotográficos de 2009, observa-se na Figura 26 que os pontos de alagamento e inundações em 2024 trouxeram prejuízos para o tráfego de pessoas e automóveis, bem como demonstram o alagamento de áreas residenciais e comerciais.

Também, como observado em Gossler (2023), os registros fotográficos de eventos ocorridos em 2024 demonstram que a ocorrência de eventos hidrológicos extremos em alguns pontos da área urbana é recorrente.

Figura 26 - Registros fotográficos de inundações e alagamentos em 2024

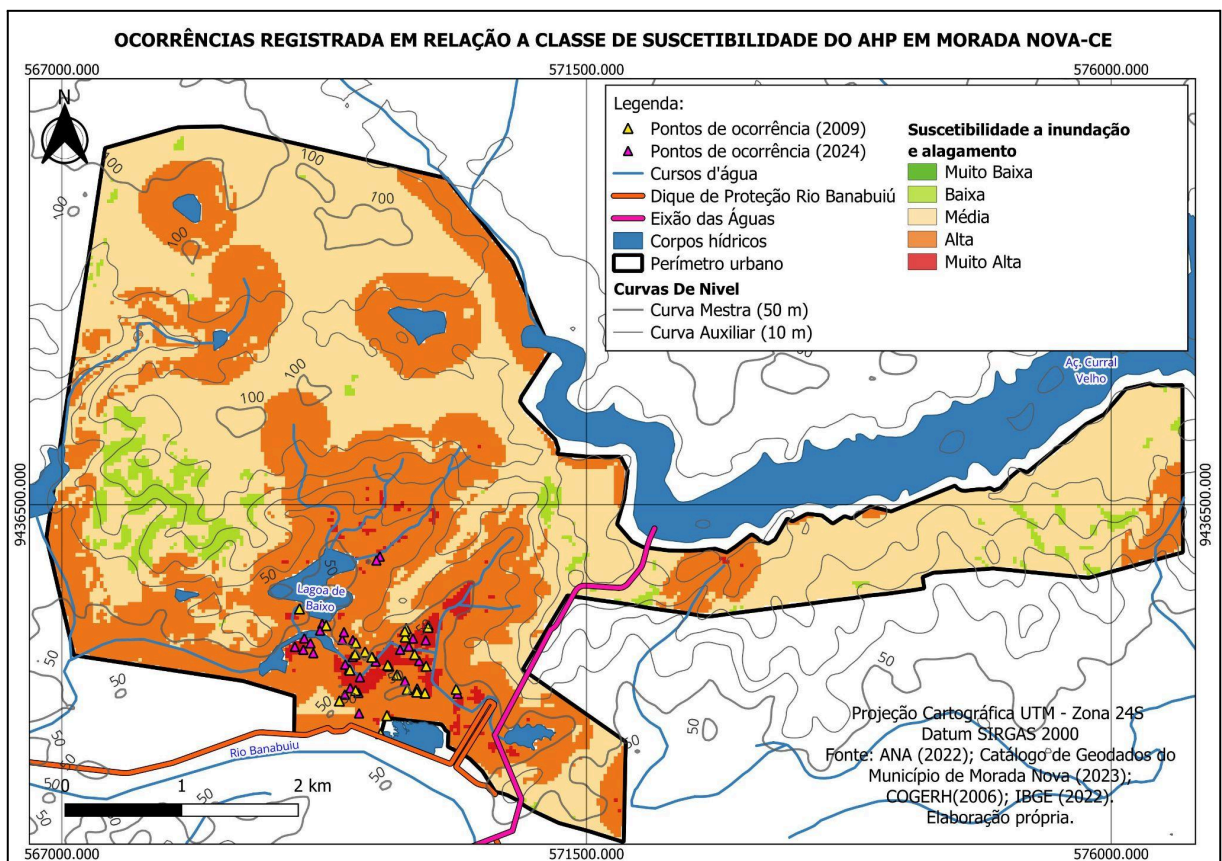


Fonte: Ceará em Pauta (2024a); Ceará em Pauta (2024b); MNInforma (2024).

### 5.5 Validação e análise comparativa do mapa de suscetibilidade AHP e do mapa do SGB na representatividade de eventos reais na área urbana

A sobreposição dos 55 registros reais com o mapa de suscetibilidade obtido pela metodologia do AHP, indicado na Figura 27, demonstrou uma maior incidência desses eventos na área inferior do mapa, na área de várzea do rio Banabuiú e nas proximidades do lago Benício Chagas, que são regiões de menor altitude e maior incidência de áreas impermeáveis resultantes da cobertura do solo referente às áreas urbanizadas, que podem ter a suscetibilidade intensificada pelo acúmulo de água nas regiões próximas ao dique do rio Banabuiú, o qual apesar de impedir a inundação dessas áreas pela cheia do curso d'água favorece o acúmulo da água escoada dos pontos mais altos para esta região.

Figura 27 - Localização dos registros reais em relação à suscetibilidade à inundação e alagamentos do Método AHP



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao analisar a Tabela 16, também é possível constatar que os pontos de ocorrência reais situam-se, em sua maioria, nas classes de alta e muito alta suscetibilidade, conferindo ao

mapeamento a acurácia de 95,83% em relação aos registros de inundação e alagamento de 2009, 96,77% em relação ao ano de 2024, e acurácia geral em relação aos registros correspondendo a 96,36%.

Tabela 16 - Ocorrências reais por classe de suscetibilidade do AHP

Suscetibilidade a inundações e alagamentos	Número de ocorrências		
	2009	2024	Total
Baixa	0	0	0
Média	0	0	0
Alta e Muito Alta	23	30	53
Outras áreas	1	1	2
Total de pontos	24	31	55
Acurácia	95,83%	96,77%	96,36%

Fonte: elaborado pelo autor.

A comparação do mapa AHP obtido com o mapa de inventário apresentou resultados semelhantes aos estudos de Alves *et al.* (2024), Fernandes e Palhares (2024), Oliveira *et al.* (2021) e Pessoa Neto (2022), em que se observa elevados percentuais de interseção dos registros de ocorrência reais em áreas classificadas como alta ou muito alta suscetibilidade, o que enfatiza a adequação do método AHP como ferramenta para representação de mapas de suscetibilidade a inundação e alagamento.

