



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE  
ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE**



**ANA CAROLINA CAVALCANTE DE LIMA**

**AVALIAÇÃO DO RISCO A INUNDAÇÃO PARA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
JACUÍPE (AL/PE) A PARTIR DO MÉTODO DE PROCESSO ANALÍTICO  
HIERÁRQUICO – AHP E TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

São Cristóvão - SE

Fevereiro, 2024

**ANA CAROLINA CAVALCANTE DE LIMA**

**AVALIAÇÃO DO RISCO A INUNDAÇÃO PARA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
JACUÍPE (AL/PE) A PARTIR DO MÉTODO DE PROCESSO ANALÍTICO  
HIERÁRQUICO – AHP E TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós – Graduação  
em Desenvolvimento e Meio Ambiente da  
Universidade Federal de Sergipe (UFS), como  
requisito final à obtenção do título de Doutora em  
Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Gregorio Guirada Faccioli –  
UFS

Coorientadora: Dra. Fabiana Carnaúba Medeiros -  
SEMARH/AL

São Cristóvão - SE

Fevereiro, 2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

L732a Lima, Ana Carolina Cavalcante.  
Avaliação do risco a inundação para bacia hidrográfica do Rio Jacuípe (AL/PE) a partir do método de processo analítico hierárquico – AHP e técnicas de geoprocessamento / Ana Carolina Cavalcante Lima; orientador Gregorio Guirada Faccioli. – São Cristóvão, SE, 2024.  
99 f. : il.

Tese (doutorado em Desenvolvimento e meio ambiente) –  
Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Meio ambiente. 2. Avaliação de riscos ambientais. 3. Responsabilidade por danos ambientais. 4. Inundações. 5. Bacias hidrográficas I. Faccioli, Gregorio Guirada, orient. II. Título.

CDU 504

# **ANA CAROLINA CAVALCANTE DE LIMA**

## **AVALIAÇÃO DO RISCO A INUNDAÇÃO PARA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JACUIPE (AL/PE) A PARTIR DO MÉTODO DE PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO – AHP E TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente como requisito final à obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em 29 de fevereiro de 2024

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **GREGORIO GUIRADA FACCIOLI**  
Data: 15/04/2024 07:25:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Gregorio Guirada Faccioli**  
Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **FABIANA CARNAUBA MEDEIROS**  
Data: 10/04/2024 14:08:20-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Dra. Fabiana Carnaúba Medeiros**  
Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH)  
Coorientadora

Documento assinado digitalmente  
 **ANTONIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA**  
Data: 15/04/2024 09:04:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Antonio Heriberto De Castro Teixeira**  
Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
Examinador interno

Documento assinado digitalmente  
 **ARIOVALDO ANTONIO TADEU LUCAS**  
Data: 15/04/2024 07:31:45-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Ariovaldo Antonio Tadeu Lucas**  
Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
Examinador externo

Documento assinado digitalmente  
 **REGLA TOUJAGUEZ LA ROSA MASSAHUD**  
Data: 12/04/2024 12:32:45-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Profa. Dra. Regla Toujaguez la Rosa Massahud**  
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)  
Examinador externo

Documento assinado digitalmente  
 **EMERSON DAMASCENO DE OLIVEIRA**  
Data: 10/04/2024 15:46:08-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Emerson Damasceno de Oliveira**  
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)  
Examinador externo

São Cristóvão - SE  
Fevereiro, 2024

Este exemplar corresponde à versão final da Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluída no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), da Universidade Federal de Sergipe (UFS).



Documento assinado digitalmente  
GREGORIO GUIRADA FACCIOLI  
Data: 15/04/2024 07:19:20-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Gregório Guirada Faccioli**

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Orientador



Documento assinado digitalmente  
FABIANA CARNAUBA MEDEIROS  
Data: 10/04/2024 14:08:20-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Dra. Fabiana Carnaúba Medeiros**

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH)

Coorientadora

## CESSÃO DE DIREITOS

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Tese e emprestar ou vender tais cópias

Documento assinado digitalmente  
 **ANA CAROLINA CAVALCANTE DE LIMA**  
Data: 14/04/2024 11:18:04-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Ana Carolina Cavalcante de Lima**

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Documento assinado digitalmente  
 **GREGORIO GUIRADA FACCIOLI**  
Data: 15/04/2024 07:21:21-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. Gregorio Guirada Faccioli**

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **FABIANA CARNAÚBA MEDEIROS**  
Data: 10/04/2024 14:08:20-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Dra. Fabiana Carnaúba Medeiros**

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH)

Coorientadora

**Dedico a**

*Minha Avó Minervina Lourenço de Lima (In Memoriam).*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família pelo apoio, incentivo, carinho e paciência.

Ao *Adsson*, meu esposo, que esteve sempre comigo, compartilhando conhecimento e até trabalho de campo fizemos juntos, obrigada por tudo, pelo apoio e dedicação.

Agradeço ao meu orientador, professor Gregorio Guirada Faccioli, por ter aceito este desafio, pelo suporte, orientação e conhecimento passado.

Agradeço a minha coorientadora Fabiana Carnaúba Medeiros, pelas correções, sugestões e apoio no decorrer da pesquisa.

À banca examinadora pelo interesse e disponibilidade.

Agradeço a todos os professores e colaboradores do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA e ao CNPQ/CAPES pelo apoio e oportunidade de aperfeiçoamento.

Por fim, obrigada a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a construção deste trabalho.

## RESUMO

Diante dos prejuízos econômicos e socioambientais desencadeados pelos desastres hidrológicos, representados pelas enchentes e inundações, e articulados com as ocupações indevidas no espaço urbano próximo as margens dos rios, se faz necessário a criação de ferramentas que possibilitem a prevenção e controle de danos decorrentes. O mapeamento das áreas suscetíveis às inundações, através de métodos quali-quantitativos e técnicas de geoprocessamento, configura uma ferramenta útil, uma vez que, ao realizar o mapeamento é possível promover um planejamento adequado da região, evitando que famílias e empreendimento diversos sejam instalados em áreas consideradas de risco. Objetiva-se identificar e avaliar as áreas suscetíveis a ocorrências de inundação na bacia hidrográfica do Rio Jacuípe através do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), e técnicas de geoprocessamento. Para compor o modelo de reclassificação, foram selecionadas quatro variáveis, a saber: características do solo, padrões de uso e ocupação do solo, e elementos geomorfológicos, como hipsometria e declividade. Os dados foram obtidos através do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas), Empresa Brasileira de Agropecuária (Embrapa) e United States Geological Survey (USGS). Após empregar o método AHP para analisar a suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, os resultados delinearam uma classificação em cinco categorias distintas de risco: baixíssimo, baixo, médio, alto e altíssimo. Uma análise detalhada do mapeamento indica que cerca de 24% da área total da bacia, equivalente a 196 km<sup>2</sup>, está classificado como alto e altíssimo risco de inundação. Os resultados indicam altíssimos riscos em regiões as margens dos corpos hídricos que fazem parte da bacia hidrográfica, em áreas com características de relevo plano, baixas altitudes e com declividades menores. Observou-se, ainda, que esta classe abrange as cidades de Jacuípe e Colônia Leopoldina em Alagoas. Deste modo, uma parte considerável destas cidades está mais suscetível à incidência de inundações caso o rio principal passe por um aumento significativo em seu nível. Portanto, esperam-se que os resultados encontrados ofereçam subsídios para a prevenção e gestão de impactos econômicos e socioambientais nos municípios integrantes da bacia do rio Jacuípe. Em outras palavras, apoiando os administradores públicos na implementação de medidas estruturais e de emergência, visando a diminuição desses riscos por meio de planos e monitoramentos eficazes.

**Palavras-chave:** Riscos Ambientais, Modelo de Reclassificação de Variáveis, Geoprocessamento.

## ABSTRACT

In view of the economic and socio-environmental damage caused by hydrological disasters, represented by floods and flooding, and combined with improper occupation of urban space near river banks, it is necessary to create tools that make it possible to prevent and control the resulting damage. The mapping of areas susceptible to flooding, using qualitative and quantitative methods and geoprocessing techniques, is a useful tool, since mapping makes it possible to promote proper planning of the region, preventing families and various enterprises from being installed in areas considered to be at risk. The aim is to identify and assess the areas susceptible to flooding in the Jacuípe River basin using the AHP (Analytic Hierarchy Process) method and geoprocessing techniques. Four variables were selected to make up the reclassification model: soil characteristics, land use and occupation patterns, and geomorphological elements such as hypsometry and slope. The data was obtained from the Annual Mapping of Land Use and Land Cover in Brazil Project (MapBiomass), the Brazilian Agricultural Company (Embrapa) and the United States Geological Survey (USGS). After using the AHP method to analyze flood susceptibility in the Jacuípe River basin, the results outlined a classification into five distinct risk categories: very low, low, medium, high and very high. A detailed analysis of the mapping indicates that around 24% of the basin's total area, equivalent to 196 km<sup>2</sup>, is classified as high and very high risk of flooding. The results indicate very high risks in regions on the banks of the water bodies that form part of the basin, in areas with flat terrain, low altitudes and lower slopes. It was also noted that this class covers the cities of Jacuípe and Colônia Leopoldina in Alagoas. As such, a considerable part of these towns is more susceptible to flooding if the main river experiences a significant rise in its level. It is therefore hoped that the results found will provide support for the prevention and management of economic and socio-environmental impacts in the municipalities that make up the Jacuípe river basin. In other words, they will support public administrators in implementing structural and emergency measures to reduce these risks through effective plans and monitoring.

**Keywords:** Environmental Risks, Variable Reclassification Model, Geoprocessing.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1:</b> Classificação dos desastres de origem natural. ....                                                                   | 30 |
| <b>Tabela 2:</b> Classificação dos desastres de origem tecnológica. ....                                                               | 30 |
| <b>Tabela 3:</b> Classificação dos desastres considerando a intensidade. ....                                                          | 31 |
| <b>Tabela 4:</b> Classificação dos Sistemas. ....                                                                                      | 44 |
| <b>Tabela 5:</b> Estações hidrometeorológicas da ANA localizadas na bacia hidrográfica do rio Jacuípe. ....                            | 51 |
| <b>Tabela 6:</b> Aspectos socioeconômicos dos municípios da Bacia do Rio Jacuípe. ....                                                 | 56 |
| <b>Tabela 7:</b> Descrição das variáveis e das fontes de obtenção dos dados espaciais adotados na elaboração dos mapas temáticos. .... | 61 |
| <b>Tabela 8:</b> Escala de importância relativa entre dois critérios do método AHP. ....                                               | 65 |
| <b>Tabela 9:</b> Matriz de decisão para elaboração dos pesos variáveis. ....                                                           | 66 |
| <b>Tabela 10:</b> Valores do Índice Randômico (IR) para matrizes quadradas de ordem $n$ . ....                                         | 67 |
| <b>Tabela 11:</b> Pesos atribuídos para as classes dos tipos de solo. ....                                                             | 72 |
| <b>Tabela 12:</b> Pesos atribuídos para as classes do uso e ocupação do solo. ....                                                     | 74 |
| <b>Tabela 13:</b> Pesos atribuídos para as classes de altitude. ....                                                                   | 76 |
| <b>Tabela 14:</b> Pesos atribuídos para as classes de declividade. ....                                                                | 78 |
| <b>Tabela 15:</b> Matriz de Comparação Pareada para Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe. ....                                            | 80 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Determinação do risco natural. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 26 |
| <b>Figura 2:</b> Esquema representando os níveis da água da calha principal de um rio em uma situação normal, enchente e inundação. ....                                                                                                                                                                                                         | 27 |
| <b>Figura 3:</b> Aspectos dos leitos do rio .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 28 |
| <b>Figura 4:</b> Comparação dos registros de desastres entre 1980 – 1999 x 2000 – 2019. ....                                                                                                                                                                                                                                                     | 32 |
| <b>Figura 5:</b> Número de desastres por ano e seus tipos (2000 – 2019).....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 33 |
| <b>Figura 6:</b> Dez países mais afetados por desastres (2000 – 2019) em comparação com os dez primeiros países mais afetados por 100.000 habitantes.....                                                                                                                                                                                        | 34 |
| <b>Figura 7:</b> (a) Desastres naturais no Brasil durante o período de 1948 a 2021 considerando a Origem. (b) Desastres naturais no Brasil durante o período de 1948 a 2021 considerando os Tipos. ....                                                                                                                                          | 35 |
| <b>Figura 8:</b> Número de casos de desastres naturais no Brasil durante o período de 1948 a 2021 e número de mortes associados a esses casos. (a) De origem biológica; (b) De origem climatológica; (c) De origem hidrológica; (d) De origem meteorológica; (e) De origem geofísico; (f) Desastres naturais considerando todas as origens. .... | 36 |
| <b>Figura 9:</b> Ciclo das fases da gestão de desastres. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 40 |
| <b>Figura 10:</b> Representação de um sistema. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 43 |
| <b>Figura 11:</b> Localização da bacia hidrográfica do rio Jacuípe. ....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 49 |
| <b>Figura 12:</b> Malha hidrográfica do rio Jacuípe. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 50 |
| <b>Figura 13:</b> Estações Fluviométricas e Pluviométricas localizadas na bacia do rio Jacuípe. ...                                                                                                                                                                                                                                              | 51 |
| <b>Figura 14:</b> Climatologia mensal da série histórica (1990 – 2020). ....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 52 |
| <b>Figura 15:</b> Registros do evento de inundação no município de Jacuípe em 2011 e 2017.....                                                                                                                                                                                                                                                   | 58 |
| <b>Figura 16:</b> Árvore de procedimentos adotados para correção dos dados altimétricos SRTM3. ....                                                                                                                                                                                                                                              | 63 |
| <b>Figura 17:</b> Esquema da Combinação Linear Ponderada usada na modelagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe. ....                                                                                                                                                                                                                           | 68 |
| <b>Figura 18:</b> Estrutura do Modelo de Reclassificação para a Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe. ....                                                                                                                                                                                                                                          | 69 |