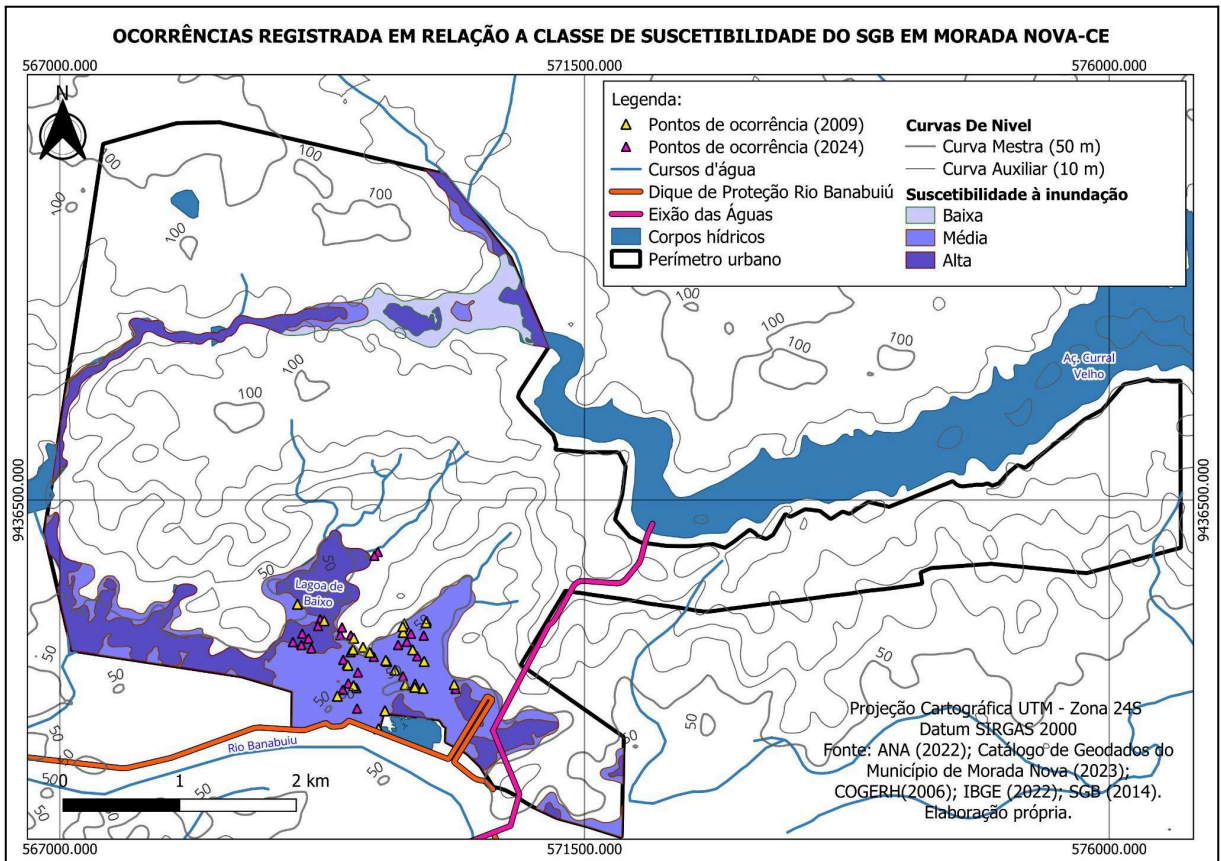
Além disso, a maior acurácia em relação ao ano de 2024 pode estar relacionada à maior representatividade para este período conferida pelos dados de cobertura e uso da terra, pluviometria e densidade populacional por setor censitário.

Já a análise da sobreposição dos registros reais de ocorrência de desastres hidrológicos da área urbana com as classes de suscetibilidade a inundação do mapeamento do SGB, Figura 28, demonstra que os pontos do inventário estão predominantemente localizados na classe de média suscetibilidade do SGB. O estudo considera apenas os fatores declividade, altitude, relevo e precipitação, e indica a necessidade de estudos específicos para áreas urbanizadas devido à fragilidade do mapeamento quanto à possível mudança da classificação de risco para áreas urbanizadas (SGB, 2014).

A baixa correlação entre os registros de ocorrência e a classe de alta suscetibilidade reforça a fragilidade do mapa do SGB para representar as áreas urbanizada como já apontado em SGB (2014), uma vez que, para Pessoa Neto (2022), o peurbanizadas,

pontos de ocorrência que coincidem com a classe de alta suscetibilidade definem a acurácia do mapa.

Figura 28 - Localização dos registros reais em relação ao mapeamento do SGB



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da análise da Tabela 17, verifica-se que 14,54% dos registros reais estão situados em áreas não classificadas pelo mapeamento do SGB. A baixa acurácia obtida na comparação entre o mapa de suscetibilidade do SGB e os registros reais de ocorrência de inundações e alagamentos na área urbana de Morada Nova não invalida o mapeamento realizado pelo órgão, apenas indica a possível influência da escala de análise da zona urbana e dos fatores que influenciam nessa região, o que se distingue da escala de significância para a qual o mapa do SGB foi desenvolvido e os fatores utilizados por esse.

Segundo Bitar (2014), a falta de inclusão de alguns aspectos de influência para a ocorrência desses desastres na metodologia adotada nos mapas do SGB pode influenciar significativamente a análise do território municipal, uma vez que na metodologia do SGB são adotados apenas os fatores de influência mais significativos para a escala de referência de 1:25000.

Tabela 17 - Ocorrências reais por classe de suscetibilidade do SGB

Suscetibilidade a inundações	Número de ocorrências		
	2009	2024	Total
Baixa	0	0	0
Média	20	20	40
Alta	1	6	7
Outras áreas	3	5	8
Total de pontos	24	31	55
Acurácia	4,16%	19,35%	12,72%

Fonte: elaborado pelo autor.