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 19:</b> Trajeto do trabalho de campo no município de Jacuípe em Alagoas. ....                                                                                                                            | 71 |
| <b>Figura 20:</b> Trajeto do trabalho de campo no município de Colônia Leopoldina em Alagoas. ....                                                                                                                 | 71 |
| <b>Figura 21:</b> Tipos de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe e Reclassificação dos dados raster de entrada (A). ....                                                                                      | 73 |
| <b>Figura 22:</b> Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe e Reclassificação dos dados raster de entrada (B). ....                                                                              | 75 |
| <b>Figura 23:</b> Altitude da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe e Reclassificação dos dados raster de entrada (C). ....                                                                                            | 77 |
| <b>Figura 24:</b> Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe e Reclassificação dos dados raster de entrada (D). ....                                                                                         | 79 |
| <b>Figura 25:</b> Interface do plugin Easy AHP no software Qgis - Cálculos dos índices de consistência.....                                                                                                        | 81 |
| <b>Figura 26:</b> Interface do algoritmo GRASS GIS "r.mapcalc.simple" .....                                                                                                                                        | 82 |
| <b>Figura 27:</b> Mapa de risco a inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe. ....                                                                                                                             | 83 |
| <b>Figura 28:</b> Área urbana do município de Jacuípe em Alagoas. (a) Registro fotográfico; (b) Imagem de satélite com perfil altimétrico traçado; (c) Perfil altimétrico.....                                     | 85 |
| <b>Figura 29:</b> Construção de escolas do Município de Jacuípe/AL após a inundação ocorrida em 2010. (a) Registro fotográfico; (b) Imagem de satélite com perfil altimétrico traçado; (c) Perfil altimétrico..... | 86 |
| <b>Figura 30:</b> Modelo 3D do Risco de Inundação no Município de Jacuípe em Alagoas. ....                                                                                                                         | 88 |
| <b>Figura 31:</b> Modelo 3D do Risco de Inundação no Município de Colônia Leopoldina em Alagoas. ....                                                                                                              | 88 |

## SUMÁRIO

|       |                                                                         |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....                                                        | 16 |
| 1.1   | Contribuição Científica.....                                            | 18 |
| 1.2   | Objetivos.....                                                          | 19 |
| 1.2.1 | Objetivo geral .....                                                    | 19 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos.....                                              | 19 |
| 2     | REFERENCIAL TEÓRICO.....                                                | 20 |
| 2.1   | Desenvolvimento Sustentável em Recursos Hídricos.....                   | 20 |
| 2.2   | Gestão de Risco Associados a Eventos Extremos e Desastres Naturais..... | 24 |
| 2.2.1 | Risco, Vulnerabilidade e Perigo.....                                    | 24 |
| 2.2.2 | Inundação, Enchente e Alagamento: Aspectos Conceituais.....             | 26 |
| 2.2.3 | Desastres Naturais no Mundo.....                                        | 29 |
| 2.2.4 | Desastres Naturais no Brasil.....                                       | 34 |
| 2.2.5 | Gestão de Riscos a Desastres Ambientais .....                           | 37 |
| 2.3   | Abordagem Sistêmica para Eventos Hidrológicos .....                     | 42 |
| 2.3.1 | Conceito e Classificação dos Sistemas.....                              | 42 |
| 2.3.2 | Descrição de Modelo.....                                                | 45 |
| 2.3.3 | Sistema de Informação Geográfica – SIG .....                            | 46 |
| 3     | METODOLOGIA .....                                                       | 48 |
| 3.1   | Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe.....                                  | 48 |
| 3.1.1 | Rede Hidrográfica .....                                                 | 49 |
| 3.1.2 | Monitoramento Hidrometeorológico.....                                   | 50 |
| 3.1.3 | Climatologia e Meteorologia.....                                        | 52 |
| 3.1.4 | Aspectos Socioeconômicos .....                                          | 55 |
| 3.1.5 | Histórico de Inundações .....                                           | 57 |
| 3.2   | Escolha das Variáveis e Aquisição dos Dados .....                       | 60 |
| 3.3   | Pré-Processamento (Ambiente SIG).....                                   | 62 |
| 3.4   | Analytic Hierarchy Process (AHP).....                                   | 64 |
| 3.5   | Modelo Espacial de Reclassificação de Variáveis .....                   | 67 |

|            |                                                                           |           |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.6</b> | <b>Trabalho de Campo.....</b>                                             | <b>70</b> |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                       | <b>72</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Reclassificação dos Critérios .....</b>                                | <b>72</b> |
| 4.1.1      | Tipos de Solo.....                                                        | 72        |
| 4.1.2      | Uso e Ocupação do Solo .....                                              | 74        |
| 4.1.3      | Altitude.....                                                             | 76        |
| 4.1.4      | Declividade.....                                                          | 78        |
| <b>4.2</b> | <b>Risco de Inundação para Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe .....</b>    | <b>82</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                         | <b>89</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                  | <b>90</b> |
|            | <b>APÊNDICE – REGISTROS FOTOGRÁFICOS DO TRABALHO DE CAMPO (2023) ....</b> | <b>95</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Desde as primeiras grandes civilizações, os rios exercem um papel predominante em seu desenvolvimento, diante da necessidade de utilização das suas águas para meio de transporte, agricultura, abastecimento, consumo e saneamento. Nesta conjuntura, as ocupações das comunidades próximas às margens dos rios tornaram-se fundamentais, conforme a atraente aproximação dos recursos para as diversas atividades citadas (MIGUEZ et al, 2018).

Ao longo dos anos, o processo de transformações tecnológicas e socioeconômicas aliado ao crescimento populacional e expansão dos centros urbanos representaram atenuantes problemas ambientais em diversos países (UNDRR/EM-DAT, 2020). No sentido oposto do planejamento urbano, as construções irregulares em áreas geomorfologicamente vulneráveis potencializam os riscos de desastres naturais. Essas ocupações resultam na transformação de áreas com vegetação nativa em ambientes construídos, evidenciando tanto a degradação do solo quanto a ineficiência da drenagem urbana (TUCCI E BERTONI, 2003; FARIAS, 2019; MIGUEZ et al, 2018).

As enchentes e inundações são reflexos dessas mudanças provocadas por ações antrópicas e por processos naturais relacionados ao excesso de água. As inundações constituem eventos inerentes ao ciclo natural das bacias hidrográficas e seus cursos d'água. As ações humanas nos ecossistemas muitas vezes ignoram os elementos que desencadeiam tais fenômenos. Ao ocupar e alterar o ambiente de forma negligente, essas atividades levam a situações claras de risco. (TUCCI E BERTONI, 2003; FARIAS, 2019; MIGUEZ et al, 2018).

Durante o período de 2000 a 2019, as inundações afetaram cerca de 1.6 bilhão de pessoas em todo o mundo, registrando quase 104 mil mortes associadas a este fenômeno. Somam-se enormes prejuízos para a economia mundial na ordem de US\$ 60 milhões (UNDRR/EM-DAT, 2020). No Brasil, cerca de 61% dos desastres naturais são correspondentes a eventos hidrológicos de inundações (UNDRR/EM-DAT, 2020).

Os perigos decorrentes de desastres hidrológicos resultam em prejuízos materiais, ambientais e humanos, levando milhares de famílias a evacuarem suas residências, seja temporária ou permanentemente. Isso também expõe a saúde física e mental dessas pessoas a diversos tipos de riscos e doenças. (BRASIL, 2017; UNISDR, 2009). Dessa forma, o conhecimento das condições ambientais (relevo, declividade, tipos de solo, cobertura vegetal, clima) atrelado à estrutura socioeconômica (densidade populacional, moradia, renda) torna-se fundamental para um planejamento e prevenção dos impactos causados por inundações (TUCCI, 2008; VIANA, 2016; FARIAS, 2019).

A introdução de medidas de controle para reduzir os impactos resultantes de inundações, conforme indicado por Tucci (2008), pode ser categorizada em medidas estruturais e não estruturais. As medidas não estruturais envolvem previsão e alerta, e zoneamento de áreas inundáveis. Essas ações são economicamente mais acessíveis e não geram impactos significativos no meio ambiente, focando na prevenção, preservação e, principalmente, na minimização das consequências desses eventos.

Atualmente, a obtenção de informações das condicionantes ambientais para um determinado local é viabilizada em virtude dos avanços tecnológicos dos Sistemas de Informação Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto. A partir desses recursos, é possível realizar o desenvolvimento de modelos que auxiliam na identificação de áreas de risco assim como o mapeamento das áreas suscetíveis a inundação (SANTOS, 2015; SOUZA, 2011).

Diante disso, esta tese está enquadrada em medidas não estruturais, buscando contribuir para a criação de um modelo de risco a inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe (AL/PE). Nesse contexto, a hipótese investigada é que o modelo seja capaz de identificar as áreas mais suscetíveis a inundação, considerando os critérios específicos adotados. Há uma escassez de estudos e pesquisas sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe, o último levantamento foi conduzido pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas em 2005. Além disso, a bacia apresenta um histórico de enchentes ao longo dos anos, evidenciando sua vulnerabilidade e os significativos danos socioambientais associados.

A bacia hidrográfica do Rio Jacuípe localiza-se entre os estados de Alagoas e Pernambuco, possui uma área de aproximadamente 812 km<sup>2</sup> e abrange 12 municípios (SEMARH, 2005). O histórico de inundações nas bacias hidrográficas que se encontram compartilhadas entre os territórios dos estados de Pernambuco e Alagoas (i.e., Rio Mundaú, Rio Paraíba do Meio e Rio Jacuípe) revela uma localidade amplamente afetada por eventos climáticos adversos, resultando em uma má distribuição de chuvas (MOLION e BERNARDO, 2002).

Grandes inundações ganharam notoriedade nestes estados pelo nível de devastação provocada (histórico de inundações 2010, 2011, 2015, 2017, 2022). A inundação ocorrida em 2010, por exemplo, registrou 26 municípios de Alagoas em estado de calamidade pública, e 34 em estado de emergência, o desastre acarretou prejuízos ao ecossistema local e perdas e danos humanos irreparáveis (i.e., FRAGOSO, 2010; CPRM, 2013; FREIRE et al, 2014). A inundação ocorrida em 2017 não foi diferente, segundo a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil, cerca de 24.075 pessoas foram afetadas, entre elas, 16.116 pessoas desalojadas e 7.959 desabrigadas.

Na abrangência da bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, encontram-se os municípios de Colônia Leopoldina e Jacuípe, localizados no estado de Alagoas. Ainda, sabe-se que as condições ambientais e socioeconômicas demonstram um histórico de inundações presentes nestas regiões. Estas cidades passaram por processos de expansão da malha urbana de forma desorganizada nas últimas décadas, sem o suporte e fiscalização adequada por parte das autoridades públicas. Esse cenário resultou em desafios relacionados à ocupação de moradias e comércio em áreas inapropriadas. (SEMARH, 2005; FRAGOSO, 2010; CPRM, 2013; FREIRE et al, 2014).

Dessa forma, o presente estudo buscou mapear as áreas suscetíveis à ocorrência de inundações na bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, utilizando o ambiente SIG aliado ao método AHP, a fim de contribuir como instrumento para a elaboração de políticas públicas mitigadoras de eventos hidrológicos extremos.