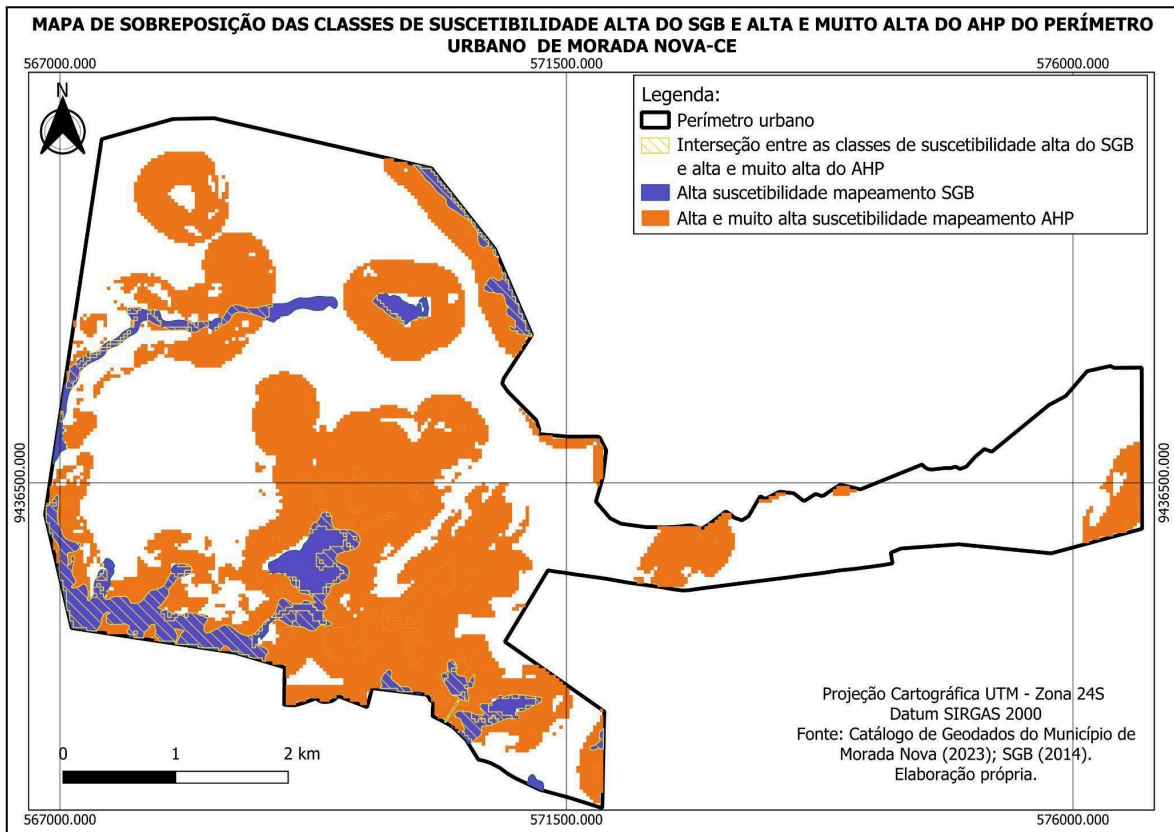
Além disso, o mapeamento apresentou baixo percentual de acertos com relação à interseção das ocorrências com a classe de alta suscetibilidade, conferindo apenas 12,72% de acurácia em relação ao total de pontos de ocorrência reais, sendo a acurácia ainda menor para os registros do ano de 2009, com 4,16%.

Assim, como esperado pelo SGB (2024), as classes de suscetibilidade do mapeamento do SGB podem subestimar ou superestimar as áreas de risco em áreas urbanas, e por isso requerem um mapeamento específico para as áreas urbanizadas que considere fatores antrópicos, que oriente a tomada de decisão sobre a gestão de riscos hidrológicos nesta região.

Para Bitar (2014), o mapeamento de suscetibilidade do SGB considera desprezível a suscetibilidade de áreas não classificadas como planícies e terraços, o que pode ter subestimado as áreas suscetíveis aos desastres hidrológicos no perímetro urbano de Morada Nova.

Na sequência, a sobreposição das classes de alta suscetibilidade SGB com as classes de alta e muito alta suscetibilidade AHP, Figura 29, demonstra a baixa correlação entre os mapas. Diferente do mapeamento AHP, verifica-se que parte das áreas dos espelhos d'água dos corpos d'água urbanos foram consideradas como áreas de suscetibilidade pelo SGB, o que pode ter inferido a baixa acurácia do AHP em relação ao SGB.

Figura 29 - Sobreposição da classe de alta suscetibilidade SGB e das classes de alta e muito alta suscetibilidade AHP



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Tabela 18, o mapeamento do SGB possui apenas 1,13 km<sup>2</sup> de interseção com o mapeamento AHP, cerca de 10% das áreas de alta e muito alta suscetibilidade do AHP, o que demonstra, juntamente com a baixa acurácia do mapeamento SGB em relação aos dados de inventário, que o mapeamento do SGB não é uma alternativa adequada para identificação de áreas prioritárias para as ações de prevenção de riscos hidrológicos em zona urbana.

Tabela 18 - Parâmetros de comparação entre os mapas do AHP e o do SGB

Parâmetro	Resultado
Área de alta e muito alta suscetibilidade pelo mapeamento AHP (km <sup>2</sup> )	10,93
Área de alta suscetibilidade pelo mapeamento do SGB (km <sup>2</sup> )	1,76
Área de Acertos (km <sup>2</sup> )	1,13
Área de Omissão (km <sup>2</sup> )	0,62
Área de Comissão (km <sup>2</sup> )	0,90
Acurácia do AHP em relação ao SGB (%)	64,20
Acurácia do AHP em relação aos registros do inventário (%)	96,36

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
Acurácia do SGB em relação aos registros do inventário (%)	12,72

Fonte: elaborado pelo autor.

Além disso, na Tabela 19, verifica-se que a acurácia do mapa AHP em relação ao SGB é de 64,20%, que pode ter sido influenciada sobretudo pela diferença de classificação das áreas dos espelhos d'água entre o método adotado pelo SGB e a metodologia AHP.