### **1.1 Contribuição Científica**

O sistema estudado é complexo e apresenta aspectos multidisciplinares. No que concerne aos recursos hídricos, tem-se os aspectos hidrológicos da bacia, com múltiplos usos de montante a jusante, desde a captação de água para abastecimento humano, urbano e rural, dessedentação de animais, até a captação de água para Usinas sucroalcooleiras bem como a irrigação da cana-de-açúcar objetivando abastecer o processo industrial. Todas essas atividades resultam em aspectos de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do rio Jacuípe. Não obstante, no que diz respeito ao aspecto socioeconômico, os municípios que compreendem a área de estudo, possuem histórico de diversas inundações. Em períodos de grandes enchentes, essas áreas sofrem devido às deficiências nos sistemas de drenagem, seja por dimensionamento inadequado, seja pela falta de manutenção, provocando inundações, interrupção de atividades econômicas, suspensão de serviços básicos de infraestrutura assim como desabrigando as populações mais carentes. Já no âmbito ambiental, devido as características climáticas e as alterações antrópicas na bacia, questões associadas ao desmatamento e o uso inadequado do solo, acabam provocando alterações profundas no ambiente, o que por sua vez, e dificulta a sua capacidade de regeneração.

A implementação de abordagens inovadoras no âmbito da gestão de recursos hídricos desperta interesse tanto na esfera científica quanto prática. Neste estudo, buscou-se criar uma representação precisa da realidade, identificando áreas mais propensas a inundações em uma bacia hidrográfica de grande extensão, cobrindo uma área total de 812 km<sup>2</sup>. Essa representação

foi desenvolvida por meio da aplicação de métodos quali-quantitativos e técnicas avançadas de geoprocessamento, integrando-as de maneira sistemática durante as fases de mapeamento e tomada de decisões. Assim, este trabalho contribui para o aprimoramento das aplicações do método AHP e das técnicas de geoprocessamento, enriquecendo o entendimento dessas ferramentas. Além disso, a criação do modelo de risco de inundação pode ter um impacto significativo nos âmbitos socioeconômico e ambiental dos municípios, fornecendo uma base sólida para auxiliar gestores na implementação de medidas estruturais e emergenciais para redução dos riscos hidrológicos.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Identificar e avaliar as áreas suscetíveis à ocorrência de inundação na bacia hidrográfica do Rio Jacuípe através do método AHP e técnicas de geoprocessamento.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- I. Selecionar e analisar critérios para identificar áreas de risco de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe – (AL/PE), observando fatores críticos para a bacia;
- II. Desenvolver e validar um modelo de risco a inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe com base nos critérios analisados no objetivo específico I;
- III. Analisar as áreas propensas a inundação nos Municípios de Jacuípe e Colônia Leopoldina em Alagoas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Desenvolvimento Sustentável em Recursos Hídricos**

As inter-relações entre meio ambiente, desenvolvimento e sociedade passam por muitos discursos e ideologias, envolvendo várias dimensões que tangem a sustentabilidade. Segundo Beck (2011), essas inter-relações apontam uma preocupação na ligação entre o homem e a natureza nas últimas décadas, levando a debates no âmbito das avaliações dos efeitos do modelo do desenvolvimento econômico no mundo inteiro.

Durante várias décadas houve reflexões sobre essas relações e o foco residia na política e nas lutas sociais. A construção da concepção de sustentabilidade ganhou expressão política com o termo desenvolvimento, decorrente da percepção de uma crise global. Essa percepção percorreu um longo caminho até a estrutura atual, cujas origens mais recentes estão plantadas na década de 1950, quando pela primeira vez a humanidade percebe a existência de um risco ambiental global: a poluição nuclear.

Outro momento dessa percepção de crise ambiental está na publicação da obra *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), de Rachel Carson, em 1962, apesar de ser um livro antigo trata-se de uma obra que permanece atual em relação aos problemas ligados ao despejo de produtos químicos. Além disso, o livro mostra uma reflexão sobre ciência, enquanto um fenômeno social, em que as aplicações do conhecimento científico têm impactos não pretendidos e frequentemente não antecipados. Portanto o conceito de sustentabilidade advém das reflexões acadêmicas, ideológicas e tecnológicas sobre o processo atual de desenvolvimento social e econômico (DICTORO, 2016).

Os impactos nos recursos naturais, decorrentes de eventos catastróficos que se desenvolveram ao longo do tempo e foram intensificados com o processo de industrialização e urbanização, refletem as contradições entre o modelo de desenvolvimento econômico-industrial e a realidade socioambiental (MIGUEZ et al, 2018; DICTORO et al 2016). Essas contradições se traduzem na degradação ambiental, comprometendo a capacidade de regeneração da natureza, uma vez que práticas como o desmatamento e o uso inadequado do solo resultam em alterações profundas no ambiente, dificultando sua recuperação. Adicionalmente, questões como o crescimento populacional, expansão urbana, pobreza e acesso desigual aos recursos naturais contribuem para a complexidade do quadro. Nessas circunstâncias, a exposição aos riscos ambientais e o nível de vulnerabilidade socioambiental de determinadas populações tendem a aumentar (BECK, 2011).

Para Beck (2011) a noção de risco está ligada às condições de incerteza, insegurança e falta de proteção, que se manifestam nas esferas econômicas, ambientais, sociais e culturais. Nesse contexto a sociedade moderna, em prol do progresso e do desenvolvimento, modificou a capacidade de resposta da natureza e tornou os riscos cada vez mais complexos e difíceis de controlar, principalmente devido à falta de decisão política.

Dentro desse cenário, emerge a noção de progresso como algo digno de questionamento. Geralmente, o progresso é concebido como um ideal, representando o avanço contínuo da razão e do conhecimento. No livro "Valores e Atividade Científica" de Hugh Lacey, é explorada uma das principais teses que fundamentam as concepções comumente associadas à ciência, que considera o progresso científico como um impulsionador do progresso social. No entanto, é crucial compreender a quem esse progresso serve predominantemente, quais os riscos e custos sociais e ambientais associados e quem determina a direção desse progresso e com quais objetivos.

Conforme apontado por Lacey (2008), é inegável que a ciência moderna proporcionou grandes inovações tecnológicas, gerando uma vasta gama de conhecimento científico confiável e aprimorando a compreensão humana dos fenômenos naturais. No entanto, as atuais indagações sobre as práticas científicas destacam uma ciência frequentemente voltada para interesses privados, financiada por instituições públicas cujo foco principal é o desenvolvimento econômico, e por instituições privadas que buscam propriedade intelectual e o aumento de seus lucros. De acordo com Lacey:

Essas tendências reforçam determinadas características dos desenvolvimentos científicos modernos, as quais, em virtude de ter possibilitado o progresso tecnocientífico que está atualmente incorporado ao crescimento econômico, têm eventualmente contribuído para a corrente crise ambiental, com seus aspectos sociais muitas vezes devastadores. Mas tais tendências não têm produzido, ao mesmo tempo, um conhecimento que seria adequado para tratar com essa crise; além disso, os benefícios do progresso tecnocientífico não têm sido uniformemente distribuídos entre pobres e ricos pior que isso, sob as condições socioeconômicas predominantes, grande contingente de empobrecidos tem sofrido deveras, material e socialmente, como consequência de tal progresso. Isso tem enfraquecido valores democráticos essenciais – em particular, o respeito aos direitos humanos e a capacidade dos cidadãos para assumir papel ativo, responsável e participativo na conformação de práticas que atendem suas necessidades básicas (LACEY, 2008, p. 298; 299).

O conceito de risco é intrinsecamente ligado a um processo de construção social, e compreendê-lo implica considerar os contextos, opções e histórias de vida individuais. Isso permite, juntamente com a análise da vulnerabilidade socioambiental, uma visão mais abrangente dos efeitos e consequências dos impactos de desastres naturais sobre uma

população. Portanto, ao analisar os riscos de enchentes e inundações em uma bacia hidrográfica, é essencial compreender tanto a ocorrência de ameaças, como chuvas intensas, quanto a vulnerabilidade da população envolvida. (PORTO et al, 2021; BECK, 2011).

A atualidade dos estudos que abordam desastres, riscos e vulnerabilidades permite a integração de características tanto do ambiente natural quanto do contexto social, destacando-se pela contribuição para o desenvolvimento de políticas públicas. Um aspecto crucial dessas pesquisas é a compreensão de que as consequências dos desastres naturais afetam grupos sociais de diferentes maneiras, indicando que os efeitos não são democráticos nem compartilhados de forma igualitária.

Portanto, para alcançar o desenvolvimento sustentável, é necessário um planejamento criterioso que integre os aspectos relacionados ao desenvolvimento econômico, equidade social e conservação ambiental. No âmbito do planejamento ambiental de bacias hidrográficas é essencial o conhecimento dos diversos componentes geoambientais e socioeconômicos.

A temática da sustentabilidade nos recursos hídricos destacou-se na Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente em Dublin, assim como na Agenda 21, originada da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO92, 1992). Esses eventos sublinharam a importância de ações imediatas e essenciais para orientar o uso sustentável dos recursos hídricos (CRUZ, 2001). Conforme o autor:

O contínuo crescimento populacional aliado à crescente necessidade de água para usos em diversos setores econômicos e sociais foram aos poucos aumentando a pressão sobre os recursos hídricos, com progressiva redução da qualidade de água e alterações nos regimes de fluxos de água, tanto pelas quantidades derivadas como pelas obras hidráulicas construídas para atender as crescentes demandas. Tal situação levou a uma crescente preocupação com a sustentabilidade dos recursos hídricos (CRUZ, 2001, p. 42;43)

A bacia hidrográfica é uma unidade ideal de planejamento estratégico em busca do desenvolvimento sustentável (LANNA e CÁNEPA, 1994). No Brasil, a gestão dos recursos hídricos é realizada a partir do território da bacia hidrográfica, considerada como uma unidade de planejamento. Seus objetivos incluem a gestão sistemática apropriada dos recursos hídricos, levando em consideração as diversas características físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diferentes regiões. Isso envolve a gestão ambiental e a

coordenação de ações com os diversos setores nos âmbitos dos planejamentos regional, estadual e nacional.

Em 2001, com a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, estabelecida pela Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, a entidade começou a complementar a estrutura institucional da gestão de recursos hídricos no Brasil. A ANA assumiu a responsabilidade pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (CARVALHO, 2018). A agência possui o poder de outorgar, fiscalizar e cobrar pelo uso da água. Sua estrutura institucional e operacional coordena a gestão descentralizada e compartilhada dos recursos hídricos, em conformidade com as atribuições dos órgãos gestores de cada estado da federação brasileira.

Com a necessidade de legislação específica para essa unidade territorial, a gestão e administração dos recursos hídricos passaram a ser orientados pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, também estabelecido pela Lei nº 9.433/1997. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2019), o conjunto de diretrizes, metas e programas que compõem o PNRH foi elaborado por meio de um amplo processo de mobilização e participação social.

Diante dessa abordagem, questões ambientais mais complexas, como os desastres associados a enchentes e inundações, necessitam de uma análise dentro de um contexto mais amplo. Por exemplo, no território brasileiro, aproximadamente 61% dos desastres naturais estão relacionados a eventos hidrológicos, como as inundações (UNDRR/EM-DAT, 2020). Conforme apontado por Carvalho (2018), é fundamental que a utilização dos recursos hídricos e as intervenções nos cursos d'água sejam realizadas com foco na sustentabilidade. Isso implica adotar uma gestão de recursos hídricos que se baseie em um conjunto de medidas destinadas a regular o uso, o controle e a proteção desses recursos, em conformidade com a legislação e as normas aplicáveis.

## 2.2 Gestão de Risco Associados a Eventos Extremos e Desastres Naturais

### 2.2.1 Risco, Vulnerabilidade e Perigo

Segundo a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (2009), o termo "risco" apresenta duas interpretações distintas. Uma delas está associada ao uso cotidiano, indicando probabilidade, como no caso do risco de acidente. A outra definição está relacionada a contextos técnicos, nos quais a ênfase recai geralmente sobre as consequências, referindo-se às perdas potenciais por alguma causa específica em determinado local e período. Assim, nota-se que as pessoas nem sempre compartilham a mesma compreensão em relação aos significados e às causas subjacentes de diferentes tipos de riscos (UNISDR, 2009).

Conforme abordado por Aven (2010) em seu trabalho *"On how to define, understand and describe risk"*, o autor analisa a definição de risco frequentemente associada à perda esperada. Aven crítica que, a partir desse conceito, há uma lacuna na capacidade de distinguir entre situações que envolvem grandes consequências com baixas probabilidades e eventos que ocorrem com frequência, mas com consequências relativamente pequenas.

Aven (2010), portanto, propõe que necessitamos abordar o risco além da probabilidade de ocorrência e das devidas proporções. O autor destaca três definições de acordo com a literatura científica:

- i. O risco é uma medida da probabilidade e gravidade dos efeitos adversos;
- ii. O risco é a combinação da probabilidade de um evento e das suas consequências;
- iii. O risco é igual aos três componentes ( $S_i$ ,  $P_i$ ,  $C_i$ ), em que  $S_i$  representa o cenário  $i$ ;  $P_i$  representa a probabilidade desse cenário; e por fim  $C_i$  é a consequência do cenário  $i = 1, 2, \dots, N$ ;

A partir das descrições fornecidas anteriormente, é evidente perceber que em ambas, a concepção de risco engloba eventos (cenários), suas consequências (resultados) e as probabilidades associadas. Nesse contexto, as incertezas são representadas por meio de probabilidades, e a intensidade é uma maneira de descrever as consequências (AVEN, 2010).

Outros autores como Olimpo et al (2017), destacam que o conceito de risco envolve a possibilidade de um resultado adverso e a incerteza em relação à ocorrência, momento ou magnitude desse resultado. Essa relação expressa o risco em função do perigo e da vulnerabilidade. Em outras palavras, os riscos são contextualizados em relação a um indivíduo

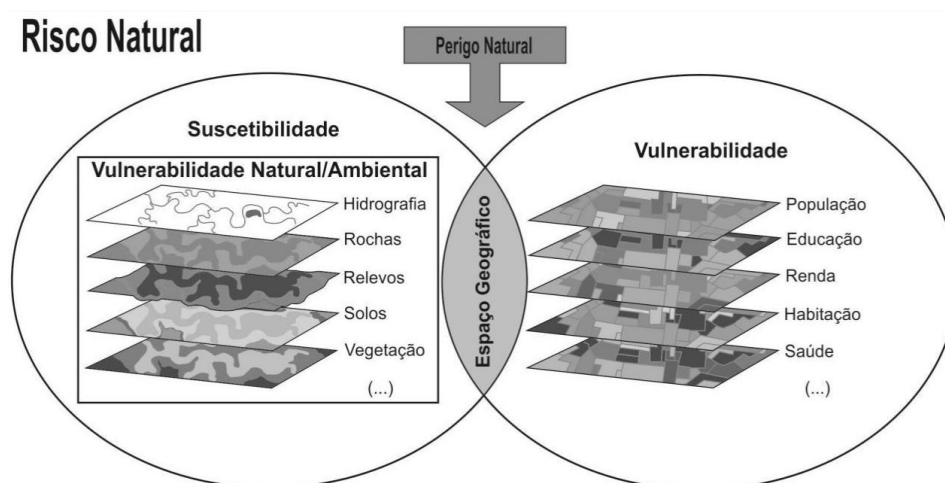
(ou grupo de indivíduos) que esteja exposto, suscetível e/ou vulnerável a um evento específico que possa causar-lhe danos, incluindo prejuízos que não possuem expressão de cunho econômico, atingindo direitos fundamentais da pessoa. É essencial que o sujeito perceba o perigo iminente. Conforme mencionado por Olímpio (2017), os riscos se manifestam somente quando há a simultaneidade de um evento perigoso e a presença de vulnerabilidade.

Como mencionado anteriormente, a vulnerabilidade é mais acentuada nos assentamentos urbanos precários, situados em áreas urbanas de menor valor econômico, muitas vezes localizadas em regiões ambientalmente inseguras e abrigando populações de menor poder aquisitivo (CUTTER, 2001; BECK, 2011). As residências nessas localidades, construídas em áreas sujeitas a inundação, próximas a falhas geológicas ou em zonas industriais contaminadas e perigosas, enfrentam diversas limitações econômicas, resultando em infraestrutura precária e métodos construtivos inadequados. Dessa forma, evidencia-se que a vulnerabilidade está intrinsecamente relacionada à posição socioeconômica de grupos específicos (CUTTER, 2001).

O Glossário de Defesa Civil desenvolvido por Castro (2009), afirma que a vulnerabilidade refere-se ao grau de insegurança inerente a um cenário de desastre diante de um evento adverso específico. Nesse contexto, Pinheiro (2015) ressalta a importância de abordar os desastres considerando as causas subjacentes de suas vulnerabilidades. O autor ressalta ainda que a vulnerabilidade é o único elemento que pode ser controlado pelos seres humanos, influenciando diretamente a ocorrência de desastres, ao passo que eventos extremos, como chuvas intensas e estiagens, não estão sujeitos à intervenção humana.

Em síntese, a vulnerabilidade engloba uma série de condições influenciadas por fatores físicos, sociais, econômicos, culturais, técnicos, educativos e ambientais (Figura 1), que ampliam a fragilidade de uma comunidade diante das ameaças e tornam as pessoas mais propensas ao perigo (OLÍMPIO et al, 2017; CEMADEN, 2017). Conforme o relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2012), a vulnerabilidade desempenha um papel cada vez mais essencial na explicação do grau de impacto, sendo uma das principais causas do aumento dos danos e prejuízos resultantes de desastres frequentes.

**Figura 1:** Determinação do risco natural.



**Fonte:** OLIMPIO et al, (2017).

Como observado na figura 1, os riscos relacionados a desastres naturais não dependem apenas das condições físicas e cenários, mas também das ações humanas e das condições da população exposta aos fatores de vulnerabilidade. Portanto, a concepção de risco está intrinsecamente ligada à incerteza, insegurança e ausência de proteção, manifestando-se nos âmbitos econômico, ambiental, social e cultural.

Dessa maneira, o risco é resultado da probabilidade de um fenômeno ameaçador (seja natural ou antrópico) que atua sobre um sistema socioeconômico com determinado nível de vulnerabilidade, culminando em um desastre. A ameaça, por sua vez, é a estimativa da ocorrência e magnitude de um evento adverso, expressa em termos da probabilidade estatística de concretização e da provável magnitude de manifestação. Trata-se de uma situação com potencial para causar danos e prejuízos ao ser humano, ao meio ambiente e/ou aos bens materiais (e.g., BECK, 2011; DICTORO et al 2016; CEMADEN, 2017). É crucial destacar que pesquisas que tratam de desastres, riscos e vulnerabilidades possibilitam a integração de aspectos naturais e sociais, fornecendo subsídios para a elaboração de políticas públicas. (PORTO et al, 2021).

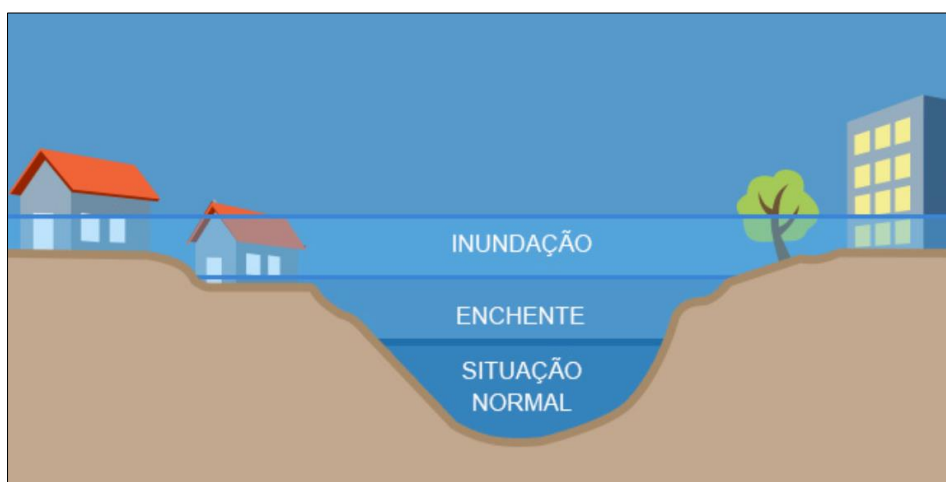
### 2.2.2 Inundação, Enchente e Alagamento: Aspectos Conceituais

As enchentes e inundações são eventos associados a desastres naturais, mais especificamente classificados como desastres hidrológicos, e representam um dos principais desafios ambientais que afetam regularmente diversas comunidades em várias partes do globo. Os fatores relevantes nesta categoria incluem causas naturais, como o excesso de água devido

a cheias extremas ou problemas na drenagem urbana, além de mudanças provocadas por ações humanas (e.g., MIC/IPT, 2007; MIN, 2012; 2017; MIGUEZ et al, 2018).

Conforme o Ministério da Integração Nacional (MIN, 2012; 2017), por meio da Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE, o termo "inundação" refere-se a áreas submersas fora dos limites normais de um curso d'água em zonas que normalmente não estão inundadas. A inundação se caracteriza pelo extravasamento das águas do canal de drenagem para regiões adjacentes, como planícies de inundação, várzeas ou leitos mais amplos de rios, quando a elevação do nível da água ultrapassa a cota máxima da calha principal do rio, conforme demonstrado na figura 2 (e.g., MIC/IPT, 2007; CEMADEN, 2016).

**Figura 2:** Esquema representando os níveis da água da calha principal de um rio em uma situação normal, enchente e inundação.



**Fonte:** CEMADEN (2016).

Já as enchentes se referem à elevação do nível da água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, alcançando a cota máxima do canal, mas sem ocorrer extravasamento (FUNASA, 2016). Em contrapartida, alagamentos são identificados pelo transbordamento da capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem urbana, resultando no acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, devido às chuvas intensas (CEMADEN, 2016).

As inundações têm gerado impactos socioeconômicos expressivos em escala mundial, afetando mais de 1.6 bilhão de pessoas e resultando em quase 104 mil óbitos entre os anos de 2000 e 2019 (UNDRR/EM-DAT, 2020). Os danos englobam perdas patrimoniais, danificações em residências, congestionamentos no trânsito, deslocamento massivo de populações, interrupção de atividades econômicas, paralisação de serviços básicos de infraestrutura, mudanças na qualidade da água e propagação de doenças relacionadas à água. Tempestades

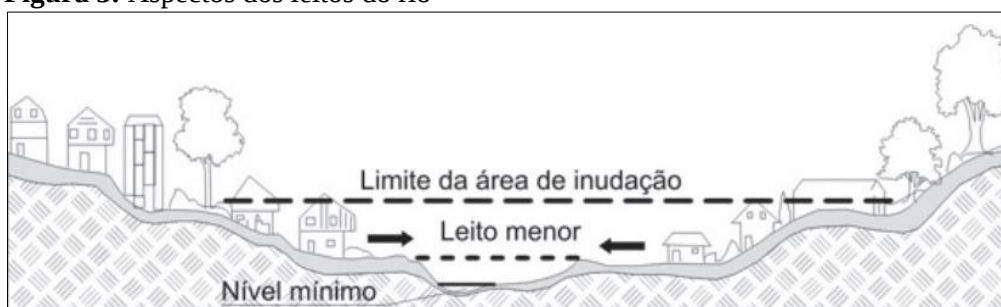
mais intensas podem acarretar impactos ainda mais graves, como deslizamentos de terra e perdas de vidas humanas (PAES e BRANDÃO, 2013; TORGERSEN et al, 2015).

Os assentamentos urbanos, em grande parte, estão situados em regiões de planícies de inundação. Compreende-se que as planícies de inundação representam regiões marginais responsáveis por receber os excessos de água que transbordam nos canais de drenagem (CEMADEN, 2016). Dessa forma, o crescimento desordenado das cidades tem resultado em uma constatação contínua do aumento na intensidade e na abrangência dos eventos de inundação, com consequentes impactos na população.

Segundo Tucci (2008), as inundações podem ser originadas por condições naturais ou como o resultado de intervenções humanas, como urbanização ou obras hidráulicas, sendo essas condições explicadas pelas características dos leitos dos rios (Figura 3). Dessa forma, de acordo com o autor, o escoamento pluvial pode desencadear inundações e ter impactos em áreas urbanas devido a dois processos que podem ocorrer isoladamente ou em conjunto: inundações em áreas ribeirinhas e inundações decorrentes da urbanização.

Nesse contexto, as inundações em áreas ribeirinhas têm origem no leito mais amplo dos rios, devido à variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica. Já as inundações relacionadas à urbanização ocorrem nos sistemas de drenagem urbana, devido aos efeitos da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao fluxo (TUCCI, 2008).

**Figura 3:** Aspectos dos leitos do rio



**Fonte:** TUCCI (2008).

Quando a precipitação é intensa e a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio excede sua capacidade de drenagem, provocam-se inundações nas áreas ribeirinhas. Os impactos decorrentes das inundações variam de acordo com o grau de ocupação da várzea pela população e a frequência desses eventos. Nesse cenário, a velocidade de propagação da onda de inundação pode atingir regiões onde há um risco de desastre natural para a população (TUCCI e BERTONI, 2003; CEMADEN, 2016).