Para tanto, a baixa acurácia do mapa do SGB em relação aos registros reais de desastres indica que este mapeamento não é adequado para a classificação da área urbana e, por isso, a comparação entre os dois mapas não é suficiente para atestar a acurácia do mapeamento realizado com a metodologia AHP.

## 6 CONCLUSÃO

A atribuição de pesos pelo método AHP demonstrou como fatores mais relevantes para a suscetibilidade aos desastres hidrológicos, respectivamente, a proximidade aos recursos hídricos, declividade, altitude e índice de precipitação.

A elaboração do mapa de inventário indicou os bairros Padre Assis Monteiro, 2 de Agosto e Centro como aqueles com maior número de ocorrência de desastres tanto no ano de 2009 como em 2024.

A aplicação do método AHP associada a tecnologias de SIG demonstrou-se eficaz para a previsão de áreas suscetíveis a inundações e alagamentos, conferindo acurácia de 95,83% em relação aos pontos de ocorrência de 2009, 96,77% em relação aos registros do ano de 2024 e 96,36% em relação ao conjunto dos registros levantados na pesquisa.

A análise da suscetibilidade da zona urbana de Morada Nova indicou que 44,68% da área de estudo está classificada como alta (39,53%) ou muito alta (5,15%) suscetibilidade a inundações e alagamento, em sua maioria situadas próximo ao Lago Benício Chagas e nas áreas de várzea do rio Banabuiú, que são os principais recursos hídricos da sede municipal e onde se originou o povoamento do município.

A alta suscetibilidade a desastres hidrológicos da área urbana de Morada Nova reflete o histórico destes eventos no município e ressalta a importância de ações estruturais e não estruturais para atenuar a influência dos fatores naturais e antrópicos.

A validação do mapeamento por meio da análise de sobreposição de registros reais com o mapeamento AHP e mapeamento do SGB demonstrou acurácia de 96,36% e 12,72%, respectivamente. O que evidencia que o mapeamento AHP é uma ferramenta mais adequada para o auxílio das tomadas de decisões de desastres hidrológicos na área urbana.

A baixa acurácia do mapeamento SGB em relação aos dados de registro reais reforça a fragilidade deste mapeamento para análise de suscetibilidade da área urbana.

Para trabalhos futuros, sugere-se a análise de suscetibilidade de cada bairro que compõe a área urbana do município e a comparação individual do mapeamento AHP com outras metodologias consolidadas, como modelagens de HAND e modelos que utilizem fatores relativos à morfometria das bacias de drenagem da área urbana.

Por fim, espera-se que o produto desta pesquisa possa subsidiar políticas públicas assertivas para a gestão de eventos hidrológicos extremos no município, auxiliando o atingimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 11 e 13 da ONU.

## **DECLARAÇÃO DO USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) GENERATIVA E TECNOLOGIAS DE IA ASSISTIDA NO PROCESSO DE ESCRITA**

O presente estudo utilizou o Gemini 2.5 Flash como ferramenta para exploração inicial de ideias, não havendo a geração de conteúdo original, ideias, interpretações ou análises pela IA; bem como não foram enviados dados inéditos ou sensíveis a serviços que utilizam conteúdo para treinamento de modelos, a fim de garantir a conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018) e demais normas de proteção de dados, sendo respeitados os direitos autorais, licenças, confidencialidade e políticas editoriais.

## **PRODUTO DA PESQUISA**

Como resultado do caráter aplicado desta pesquisa, desenvolvida no âmbito do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), apresenta-se como produto deste trabalho uma carta de suscetibilidade a inundações e alagamentos para a área urbana do município de Morada Nova, ilustrada no Apêndice, em que foram mapeadas as áreas mais suscetíveis no município por meio de uma análise multicritério dos aspectos físicos, hidrológicos e antrópicos: declividade, altitude, proximidade aos recursos hídricos, precipitação, uso e cobertura do solo, pedologia e densidade populacional.

A classificação realizada tem por finalidade subsidiar a tomada de decisão do poder público sobre a gestão de risco de eventos hidrológicos, gestão ambiental, saneamento, gestão de recursos hídricos e ordenamento territorial.

Sugere-se que as áreas classificadas como alta e muito alta suscetibilidade possam ser priorizadas na delimitação de áreas de interesse ambiental do zoneamento municipal e no planejamento de infraestruturas de drenagem urbana, bem como sejam adotadas medidas mitigadoras e normas de uso e ocupação do solo para controlar os fatores de risco das classes de média suscetibilidade.

Por fim, espera-se que este estudo possa transformar dados técnicos e análises especializadas em ferramenta visual para democratizar a informação sobre as áreas de risco e para nortear a adoção de projetos estruturais e a implantação do monitoramento de eventos hidrológicos críticos nas áreas de média a muito alta suscetibilidade.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Impacto da mudança climática nos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília: ANA, GGES, 2016.

ARAGÃO, R. *et al.* Impacto do uso do solo pelo aumento da densidade populacional sobre o escoamento numa área urbana do Nordeste Brasileiro via geotecnologias e modelagem hidrológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 02, p. 543-557, 2017.

ALVES, M. E. P. *et al.* Mapeamento de manchas de inundação utilizando modelagem hidrológica e hidrodinâmica em escala local, regional e continental. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 24., 2021, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRHidro, 2021.

ALVES, R. A. *et al.* Flood vulnerability mapping in an urban area with high levels of impermeable coverage in southern Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 24, n. 3, p. 96, 2024.

BITAR, O. Y. (coord.). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000: nota técnica explicativa**. São Paulo: IPT; Brasília: CPRM, 2014, 42 p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16588>. Acesso em: 16 mai. 2026.

BRASIL. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais; Defesa Civil Brasil; Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação; Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos no país e as diferenças regionais**. São José dos Campos, 2022. Disponível em: <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/7682>. Acesso em: 27 out. 2025.

BRASIL. **Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm). Acesso em: 20 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**, 2025. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/graficos.xhtml#>. Acesso em: 27 out. 2025.