Tucci aborda os principais desafios ligados à infraestrutura e ao processo de urbanização em países em desenvolvimento:

Grande concentração populacional em pequena área, com deficiência no sistema de transporte, falta de abastecimento e saneamento, ar, água poluída e inundações. Essas condições ambientais inadequadas reduzem condições de saúde, qualidade de vida da população, impactos ambientais, e são as principais limitações ao seu desenvolvimento; O aumento da periferia das cidades de forma descontrolada pela migração rural em busca de emprego. Esses bairros geralmente estão desprovidos de segurança, de infraestrutura tradicional de água, esgoto, drenagem, transporte e coleta de resíduos sólidos, e são dominados por grupos de delinquentes geralmente ligados ao tráfico de drogas; A urbanização é espontânea e o planejamento urbano é realizado para a cidade ocupada pela população de renda média e alta. Para áreas ilegais e públicas, existe invasão e a ocupação ocorre sobre áreas de risco como de inundações e de escorregamento, com frequentes mortes durante o período chuvoso. Parte importante da população vive em algum tipo de favela. Portanto, existem a cidade formal e a informal. A gestão urbana geralmente atinge somente a primeira (TUCCI, 2008, p.63).

A população com maior poder aquisitivo geralmente opta por residir em áreas seguras, ao passo que a população carente ocupa as regiões de alto risco ambiental, gerando problemas sociais que se repetem a cada inundação na área. Ainda, em situações de baixa frequência de inundações, a população adquire confiança e subestima o risco, resultando em aumento significativo de densificação nas áreas propensas a inundação. Nesse cenário, as enchentes assumem características catastróficas (TUCCI e BERTONI, 2003).

### 2.2.3 Desastres Naturais no Mundo

Conforme definido no Decreto Nº 10.593, de 24 de dezembro de 2020, art. 2º, inciso VII, que versa sobre a organização e o funcionamento do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, o termo "desastre" é caracterizado como o resultado de eventos adversos decorrentes de ações naturais ou antrópicas em cenários vulneráveis, causando danos humanos, materiais ou ambientais, assim como prejuízos econômicos e sociais.

Dessa forma, desastres representam eventos que ocasionam perturbações significativas no funcionamento rotineiro de uma comunidade ou sociedade, decorrentes de eventos extremos em conjunto com condições sociais de vulnerabilidade. Essas circunstâncias resultam em efeitos adversos abrangentes nos aspectos humano, material, econômico e ambiental, demandando uma resposta de emergência imediata para atender às necessidades humanas críticas. Frequentemente, essas situações requerem assistência externa para facilitar a recuperação. É importante ressaltar que o risco não é o desastre em si; o desastre é a materialização do risco, e sua intensidade é influenciada pelas condições de vulnerabilidade

interagindo com as ameaças (MIC/IPT, 2007; MIN, 2012; 2017; MIGUEZ et al, 2018; VENTURA et al, 2020).

A classificação de desastres pode ocorrer de diversas formas, considerando a origem (naturais e tecnológicos), a periodicidade (esporádicos e sazonais), a evolução (súbitos ou graduais) e a intensidade (níveis I e II). As categorias mais amplamente utilizadas separam os desastres conforme a origem e a intensidade. As tabelas 1 e 2 resumem a classificação quanto à origem, enquanto a tabela 3 apresenta a classificação relacionada à intensidade, conforme a Codificação Brasileira de Desastres (CEPED/UFSC, 2014).

**Tabela 1:** Classificação dos desastres de origem natural.

| <b>Categoria</b> | <b>Grupo</b>       | <b>Subgrupo</b>                                              |
|------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Natural</b>   | <b>Hidrológico</b> | <b>Inundações; Enxurradas; Alagamentos</b>                   |
|                  | Meteorológico      | Sistema de grande escala; Tempestades; Temperaturas extremas |
|                  | Climatológico      | Seca                                                         |
|                  | Biológico          | Epidemias; Infecções/Pragas                                  |
|                  | Geológico          | Terremoto; Emissão Vulcânica; Movimento de massa             |

**Fonte:** COBRADE/Ministério da Integração Nacional, adaptado de CEPED/UFSC (2014).

**Tabela 2:** Classificação dos desastres de origem tecnológica.

| <b>Categoria</b>   | <b>Grupo</b>            | <b>Subgrupo</b>                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tecnológico</b> | Substâncias Radioativas | Desastres siderais com riscos radioativos; Desastres com substâncias e equipamentos radioativos de uso em pesquisas, indústrias e usinas nucleares; Desastres relacionados com riscos de intensa poluição ambiental provocada por resíduos radioativos |
|                    | Produtos Perigosos      | Desastres em plantas e distritos industriais, parques e armazenamentos com extravasamento de produtos perigosos; Contaminação da água; Conflitos Bélicos; Transporte de produtos perigosos                                                             |

|  |                                                  |                                                                                                             |
|--|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Incêndios Urbanos                                | Incêndios Urbanos                                                                                           |
|  | Obras Civas                                      | Colapso de edificações;<br>Rompimento/colapso de barragens                                                  |
|  | Transporte de passageiros e cargas não perigosas | Transporte rodoviário; Transporte ferroviário; Transporte aéreo; Transporte marítimo; Transporte aquaviário |

**Fonte:** COBRADE/Ministério da Integração Nacional, adaptado de CEPED/UFSC (2014).

A categorização da intensidade dos desastres é estabelecida considerando critérios que levam em conta a relação entre a demanda de recursos necessários para restaurar a normalidade, a disponibilidade desses recursos na região afetada pelo desastre e os diversos níveis do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC. Portanto, a avaliação da intensidade dos desastres desempenha um papel crucial ao facilitar o planejamento das operações de resposta e recuperação nas áreas impactadas (TOMINAGA et al, 2009).

Desse modo, no que se refere à intensidade, os desastres podem ser classificados em dois níveis como descrito na tabela 3 (Instrução normativa Nº-1, DE 24 DE AGOSTO DE 2012, art. 3, Ministério da Integração Nacional).

**Tabela 3:** Classificação dos desastres considerando a intensidade.

|                 |                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nível I</b>  | Desastres de média intensidade.      | Aqueles em que os danos e prejuízos são suportáveis e superáveis pelos governos locais e a situação de normalidade pode ser restabelecida com os recursos mobilizados em nível local ou complementados com o aporte de recursos estaduais e federais.                                                   |
|                 | Decretação de situação de emergência |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Nível II</b> | Desastres de grande intensidade.     | Aqueles em que os danos e prejuízos não são superáveis e suportáveis pelos governos locais, mesmo quando bem preparados, e o restabelecimento da situação de normalidade depende da mobilização e da ação coordenada das três esferas de atuação do SINPDEC e, em alguns casos, de ajuda internacional. |
|                 | Estado de Calamidade Pública.        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

**Fonte:** COBRADE/Ministério da Integração Nacional, adaptado de CEPED/UFSC (2014).

Segundo dados apresentados no relatório "The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019)" da UNDRR/EM-DAT (2020), nas últimas duas décadas, o planeta foi impactado por 7.348 eventos de desastres, todos minuciosamente documentados pela EM-DAT (Emergency Disasters Database). Essa plataforma engloba informações fundamentais sobre mais de 22.000 desastres em todo o mundo desde o ano de 1900 até o

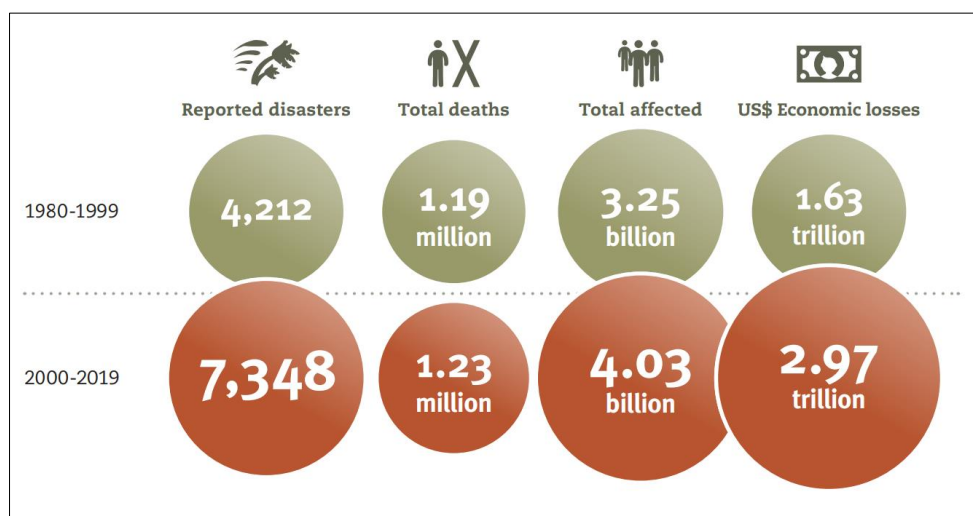
presente momento. A compilação dessa base de dados é proveniente de diversas fontes, como agências da ONU, organizações não governamentais, empresas de seguros, institutos de pesquisa e agências de notícias.

Os desastres que ocorreram entre 2000 e 2019 revelaram um aumento significativo em comparação com o período de 1980 a 1999, registrando 7.348 e 4.212 ocorrências de desastres, respectivamente. Isso representa um aumento de 75% entre esses dois períodos históricos (Figura 4). Outros dados relevantes durante o período de 2000 a 2019, como ilustrado na figura 4, indicam que esses desastres resultaram na perda de aproximadamente 1,23 milhão de vidas, com uma média de 60.000 por ano, afetando mais de 4 bilhões de pessoas. Além disso, esses eventos representaram cerca de 2,97 trilhões de dólares em perdas econômicas em escala global.

O relatório segue os critérios objetivos do EM-DAT sobre desastres (UNDRR/EM-DAT, 2020), levando em consideração a presença de pelo menos um dos seguintes critérios:

- 10 ou mais óbitos;
- 100 ou mais pessoas afetadas;
- Declaração de estado de emergência;
- Pedido de auxílio internacional.

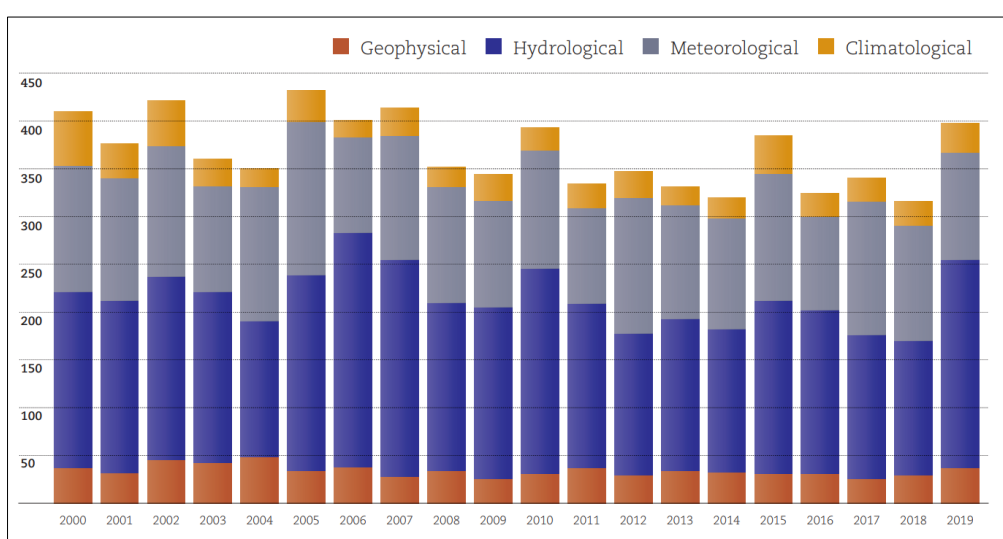
**Figura 4:** Comparação dos registros de desastres entre 1980 – 1999 x 2000 – 2019.



**Fonte:** UNDRR/EM-DAT (2020).

Prosseguindo com a análise com base no relatório da UNDRR/EM-DAT (2020), a figura 5 ilustra a quantidade e a natureza dos desastres ao longo das últimas décadas. Observa-se que os desastres hidrológicos e meteorológicos foram os mais prevalentes globalmente, constituindo aproximadamente 44% para inundações e 28% para tempestades. Os desastres climatológicos, englobando secas e incêndios florestais, contribuíram com cerca de 5% e 3% do total de eventos, respectivamente. Por último, os eventos geofísicos, como terremotos e atividades vulcânicas, representaram 9% do conjunto de desastres registrados em todo o mundo durante esse período.

**Figura 5:** Número de desastres por ano e seus tipos (2000 – 2019)



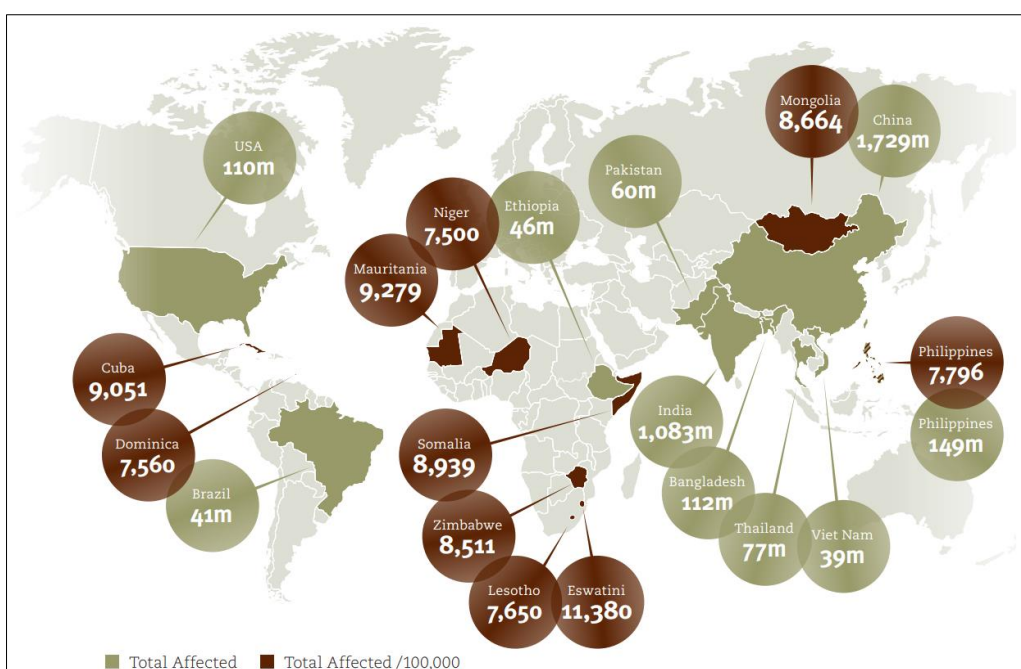
**Fonte:** UNDRR/EM-DAT (2020).

As ocorrências de desastres e seus impactos em números absolutos são dominados por países como China e Índia, em grande parte devido às suas populações massivas. Juntas, essas duas nações representam mais de 2,8 milhões de pessoas afetadas por desastres entre 2000-2019 (Figura 6), aproximadamente 70% do total global. A lista dos 10 principais países, por número absoluto de pessoas afetadas pela catástrofe, é predominantemente asiática (7 países), com apenas dois representantes das Américas (EUA e Brasil) e um da África (Etiópia). Quando os dados são ajustados para fornecer o número de pessoas afetadas por 100.000 habitantes, a lista apresenta diferenças significativas, com apenas as Filipinas presentes em ambas (UNDRR/EM-DAT, 2020).

Esses dados reforçam a correlação entre o nível de desenvolvimento e o impacto dos desastres, indicando que países com menor Índice de Desenvolvimento Humano têm um maior número de pessoas afetadas por ocorrências de desastres naturais (Ministério da Integração Nacional, 2017; UNDRR/EM-DAT, 2020). Alcántara-Ayala (2002) destaca que, na maioria

dos casos, a incidência de desastres naturais em países de baixa renda está relacionada a dois fatores principais. O primeiro refere-se às características geográficas, como propensão a atividades vulcânicas, sismicidade, inundações, entre outros, conforme os cenários geomorfológicos. O segundo fator está associado ao desenvolvimento histórico, incluindo aspectos econômicos, sociais, políticos e culturais, que frequentemente contribuem para condições precárias e, conseqüentemente, para uma maior vulnerabilidade a desastres naturais.

**Figura 6:** Dez países mais afetados por desastres (2000 – 2019) em comparação com os dez primeiros países mais afetados por 100.000 habitantes.

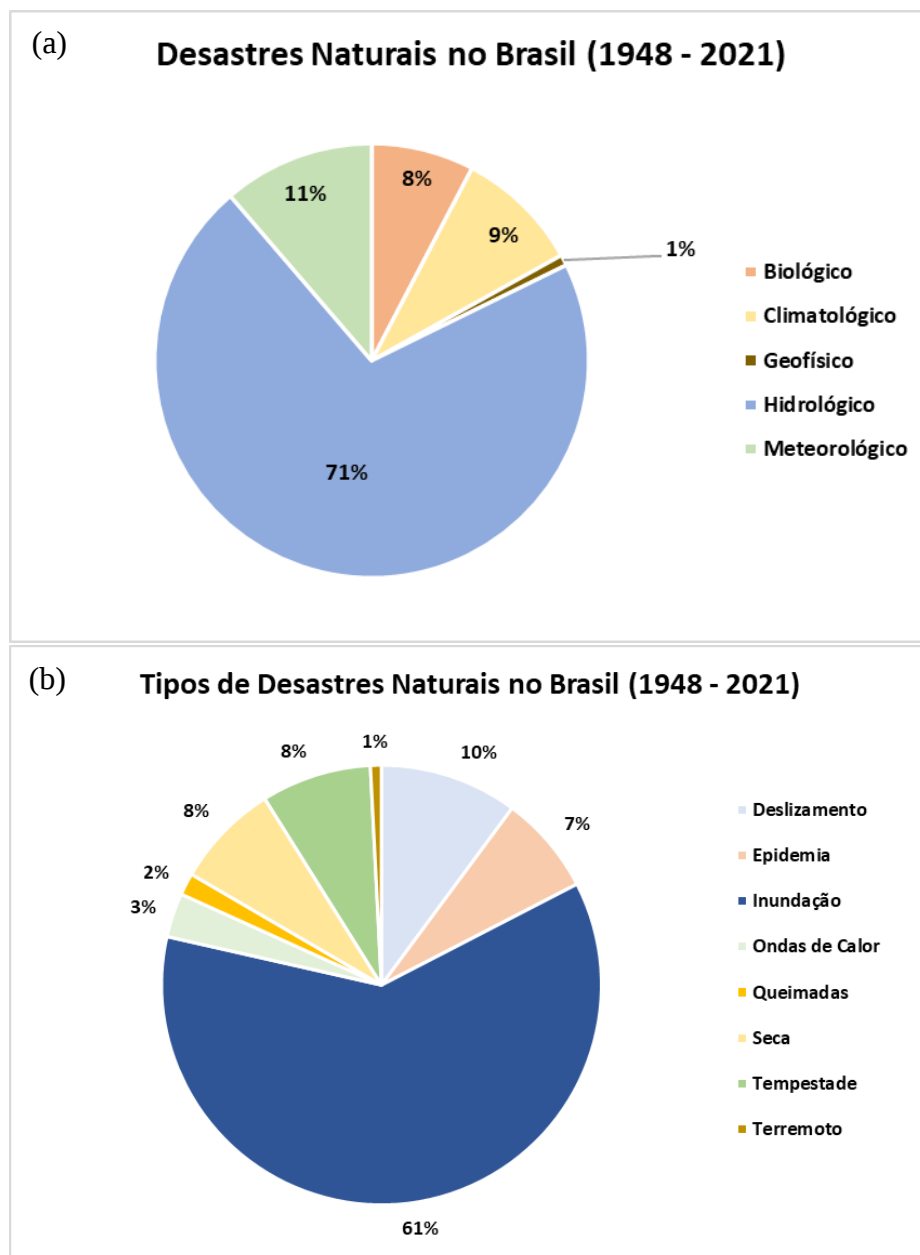


**Fonte:** UNDRR/EM-DAT (2020).

#### 2.2.4 Desastres Naturais no Brasil

A diversidade geográfica e a vasta extensão territorial do Brasil o expõem a uma ampla gama de desastres naturais, frequentemente desencadeados por fenômenos climáticos e geológicos, afetando diversas áreas do país. Os principais fenômenos associados a desastres naturais no Brasil resultam da dinâmica externa da Terra (Figura 7). Entre eles, destacam-se inundações e enchentes, deslizamentos e tempestades. Os dados sobre desastres naturais no Brasil, conforme apresentados pelo EM-DAT, diferem da classificação do Ministério da Integração Nacional (2012), que categoriza deslizamentos como parte dos processos geológicos, enquanto o EM-DAT inclui deslizamentos como uma tipologia de desastres hidrológicos.

**Figura 7:** (a) Desastres naturais no Brasil durante o período de 1948 a 2021 considerando a Origem. (b) Desastres naturais no Brasil durante o período de 1948 a 2021 considerando os Tipos.

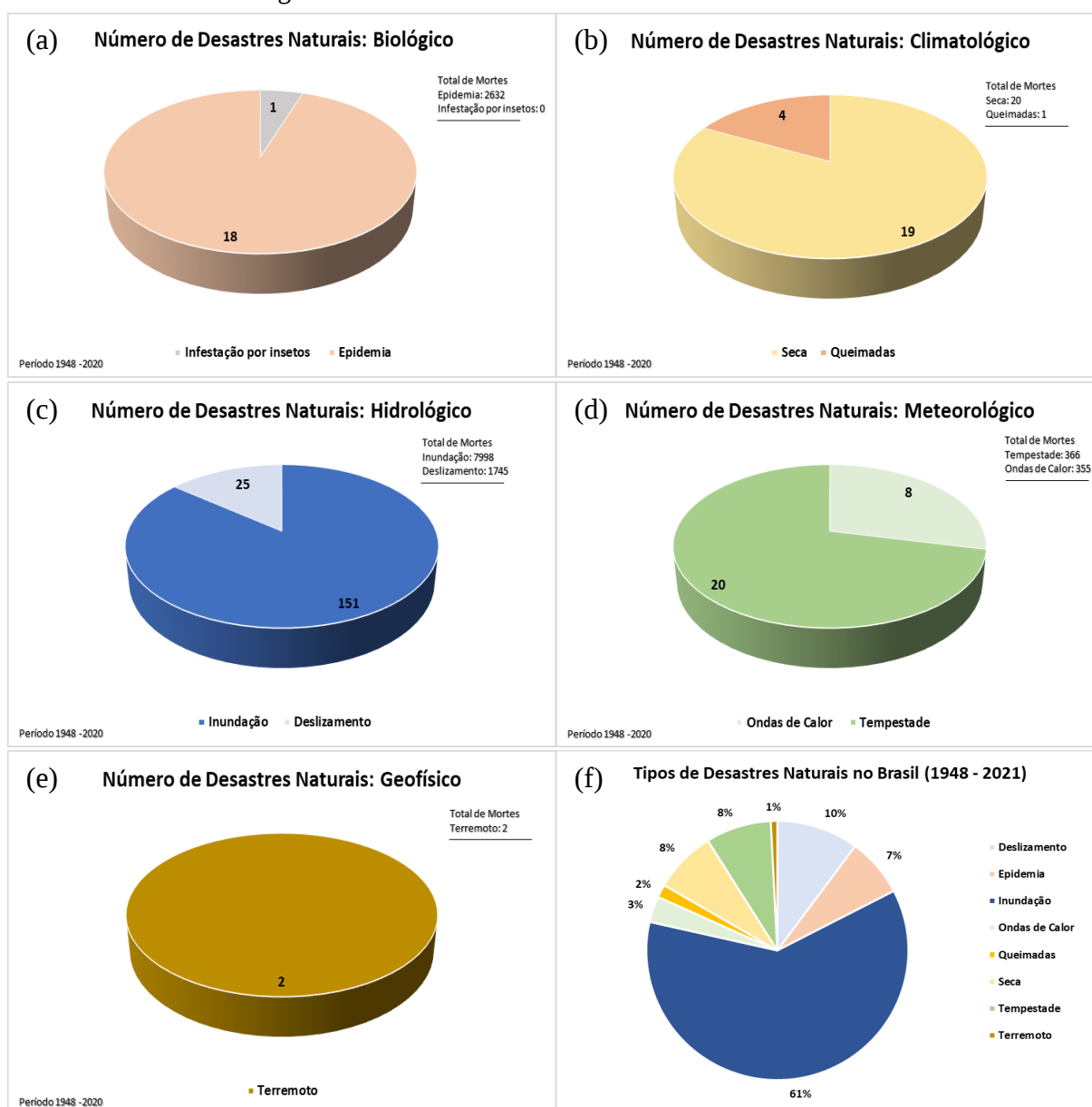


**Fonte:** Autores (2021).

Nesse contexto, é relevante observar que 71% dos desastres naturais registrados entre 1948 e 2021 no Brasil estão relacionados a eventos hidrológicos, abrangendo tanto inundações (61%) quanto deslizamentos de solo (10%). Ao seguir a metodologia do EM-DAT, foram identificados 176 desastres hidrológicos que resultaram em 9.743 mortes (Figura 8). As tempestades, categorizadas como desastres meteorológicos, representam aproximadamente 8% do total de eventos observados. Importante ressaltar que esses fenômenos geralmente estão associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados.