BRASIL. Presidência da República; Casa Civil; Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento; Secretaria Adjunta VI - Recursos Hídricos. **Nota Técnica nº 1/2023/SADJ-VI/SAM/CC/PR**. Brasília, DF, 29 set. 2023. Disponível em: [https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/copy\\_of\\_NotaTcnica12023SADJVISAMCCPR\\_SEI\\_00042.000497\\_2023\\_74.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/copy_of_NotaTcnica12023SADJVISAMCCPR_SEI_00042.000497_2023_74.pdf). Acesso em: 27 out. 2025.

BEZERRA, E. T.; CARVALHO, E. M. Áreas de Preservação Permanente nos perímetros urbanos de Aquidauana e Anastácio - MS. **Geofronter**, [S. l.], v. 8, 2022. DOI: 10.61389/geofronter.v8.7151. Disponível em:

<https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7151>. Acesso em: 10 jun. 2025.

CARVALHO, M. A. T. **Estimativa da relação entre densidade populacional e área impermeável nas cidades de Corumbá/BR, Ladário/BR E Puerto Quijarro/BO**. 2022. 87 f. Dissertação (Mestrado em Estudos Fronteiriços) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Corumbá, 2022.

CASTRO, M. D. O. **Uso de geotecnologias para mapeamento de manchas de inundação na cidade de Manacapuru/AM para o fortalecimento do Sistema de Recursos Hídricos**. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Amazonas, Escola Normal Superior, Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Manaus, 2023.

CEA, L.; COSTABILE, P. Flood risk in urban areas: Modelling, management and adaptation to climate change. A review. **Hydrology**, v. 9, n. 3, p. 50, 2022.

CEARÁ. Governo do Estado do Ceará; Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). **Produto 5 – Documento contendo a Revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico**. Fortaleza, 2020. Disponível em: [https://www.moradanova.ce.gov.br/arquivos/606/PUBLICIDADE\\_SN\\_2020\\_0000001.pdf](https://www.moradanova.ce.gov.br/arquivos/606/PUBLICIDADE_SN_2020_0000001.pdf). Acesso em: 27 out. 2025.

CEARÁ. Governo do Estado do Ceará, Secretaria das Cidades; Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). **Produto 12 – Relatório Final dos Planos Diretor e de Mobilidade Consolidados de Morada Nova**. Fortaleza, 2018a. Disponível em: <https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Plano-Diretor-de-Morada-Nova-Relatório-Final.pdf>. Acesso em: 27 out. 2025.

CEARÁ. Governo do Estado. Em Morada Nova, governador visita comunidades atingidas pelas chuvas e reforça apoio às famílias. **Portal do Governo**, Fortaleza, 22 abr. 2024. Disponível em: <https://www.ce.gov.br/2024/04/22/em-morada-nova-governador-visita-comunidades-atingidas-pelas-chuvas-e-reforca-apoio-as-familias/>. Acesso em: 13 maio 2026.

CEARÁ. Secretária de Desenvolvimento Agrário; Secretaria de Recursos Hídricos; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos do Estado do Ceará**. Fortaleza, CE: Coletivo Duas Catitas, 2024. Disponível em: [www.funceme.br/wp-content/uploads/2024/11/LIVRO-LEVANTAMENTO-DE-SOLOS-FUNCEME.pdf](http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2024/11/LIVRO-LEVANTAMENTO-DE-SOLOS-FUNCEME.pdf). Acesso: 27 out. 2025.

CEARÁ. Secretaria da Saúde do Ceará. **Boletim Epidemiológico: Programa Nacional de Vigilância em Saúde dos Riscos Associados aos Desastres - VIGIDESASTRES**. [S.l.], n. 3, 2025. Disponível em: [https://www.saude.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/9/2018/06/Boletim\\_Epidemiologico\\_vigidesastres\\_2025.pdf](https://www.saude.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/9/2018/06/Boletim_Epidemiologico_vigidesastres_2025.pdf). Acesso em: 01 dez. 2025.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos; Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Diagnóstico da Região Hidrográfica do Rio Banabuiú**. Fortaleza: COGERH, 2022.

Disponível em:

<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2022/08/DIAGN%C3%93STICO-BANABUI%C3%9A-OFICIAL.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos; Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos; Superintendência de Obras Hidráulicas. **Plano de ações estratégicas de recursos hídricos do Ceará**. [S.l.], 2018b.

Disponível em:

[https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/PLANO-DE-ACOES-ESTRATEGICAS-DE-RECURSOS-HIDRICOS-CE\\_2018.pdf](https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/PLANO-DE-ACOES-ESTRATEGICAS-DE-RECURSOS-HIDRICOS-CE_2018.pdf). Acesso em: 10 nov. 2025.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos; Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos.

**Síntese do Plano da Região Hidrográfica do Banabuiú**. 2021. Disponível em:

<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2021/07/6.-SÍNTESE-DO-PLANO-DO-BANABUIÚ.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

CEARÁ EM PAUTA. Governador Elmano de Freitas esteve em Morada Nova. **Instagram**: Ceará em Pauta, 2024a. Reel. Disponível em:

<https://www.instagram.com/reel/C6FTbYFOFYM/?igsh=eGx0ZWV2YXYwY3g2>. Acesso em: 20 set. 2025.

CEARÁ EM PAUTA. Morada Nova - CE. **Instagram**: Ceará em Pauta, 2024b. Reel.

Disponível em:

<https://www.instagram.com/reel/C6B4rTMObVD/?igsh=a3FybXQ2YWNlc25y>. Acesso em: 20 set. 2025.

CECHIM JÚNIOR, C. *et al.* Fundamentos e aplicações de radar no estudo de mapeamento de uso do solo e de áreas alagadas. In: SUTIL, T.; PEREIRA, J. R.s; LADWIG, N. I.; ZOCHE, J. J.; PEREIRA, J. L. (org.). **Geoprocessamento na análise ambiental**. Criciúma (SC): Unesc, 2020. Cap. 2.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Manual técnico para elaboração, transmissão e uso de alertas de risco de movimentos de massa**.

São José dos Campos: CEMADEN, 2018. Disponível em:

<https://www.defesacivil.se.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/Manual-Cemaden.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2025.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Anuário da sala de situação do CEMADEN 2019**. São José dos Campos: CEMADEN, v. 3, n. 1, 2022.