As inundações no Brasil representam eventos recorrentes que impõem desafios significativos em várias regiões do país. Esses fenômenos são comumente desencadeados por fatores climáticos, como chuvas intensas e tempestades, associados a características geográficas e padrões de ocupação do solo (TUCCI, 2008).

**Figura 8:** Número de casos de desastres naturais no Brasil durante o período de 1948 a 2021 e número de mortes associados a esses casos. (a) De origem biológica; (b) De origem climatológica; (c) De origem hidrológica; (d) De origem meteorológica; (e) De origem geofísico; (f) Desastres naturais considerando todas as origens.



**Fonte:** Autores (2021).

Diante das informações apresentadas, é possível concluir que o Brasil compartilha uma tendência semelhante a outros países, registrando um notável aumento na frequência de desastres naturais nas últimas décadas. Esse aumento está diretamente vinculado ao

crescimento populacional desordenado, especialmente em centros urbanos e áreas periféricas, resultando na ocupação de locais que apresentam riscos, ou seja, em áreas inadequadas de acordo com características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis (TOMINAGA et al, 2009; NOAL et al, 2016).

Dessa forma, conforme Noal et al (2016), a configuração do espaço urbano no Brasil evidencia uma notável concentração populacional que passou a ocupar de maneira desordenada as áreas de inundação natural dos cursos d'água, sobretudo pela população de menor poder aquisitivo. Nesse contexto, surgem conflitos quanto ao uso da terra, resultando em situações em que uma parte da população urbana se encontra, frequentemente, em condições de vulnerabilidade socioambiental diante de eventos climáticos extremos, sendo as inundações os mais comuns entre eles (BECK, 2011).

De acordo com Alheiros (2011), a causa primordial para a grande ocorrência de desastres no Brasil deve-se ao déficit de moradias para a população carente e a falta de controle urbano sobre a ocupação.

A grande desigualdade social e econômica e a herança resultante do processo de urbanização intensificado a partir dos anos 1940, como principais responsáveis pelos 3,2 milhões de domicílios em assentamentos precários. Esses assentamentos se caracterizam pela informalidade na posse da terra, ausência ou insuficiência de infraestrutura, irregularidade no processo de ordenamento urbano, falta de acesso a serviços e moradias com graves problemas de habitabilidade, construídas pelos próprios moradores sem apoio técnico e institucional (ALHEIROS, 2011, p. 112).

A discussão sobre a ocupação em áreas de proteção ambiental, margens de rios e encostas é uma questão antiga e revela a negligência por parte do governo local para conter tal fenômeno. Atividades humanas, como desmatamentos, cortes de terreno, aterros, modificações nas drenagens, descarte inadequado de resíduos e construção de moradias sem a implementação de infraestrutura adequada, contribuem para o aumento das incidências de desastres (TOMINAGA et al, 2009; NOAL et al, 2016).

#### 2.2.5 Gestão de Riscos a Desastres Ambientais

O IPCC (2012) define gestão de risco a desastre como “processos de concepção, implementação e avaliação de estratégias, políticas e medidas para melhorar a compreensão e redução do risco a desastres, fomentar a transferência de tal risco e promover a melhoria contínua da preparação da resposta e práticas de recuperação frente a desastres, com o objetivo

explícito de aumentar a segurança, o bem-estar, a qualidade de vida da humanidade, a resiliência e o desenvolvimento sustentável”.

Quando é mencionado “resiliência”, relaciona-se com a capacidade de resistência de um dado objeto, organismo ou pessoa a um determinado impacto (MENDONÇA, 2015). Destaca-se a vital importância de preparar as cidades para eventos extremos. Segundo UNISDR (2012), a resiliência refere-se à habilidade de um sistema, comunidade ou sociedade que está exposto a riscos de resistir, absorver, adaptar e recuperar-se eficaz e prontamente dos efeitos de ameaças. Isso é alcançado pela preservação e restauração de suas estruturas vitais e funções fundamentais. A promoção da resiliência direciona investimentos para fortalecer a capacidade global de uma área urbana, promovendo uma economia e sociedade dinâmica e saudável em diversas circunstâncias.

Dessa forma, enfatiza-se que o conceito e a prática de redução de riscos de desastres devem ser desenvolvidos por meio de esforços sistemáticos, visando "analisar e gerenciar os fatores causais de desastres, incluindo a diminuição da exposição aos riscos, a redução da vulnerabilidade de pessoas e bens, bem como a gestão responsável da terra e do meio ambiente" (UNISDR, 2012, p.86).

Conforme indicado por Cardona (2008), a gestão de riscos engloba um conjunto de elementos, medidas e instrumentos voltados para intervir nas ameaças ou vulnerabilidades, buscando reduzir ou mitigar os riscos existentes. O autor ressalta que, na formulação da política de gestão de desastres, é fundamental considerar:

- i. Conhecimento da dinâmica, incidência, causalidade e natureza dos fenômenos que podem se tornar ameaças e as vulnerabilidades a esses eventos;
- ii. Incentivo e promoção de vários mecanismos e ações adequadas para reduzir as condições de risco existentes, incluindo mecanismos de reordenamento territorial, reassentamento humano, recuperação e controle ambiental, reforço de estruturas, construção de infraestrutura de proteção ambiental, diversificação de estruturas produtivas, fortalecimento de níveis organizacionais, etc.;
- iii. Capacidade de prever, medir e divulgar informações confiáveis sobre mudanças contínuas no ambiente físico e social, e sobre a iminência de eventos nocivos, destrutivos ou desastrosos;
- iv. Preparação da população, instituições e organizações para enfrentar os desastres iminentes e para responder de forma eficaz ao impacto de um determinado evento físico, que potenciem e utilizem as competências da população;

- v. Mecanismos que garantam a efetiva implementação, organização e controle dos esquemas de reabilitação e reconstrução que considerem, entre outros aspectos, a redução do risco nas áreas afetadas;
- vi. Prospectiva redução do risco em projetos futuros, através da análise de risco nos processos de tomada de decisão e de investimento, e da utilização de mecanismos de ordenamento do território, controle das construções, gestão ambiental, etc;
- vii. Investimento em processos educativos a todos os níveis que garantam uma compreensão adequada do problema do risco e das opções para o seu controle, redução ou modificação (CARDONA, 2008, p.6)

Portanto, a eficácia da gestão de riscos demanda uma compreensão aprofundada do próprio risco, isto é, da probabilidade de ocorrerem consequências prejudiciais resultantes da interação entre um perigo natural e as condições de vulnerabilidade locais. O sucesso na gestão de desastres é estabelecido principalmente ao compreender os fenômenos naturais específicos de uma região específica e ao preparar as comunidades de maneira adequada para enfrentar as consequências desses eventos (CARDOSO, 2015).

A análise de risco desempenha um papel fundamental no planejamento e na formulação de estratégias para a redução de desastres. Os métodos empregados na avaliação de risco variam de acordo com a natureza específica do fenômeno em questão. Em linhas gerais, essa avaliação implica a aplicação sistemática de informações para calcular a probabilidade de ocorrência de eventos específicos e avaliar a extensão de seus potenciais consequências.

Conforme Tucci (2007), os instrumentos legais para orientar as ações de gestão e planejamento compreendem a elaboração de Planos Diretores Municipais, a definição de Zoneamentos Ecológico-Econômicos (ZEEs) para limitar e especificar o uso do solo, a preservação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a criação de Planos de Drenagem Urbana e Rural, entre outros. No âmbito das medidas não estruturais, os mapas de perigo (físico-ambiental), vulnerabilidade (social) e risco (socioambiental) são considerados elementos cruciais, proporcionando informações técnicas essenciais para embasar ações de planejamento e regulamentação.

De acordo com a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que dispõe da criação de sistema de informações e monitoramento, foi estabelecido para a gestão de desastres as seguintes ações: prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (Figura 9).

**Figura 9:** Ciclo das fases da gestão de desastres.



**Fonte:** Adaptado de CEPED UFSC, 2013.

Os conceitos a seguir são de acordo com Miguez et al (2018); Margarida et al (2013); PNPDEC (2012); IPCC (2012); Tominaga et al (2009); Cardona (2008).

### ***Prevenção / Mitigação***

A etapa da prevenção possui um papel delimitador em relação a outro conjunto de elementos, medidas e instrumentos, cujo objetivo é intervir principalmente antes da ocorrência de uma catástrofe propriamente dita, ou seja, constituem o campo da preparação, resposta e reconstrução em caso de ocorrência de um evento (CARDONA, 2008).

De acordo com o Ministério da Integração Nacional (2017), o termo prevenção refere-se a medidas e atividades prioritárias, anteriores à ocorrência do desastre, destinadas a evitar ou reduzir a instalação de novos riscos de desastre.

Sendo assim, em síntese, a ação de prevenção compreende duas etapas: a primeira é avaliação de risco, onde ocorre a fase de identificação, que corresponde ao planejamento com características de estudo de situação, possui a finalidade de identificar os desastres potenciais de maior prevalência e caracterizar a sua importância em função da probabilidade de ocorrência e da estimativa dos danos previsíveis, caso o desastre se concretize; A outra etapa remete-se a redução dos riscos propriamente dito, em que adota medidas para a redução da magnitude dos processos advindos dos desastres e para reduzir as consequências socioeconômicos (TOMINAGA et al, 2009; MARGARIDA et al, 2013).

No Brasil, os investimentos em prevenção são insignificantes, se comparados aqueles destinados às respostas a desastres (ALHEIROS, 2011). Conforme um estudo da Confederação Nacional de Municípios (CNM), realizado em 2010, sobre a emissão de portarias de reconhecimento de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública pela Secretaria

Nacional de Defesa Civil mostrou que entre 2006 e 2010, os recursos destinados à prevenção e à resposta foram de respectivamente R\$462.266.060 e R\$ 3.167.442.780.

Como destacado, o objetivo final da prevenção é evitar que ocorra um desastre, isto é, expressa o conceito e a intenção de evitar por completo os possíveis impactos adversos. Segundo Margarida et al (2013), as ações de mitigação pretendem minimizar ou limitar os impactos adversos das ameaças e dos desastres, não é possível prevenir todos os impactos adversos dos desastres (prevenção), mas é possível diminuir consideravelmente sua escala e severidade mediante diversas estratégias e ações (mitigação).

### ***Preparação***

A fase da preparação compreende atividades que promovem práticas antes de eventuais desastres, ou quando uma sociedade é impactada por um evento físico específico, em síntese, representa a base/estrutura para as ações de respostas.

Segundo Miguez et al (2018), a preparação para emergências e desastres tem por objetivo otimizar o funcionamento do SINPDEC, especialmente das ações de resposta aos desastres e de reconstrução, constituindo-se de: desenvolvimento institucional; desenvolvimento de recursos humanos; desenvolvimento científico e tecnológico; mudança cultural; motivação e articulação empresarial; informações e estudos epidemiológicos sobre desastres; monitoramento; alerta e alarme, planejamento operacional e de contingência; planejamento de proteção de populações contra riscos de desastres focais; mobilização; aparelhamento e apoio logístico.

### ***Resposta***

A ação que estabelece medidas emergenciais corresponde a resposta, em que são realizadas durante ou após o desastre, que visam prestar socorro e assistência a população atingida e retorno dos serviços essenciais (Ministério da Integração Nacional, 2017). Segundo Miguez et al (2018), a resposta tem por objetivo reagir a ocorrência dos desastres, que compreende as seguintes atividades gerais:

Socorro às populações em risco, desenvolvimento em três fases: pré-impacto: intervalo de tempo que ocorre entre o prenúncio e o desenvolvimento do desastre (ou seja, do alarme até o desastre propriamente dito); impacto: momento em que o evento adverso atua em sua plenitude; limitação de danos (também chamada fase de rescaldo): corresponde à situação imediata ao impacto, quando os efeitos do evento adverso iniciam o processo de atenuação; Assistência as populações afetadas, que depende de atividades: logísticas; assistências; de promoção da saúde; Reabilitação dos cenários dos desastres, compreendendo as atividades de: avaliação de danos; vistoria e elaboração de laudos técnicos, desmontagem de estruturas danificadas, desobstrução e

remoção de escombros; sepultamento; limpeza, descontaminação, desinfecção e desinfestação do ambiente; reabilitação dos serviços essenciais; recuperação de unidades habitacionais de baixa renda. (MIGUEZ et al, 2018, p. 10)

A resposta de emergência ou ajuda humanitária visa garantir segurança e condições de vida às populações afetadas durante o período pós-evento.