CHICOMBO, T. F.; MOREIRA, A. A. M. Mapeamento de suscetibilidade às inundações com base na Análise Multicritério (AHP): Estudo de caso do distrito de Chókwe, em Moçambique.

**Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 25, n. 99, p. 301–319, 2024. DOI:

10.14393/RCG259970390. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/70390>. Acesso em: 21 out. 2025.

COBRADE. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres**. Brasília: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, 2017. Disponível em:

<https://educacao.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2017/12/Cobrade.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2025.

CONCEIÇÃO, D. N. **Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações/alagamentos na área urbana de Maceió, Alagoas**. 2024. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

COSTA, C.; ANDRADE, A. R. Alagamentos, enxurradas, inundações e tendências de extremos de precipitação nos médios e baixo cursos da Bacia do Rio Iguaçu . **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 36, n. 21, p. 51–73, 2025. DOI: 10.55761/abclima.v36i21.18020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/18020>. Acesso em: 10 jun. 2025.

CURY, M. D. *et al.* Mapeamento de áreas suscetíveis à inundações como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 22, n. 83, p. 160–175, 2021. DOI: 10.14393/RCG228356231. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/56231>. Acesso em: 21 out. 2025.

DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. S.; NÓBREGA, R. S. Comparação de dados estimados pelo método da Ponderação Regional (PR) e dados estimados pelo TRMM para o preenchimento de falhas de precipitação na bacia hidrográfica do Rio Pajeú. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, n. 14, p. 324-339, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v22i0.46911.

DINIZIO JÚNIOR, L. S.; NASCIMENTO, P. S. R. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas à análise da inundações e alagamento em Aracaju. In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE, 15., 2023, Aracaju-SE. **Anais [...]**. Aracaju-SE: ABRHIDRO, 2023.

DUARTE, T. L. S.; SANTOS, G. C.; CASTELHANO, F. J. Eventos de chuvas extremas associados aos riscos de inundações e de alagamentos em Aracaju, Sergipe. **GEOSABERES: Revista de estudos geoeeducacionais**, v. 12, p. 256-273, 2021.

DULAC, V. F.; KOBIYAMA, M. Interfaces entre políticas relacionadas a estratégias para redução de riscos de desastres: recursos hídricos, proteção e defesa civil e saneamento. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 14, e10, 2017.

DUTTA, M. *et al.* Application of bivariate approaches for flood susceptibility mapping: a district level study in Eastern India. **HydroResearch**, v. 6, p. 108-121, 2023.

EBERLE, J.; CEMIN, G.; SCHNEIDER, V. E. Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e alagamento no perímetro urbano de Caxias do Sul – RS. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 8, p. e6839, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n8-158. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/6836>. Acesso em: 21 out. 2025.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed., Rio de Janeiro: Embrapa

Solos, 2018.

FARIAS, A.; MENDONÇA, F. Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. **Sociedade & natureza**, v. 34, p. e63717, 2022.

FRANCISCO, T. H.S. *et al.* The main challenges for improving urban drainage systems from the perspective of Brazilian professionals. **Infrastructures**, v. 8, n. 1, p. 5, 2022.

FERNANDES, J. V. F.; PALHARES, R. H. Análise multicritério aplicada ao mapeamento de inundações em Montes Claros-Minas Gerais - Brasil. **Revista Tocantinense de Geografia**, [S. l.], v. 13, n. 29, p. 387–405, 2024. DOI: 10.70860/rtg.v13i29.17281. Disponível em: <https://periodicos.ufnt.edu.br/index.php/geografia/article/view/17281>. Acesso em: 21 out. 2025.

FERRAZ, C. M. L. Inundações e alagamentos em meio urbano: uma perspectiva teórico-conceitual, em abordagem geomorfológica. **Vozes dos Vales**, v. 10, n. 20, p. 1-16, 2021.

FERREIRA, H. S. *et al.* Aplicação do Método HAND Model para identificação de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações na sede municipal de Paragominas-PA. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. e1704, 2025. DOI: 10.23900/2359-1552v14n2-2-2025. Disponível em: <https://journalppc.com/RPPC/article/view/1704>. Acesso em: 10 jun. 2025.

FREIRE, A. R.; MEYER, R. M. P. Mudanças climáticas e o papel das Várzeas Urbanas Metropolitanas de São Paulo. **Scientific Journal ANAP**, [S. l.], v. 2, n. 11, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/4921>. Acesso em: 13 nov. 2025.

FOTO DE MORADA NOVA CEARA. Alagamento do Terminal rodoviário de Morada Nova em 1984. **Facebook**: Foto de Morada Nova Ceara, 2020. Disponível em: <https://www.facebook.com/share/18639Q69zG/>. Acesso em: 10 maio 2026.

GIACON JUNIOR, A. J. **Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê (SP)**, 2022 154 f. Tese (Doutorado)–Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Engenharia, Bauru, 2022.

GODOY, J. A. E.; BENINI, S M. Resiliência urbana: políticas para enfrentar desastres naturais e mudanças climáticas. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. e775, 2024. DOI: 10.23900/2359-1552v13n1-34-2024. Disponível em: <https://journalppc.com/RPPC/article/view/775>. Acesso em: 27 nov. 2025.

GOSSLER, D. L. **Método multicritério aplicável a mapeamento de áreas com susceptibilidade à inundação**. Estudo de caso: Rolante-RS. 2023. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2023.

GOULART, L. P.; MATSUOKA, J. V.. Análise das áreas suscetíveis à alagamentos e inundações na área urbana do município de Uberlândia–MG utilizando geoprocessamento e o Método de Análise Hierárquica AHP. **Revista GeTeC**, v. 10, n. 34, 2021.

GHARAKHANLOU, N. M.; PEREZ, L. Spatial prediction of current and future flood susceptibility: examining the implications of changing climates on flood susceptibility using machine learning models. **Entropy**, v. 24, n. 11, p. 1630, 2022.

GRANGEIRO, E. L. A.; RIBEIRO, M. M. R.; MIRANDA, L. I. B. Integração de políticas públicas no Brasil: o caso dos setores de recursos hídricos, urbano e saneamento. **Cadernos Metrôpole**, v. 22, n. 48, p. 417-434, 2020.

HURTADO, J. G. **Uma Metodologia para Mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos no município de Sinop-MT**. 50 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua - Unidade UNEMAT.Cuiabá/MT, 2023.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil municipal 2022 Morada Nova. 2025**. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/anuario.xhtml>. Acesso em: 26 out. 2025.

KAYA, C. M.; DERIN, L. Parameters and methods used in flood susceptibility mapping: a review. **Journal of Water and Climate Change**, v. 14, n. 6, p. 1935-1960, 2023.

LEITE, M. E. *et al.* Land use and environmental impacts: Flood model in a medium-sized Brazilian city as a tool for urban sustainability. **Environmental Science & Policy**, v. 151, p. 103613, 2024.

LIMA, A. C. C. **Avaliação do risco a inundações para bacia hidrográfica do Rio Jacuípe (AL/PE) a partir do método de processo analítico hierárquico – AHP e técnicas de geoprocessamento**. 2024. 99 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024.

LIMA, G. M. **Gestão de recursos hídricos e bacias hidrográficas**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional, 2018. Disponível em: [https://cm-cls-content.s3.amazonaws.com/201801/INTERATIVAS\\_2\\_0/GESTAO\\_DE\\_RECursos\\_HIDRICOS\\_E\\_BACIAS\\_HIDROGRAFICAS/U1/LIVRO\\_UNICO.pdf](https://cm-cls-content.s3.amazonaws.com/201801/INTERATIVAS_2_0/GESTAO_DE_RECursos_HIDRICOS_E_BACIAS_HIDROGRAFICAS/U1/LIVRO_UNICO.pdf). Acesso em: 26 out. 2025.

LIMA, L. D. B. *et al.* Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações na cidade do Recife-PE/Brasil. **Espaço em Revista**, Catalão, v. 27, n. 1, p. 21–44, 2025. DOI: 10.70261/er.v27i1.74841. Disponível em: <https://periodicos.ufcat.edu.br/index.php/espaco/article/view/74841>. Acesso em: 21 out. 2025.

LIMA, M. A. S.; LIRA, M. A. T.. A Variabilidade Climática e os Desastres Naturais no Estado do Ceará (1991-2019). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 603–614, jul. 2021.

MIRA, I.; SILVA, M. Mapeamento da suscetibilidade à inundação na Bacia Do Alto-médio Rios Mogi Guaçu e Pardo - MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 33, n. 74, p. 782, 2023. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2023v33n74p782. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/29949>. Acesso em: 21 out. 2025.

MNINFORMA. Registros fotográficos de inundações e alagamentos em 2024. **Instagram**: MNInforma, 2024. Reel. Disponível em: <https://www.instagram.com/reel/C5rIzc9OMnn/?igsh=MXZ4eTZ1Z3B3aWVpNg==>. Acesso em: 13 maio 2026.

MORADA NOVA. Prefeitura Municipal. **Lei nº 1.894, de 27 de maio de 2019**. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Morada Nova e dá outras providências. Disponível em: [https://www.moradanova.ce.gov.br/arquivos/475/LEIS\\_1.894\\_2019\\_0000001.pdf](https://www.moradanova.ce.gov.br/arquivos/475/LEIS_1.894_2019_0000001.pdf). Acesso em 11 de set. 2024.

MORADA NOVA. Prefeitura Municipal. **Prefeitura de Morada Nova institui Planos de Contingência para situações de risco climático**. Morada Nova, 12 nov. 2025. Disponível em: <https://www.moradanova.ce.gov.br/informa/701/prefeitura-de-morada-nova-institui-planos-de-conti>. Acesso em: 14 maio 2026.

MORADA NOVA ANTIGA. Alagamento em Morada Nova no ano de 1964. **Facebook**: Morada Nova Antiga, 2020. Disponível em: <https://www.facebook.com/share/p/18eV3XFKhi/>. Acesso em: 13 maio 2026.

MORADA NOVA ANTIGA. Evolução da ocupação do Bairro 2 de Agosto ao longo de cinco décadas. **Facebook**: Morada Nova Antiga, 2023. Disponível em: <https://www.facebook.com/share/p/17eCijRJvv/>. Acesso em: 10 jan. 2026.

MORADA NOVA ANTIGA. Lagoa da Salina na década de 1960. **Facebook**: Morada Nova Antiga, 2020. Disponível em: <https://www.facebook.com/share/p/197D4aaTi2/>. Acesso em: 10 jan. 2026.

MORADA NOVA, CEARÁ. Lagoa da Salina em 2024. **Facebook**: Morada Nova, Ceará, 2024. Disponível em: <https://www.facebook.com/share/1Kk3Jw3dc5/>. Acesso em: 10 jan. 2026.

MORADA NOVA, CEARÁ. Maior enchente que Morada Nova já teve. **Facebook**: Morada Nova, Ceará, 2018. Disponível em: <https://www.facebook.com/media/set/?vanity=moradanovaceara&set=a.1424947890940013>. Acesso em: 23 set. 2025.

NASCIMENTO, P. S. R.; DINIZIO JUNIOR, L. S. Análise hierárquica aplicada a riscos geo-hidrológico: análise espaço-temporal de alagamento e inundação no município de Aracaju (SE). **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 6, p. e025005, 2025. DOI: 10.59824/rmrh.v6.341. Disponível em: <https://periodicos.meioambiente.mg.gov.br/NM/article/view/341>. Acesso em: 21 out. 2025.

OLIVEIRA, D. P. ; BARCELLOS, P. C. L.; SILVA, J. C. Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações na cidade de Duque de Caxias. **Revista Internacional de Ciências**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 298–316, 2022. DOI: 10.12957/ric.2021.56675. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/ric/article/view/56675>. Acesso em: 21 out. 2025.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 25 out. 2021.

PARTE do Eixão será destruída para amenizar inundações. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 13 maio 2009. Disponível em: <https://diarionordeste.verdesmares.com.br/regiao/parte-do-eixao-sera-destruida-para-amenizar-inundacoes-1.95419>. Acesso em: 15 maio 2024.

PASSAGEM adaptada de água resolve excesso hídrico da enchente de Morada Nova. **Diário Vale Ceará**, 22 abr. 2024. Disponível em: <https://diariovaleceara.com.br/2024/04/22/passagem-adaptada-de-agua-adaptada-resolve-excesso-hidrico-da-enchente-de-morada-nova/>. Acesso em: 14 maio 2026.

PELEGRINI, M. S. Áreas de preservação permanente urbanas e análise de Inundações no município de são carlos - aplicação do código florestal brasileiro no córrego do Monjolinho / Urban permanent preservation areas and analysis offloods in the city of são carlos - application of the Brazilian code forestry in the Monjolinho's stream. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 3003–3017, 2021. DOI: 10.34188/bjaerv4n3-019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/32970>. Acesso em: 10 jun. 2025.

PERETTA, C. S. *et al.* O papel dos municípios brasileiros no planejamento ambiental e na gestão dos recursos hídricos: competências, desafios e perspectivas. **Perspectivas em Políticas Públicas**, v. 18, n. 35, p. 139-165, 2025.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. **Boletim de Geografia**, v. 40, p. 277-296, e63948, 16 dez. 2022.

PIMENTEL, P. G.; TEIXEIRA, W. G. Análise dos eventos hidrológicos críticos no bairro do Jardim Botânico, Rio de Janeiro. **Revista Delos**, v. 16, n. 45, p. 1931-1945, 2023.

PIROLI, E. L. **Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas** [livro eletrônico]. São Paulo: Editora UNESP, 2022. 141 p. ISBN 978-65-5714-298-1. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/wphz3/pdf/piroli-9786557142981.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

PORTELA, B. M. *et al.* Análise da vulnerabilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém, utilizando o Método de Análise Hierárquica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1247-1262, 2023.

RAHMATI, O. *et al.* Development of novel hybridized models for urban flood susceptibility mapping. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 12937, 2020.

RAMALHO, J. A. N. **Potencial de escoamento superficial, de erosão acelerada e de poluição difusa na Bacia Hidrográfica do Rio Potengi - RN.** 2025. 77f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, 2025.

RAMIRES, A. R. Mil famílias são afetadas por chuva intensa em Morada Nova. **O Povo**, Fortaleza, 22 abr. 2024. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/noticias/ceara/morada-nova/2024/04/22/amp/mil-familias-sao-afetadas-por-chuva-intensa-em-morada-nova.html>. Acesso em: 12 mar. 2026.

RAMOS, A. S. **Análise da aplicabilidade do método AHP, para mapeamento de vulnerabilidade a inundações, na bacia do rio Mundaú, em Alagoas.** 2021. 72 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

RAMOS FILHO, R. S. **Cenários de projeção do risco a inundações no estado da Paraíba.** 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2022.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process.** 2002.

SACO, P. M. *et al.* The role of soils in the regulation of hazards and extreme events. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 376, n. 1834, p. 20200178, 2021.

SAITO, S. M. *et al.* Urban population exposed to risks of landslides, floods and flash floods in Brazil. **Sociedade & Natureza**, v. 31, p. e46320, 2019.

SANTA CATARINA. Defesa Civil. **Gestão de Risco de Desastres.** [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em:

<[https://educacao.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2024/08/Gestao\\_de\\_RISCO\\_de\\_desastres\\_BAIXA.pdf](https://educacao.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2024/08/Gestao_de_RISCO_de_desastres_BAIXA.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2025.

SANTOS, A. R. V. *et al.* Desafios da regulação da drenagem e manejo das águas pluviais urbanas no Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 24., 2021, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: ABRHidro, 2021.

SANTOS, A. S. **Risco hidrológico associado com as unidades de paisagem no município de Currais Novos - RN, semiárido brasileiro.** 2024. 89 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ensino Superior do Seridó, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Caicó, 2024.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 5-18, 2005.

SGB. Serviço Geológico Do Brasil. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Morada Nova - CE**. 2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14886>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SHARMA, T. P. P. *et al.* Household vulnerability to flood disasters among tharu community, western nepal. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 12386, 2022.

SILVA, D. F. *et al.* Drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil: conceitos, gestão e estudos de caso. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 21, n. 2024, 2024.

SILVA, F. L. *et al.* Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1626-1653, 2021.

SILVA NETTO, J. P. Panorama da gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 241-258, 2022.

SILVA, T. V. *et al.* Suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão Ipanema em Ipatinga Minas Gerais. 2024. In: 21º **Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental** – Silubesa. Recife, PE.

SIMÕES, P. S. M.; COSTA, E. C. P. Uso de imagens de radar para a classificação de áreas inundadas no rio grande do sul. In: **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 20., 2024, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2024. Disponível em: <https://mail.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/118101>. Acesso em: 25 mai. 2025.

SOUSA, M. J. C.; DOS SANTOS, F. A. Vulnerabilidade social a inundações dos setores censitários do município de Piracuruca (PI). **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 319–333, 2019. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/463>. Acesso em: 5 mar. 2026.

TEIXEIRA, N. N.; ARAÚJO, A. V. S. Gestão municipal de drenagem e manejo de águas pluviais: avaliação dos impactos decorrentes da urbanização na Cidade Nova, Ilhéus-BA. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 6, p. 9968-9997, 2023.

TUCCI, C. E. M. *et al.* Proposta de governança da regulação nacional para drenagem e manejo de águas pluviais no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 21, n. 2024, 2024.

VEIGA, M. E. B. *et al.* A suscetibilidade às inundações em extremos climáticos: o papel da morfologia urbana revelado por análise multicriterial. **Paranoá**, v. 17, p. e47439-e47439, 2024.

VOJTEK, M. *et al.* Comparison of multi-criteria-analytical hierarchy process and machine learning-boosted tree models for regional flood susceptibility mapping: a case study from Slovakia. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 12, n. 1, p. 1153-1180, 2021.

YERESEME, A. K.; SURENDRA, H. J.; KUNTOJI, G. Sustainable integrated urban flood management strategies for planning of smart cities: a review. **Sustainable Water Resources Management**, v. 8, n. 3, p. 85, 2022.

# APÊNDICE

## CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS DO PERÍMETRO URBANO DE MORADA NOVA-CE