### ***Recuperação***

A última etapa corresponde a recuperação, que tem por finalidade restabelecer as condições socioeconômicas, a infraestrutura e o bem-estar da população. Segundo Cardona (2008), as atividades de reabilitação e reconstrução visam restaurar e proporcionar melhores condições de segurança no futuro por meio de esquemas de intervenção que podem reduzir o risco, ou seja, prevenir novos desastres, destacando a sequência cíclica (Figura 9) das etapas de gerenciamento dos desastres (TOMINAGA et al, 2009).

## **2.3 Abordagem Sistêmica para Eventos Hidrológicos**

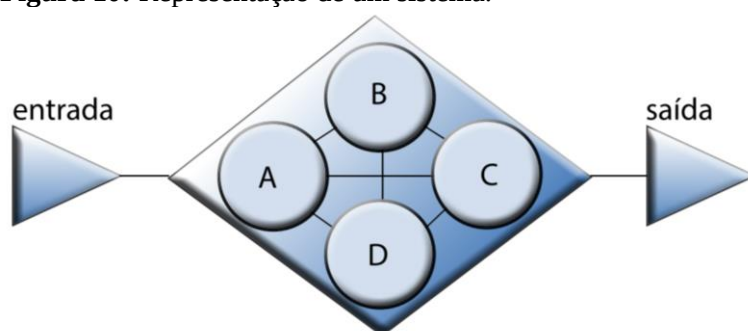
### **2.3.1 Conceito e Classificação dos Sistemas**

É importante iniciar a abordagem do termo sistema elencando a sua origem e o desenvolvimento científico com o uso das suas diversas atribuições, sendo assim, o conceito de sistema representando conjunto organizado de elementos e de interações entre os elementos, possui uso antigo e difuso no conhecimento científico. Segundo Christofolletti (1999), a abordagem sistêmica conceitual e analítica surgiu explicitamente na biologia teórica, na década de 30, e seu uso foi absorvido e adaptado em outras disciplinas como física e química.

Conceito atribuído por Chorley e Kennedy (1971) aborda que “sistema é um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos, em que esses objetos e atributos consistem de componentes ou variáveis (isto é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão”.

Para Bertalanffy (1973) um sistema pode ser definido como um complexo de elementos em interação. Ainda, de acordo com Christofolletti (1980), o sistema é o conjunto dos elementos e das relações entre si e entre seus atributos, o autor conclui que a estrutura do sistema é constituída pelos elementos e suas relações, expressando-se através do arranjo de seus componentes (Figura 10).

**Figura 10:** Representação de um sistema.



**Fonte:** Christofolletti (1980).

Sendo assim, o elemento é a unidade básica do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1980), durante a fase de estruturação do sistema é comum existir dificuldade em estabelecer a escala que se deseja analisar, uma vez que a escala vai caracterizar os elementos de determinado sistema. Deve-se ter em vista que cada sistema passa a ser um subsistema (ou elemento) quando se procura analisar o fenômeno em escala maior.

Quando se conceituam os fenômenos como sistemas, uma das principais atribuições e dificuldade está em identificar os elementos, seus atributos e suas relações, a fim de delinear com clareza a extensão abrangida pelo sistema em foco (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.2).

Christofolletti (1980) apresenta três características principais das estruturas que devem ser observados:

- i. O tamanho de um sistema é determinado pelo número de variáveis que o compõem. Quando o sistema é composto por variáveis que estão completamente inter-relacionadas, isto é, cada uma se relaciona com todas as outras, a sua complexidade e tamanho são expressas através do espaço-fase ou número de variáveis.
- ii. A correlação entre as variáveis de um sistema expressa o modo pelo qual elas se relacionam. A sua análise é feita por intermédio das linhas de regressão, da correlação simples (quando se relacionam variáveis) e da correlação canônica (quando se relacionam conjuntos de variáveis). Na correlação, a força é assinalada pelo valor da intensidade enquanto o sinal, positivo ou negativo, indica a direção na qual ocorre o relacionamento.
- iii. Causalidade – a direção da causalidade mostra qual é a variável independente (a variável que controla), e a dependente (aquela que é controlada), de modo que a última só sofre modificações se a primeira se alterar. A distinção entre tais variáveis ainda está na dependência do bom senso,

embora haja várias regras lógicas para se estudar o problema da causalidade (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.2;3).

A categorização dos sistemas pode ser realizada com base em critérios funcionais ou conforme a complexidade de sua estrutura. A tabela 4 apresenta a classificação dos sistemas considerando o critério funcional.

**Tabela 4:** Classificação dos Sistemas.

| Sistemas            | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Isolados</b>     | São aqueles que não realizam trocas com o ambiente no qual se encontram instalados e, dadas as condições iniciais, não sofrem mais nenhuma perda e nem recebem energia ou matéria do ambiente que os circundam. Chorley (1962) assinala que a concepção daivisiana do ciclo de erosão ilustra perfeitamente essa perspectiva. O ciclo começa com um máximo de energia livre devido ao soerguimento e, com o decorrer do tempo, os processos vão atuando e rebaixando o conjunto até que alcance o estágio final. Uma das características do sistema isolado é o tratamento evolutivo e histórico, pois pode-se predizer o começo e a sucessão das etapas até o seu final. |          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Não-isolados</b> | São aqueles que mantêm relações com os demais sistemas do universo no qual funciona, podendo ser subdivididos em:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Fechados | Aqueles onde há apenas a permuta de energia (recebimento e perda), mas não de matéria. O planeta Terra pode ser considerado um sistema não isolado fechado, pois recebe e também perde energia solar. Porém não recebe nem perde matéria de outros planetas ou astros, a não ser em proporção insignificante, quase nula com relação aos meteoritos. |
|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Abertos  | Aqueles nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria com o meio circundante, perdendo e/ou recebendo. Estes são os mais comuns, podendo ser exemplificado através de uma bacia hidrográfica, vertentes, ser humano, indústria entre outros.                                                                                              |

**Fonte:** Adaptado de Christofolletti (1999)

Conforme indicado na tabela 4, a bacia hidrográfica é caracterizada como um sistema aberto e não isolado. Portanto, a bacia hidrográfica configura-se como um sistema natural composto por diversos elementos e componentes. Nesse contexto, ocorrem os balanços entre as entradas de água provenientes da precipitação e as saídas por meio dos exutórios, possibilitando a delimitação de bacias e sub-bacias. A interconexão entre essas unidades é estabelecida pelos sistemas hídricos (TUCCI e MENDES, 2006).

Assim, a bacia hidrográfica se configura como um sistema impulsionado por um estímulo, sendo a precipitação o principal desencadeador, e influenciado por vários fenômenos

do ciclo hidrológico, como infiltração, escoamento superficial, percolação, entre outros. Essa transformação da precipitação em vazão é moldada por diversas características específicas da bacia, incluindo solo, vegetação, topografia, entre outros elementos (TUCCI e MENDES, 2006). No contexto do sistema de bacia hidrográfica, os autores oferecem algumas definições cruciais para a compreensão de sistema e modelo, tais como:

Fenômeno: alguma alteração do estado do sistema, causada por um processo físico como precipitação, evaporação ou infiltração em bacias hidrográficas; Variável: valor que descreve o fenômeno, tendo como exemplo a precipitação diária ou a vazão horária; Parâmetro: valores que caracterizam o sistema, tais como a área da bacia, seção transversal de um rio, rugosidade de uma vertente, etc. (TUCCI e MENDES, 2006, p. 173).

É relevante ressaltar a conexão entre as atividades socioeconômicas e a depleção dos recursos naturais ao longo da bacia, notando-se que o sistema, em sua totalidade, com suas definições, interações e comportamentos, exibe uma variabilidade tanto espacial quanto temporal (TUCCI e MENDES, 2006).

### 2.3.2 Descrição de Modelo

De acordo com Christofletti (1999), um modelo refere-se a qualquer representação simplificada da realidade ou de um aspecto do mundo real que seja de interesse para o pesquisador, permitindo a reconstrução da realidade, a previsão de comportamentos, transformações ou evoluções. Para Tucci e Mendes (2006), um modelo é uma representação ou abstração da realidade, conforme destacam os autores:

Quando o desempenho de sistema do mundo real é compreendido e seu comportamento é predito, adquire-se informação adicional para controlar o sistema. Neste contexto, os modelos podem ser usados para identificar os componentes mais sensíveis que influenciam o comportamento dos sistemas. Modificando estes componentes pode-se conduzir o sistema eficazmente para um comportamento desejado. De qualquer forma, é necessário comparar permanentemente os resultados do modelo com o mundo real. Neste quadro, a arte na construção de modelos é a escolha do nível certo de simplificação que atende às metas de um determinado estudo (TUCCI e MENDES, 2006, p. 173).

Dessa forma, o modelo representa um sistema em uma linguagem ou forma acessível e de fácil utilização, com o objetivo de compreendê-lo e encontrar respostas para diversas entradas. Os recursos oferecidos pelos modelos tornam-se cada vez mais cruciais na estrutura de projetos e no desenvolvimento de trabalhos. A principal motivação para o uso dessa ferramenta é a capacidade de proporcionar uma visão dinâmica dos processos em ambientes naturais, como estuários, lagoas, zonas costeiras adjacentes às bacias hidrográficas e

reservatórios. Na prática, as aplicações dos modelos em corpos d'água naturais abrangem a modelagem hidrodinâmica e o transporte de substâncias dissolvidas ou em suspensão (TUCCI E MENDES, 2006).

Assim, os modelos desempenham um papel fundamental como ferramenta no gerenciamento de corpos d'água e, quando submetidos a um rigoroso processo de desenvolvimento e validação, tornam-se instrumentos úteis para uma determinada região e até mesmo para previsões, considerando possíveis limitações de dados durante o andamento do processo (TUCCI e MENDES, 2006).

### 2.3.3 Sistema de Informação Geográfica – SIG

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) representam uma ferramenta tecnológica que integra dados espaciais, permitindo a análise, manipulação e visualização de informações geográficas. A informação geográfica, em questão, possui aspectos tridimensionais, exigindo a definição de posição, atributos e dimensão temporal para sua caracterização. Em uma bacia hidrográfica, os fenômenos, variáveis e parâmetros representam as "ocorrências" desse sistema, exibindo considerável variabilidade espacial e temporal (TUCCI E MENDES, 2006).

Em sua essência, um SIG é composto por hardware, software, dados geoespaciais e métodos de análise. Os dados espaciais podem incluir mapas, imagens de satélite, levantamentos topográficos, informações cadastrais e outros tipos de dados que estão atrelados à localização geográfica, gerando um banco de dados geográficos que oferece suporte para análises espaciais diversas. Essa abordagem proporciona vastas possibilidades de conhecimento e análise (SANTOS, 2015; SOUZA, 2011).

A manipulação de dados espaciais georreferenciados dentro de um sistema computacional é chamado de geoprocessamento. Essa tecnologia desempenha um papel fundamental em diversos setores, proporcionando uma abordagem mais eficiente para compreender e gerenciar fenômenos que possuem uma dimensão espacial (SANTOS, 2015).

Conforme Tolentino et al (2014), por exemplo, no contexto da avaliação de áreas suscetíveis à erosão, torna-se uma etapa significativa para a definição de práticas adequadas de manejo e conservação do solo e dos recursos hídricos. Praticamente todos os softwares qualificados em processamento de imagens de Sensoriamento Remoto possibilitam a aplicação de técnicas de classificação.

Uma das características distintivas dos SIG é a capacidade de sobrepor camadas de dados, possibilitando a visualização de diferentes informações em um mesmo contexto

geográfico. Essa funcionalidade é crucial para identificar padrões, relações e tendências espaciais que não seriam facilmente percebidos em abordagens tradicionais.

Dessa forma, a integração de dados geoespaciais com informações hidrológicas fornece uma base sólida para o desenvolvimento de políticas de manejo de recursos hídricos. Possibilitando desde a identificação de áreas prioritárias à conservação, prevenção de desastres e a promoção da sustentabilidade hídrica. Nesse contexto, a tecnologia geoespacial emerge como uma ferramenta indispensável para enfrentar os desafios crescentes associados à gestão dos recursos hídricos em escala local, regional e global (TUCCI E MENDES, 2006).

### 3 METODOLOGIA

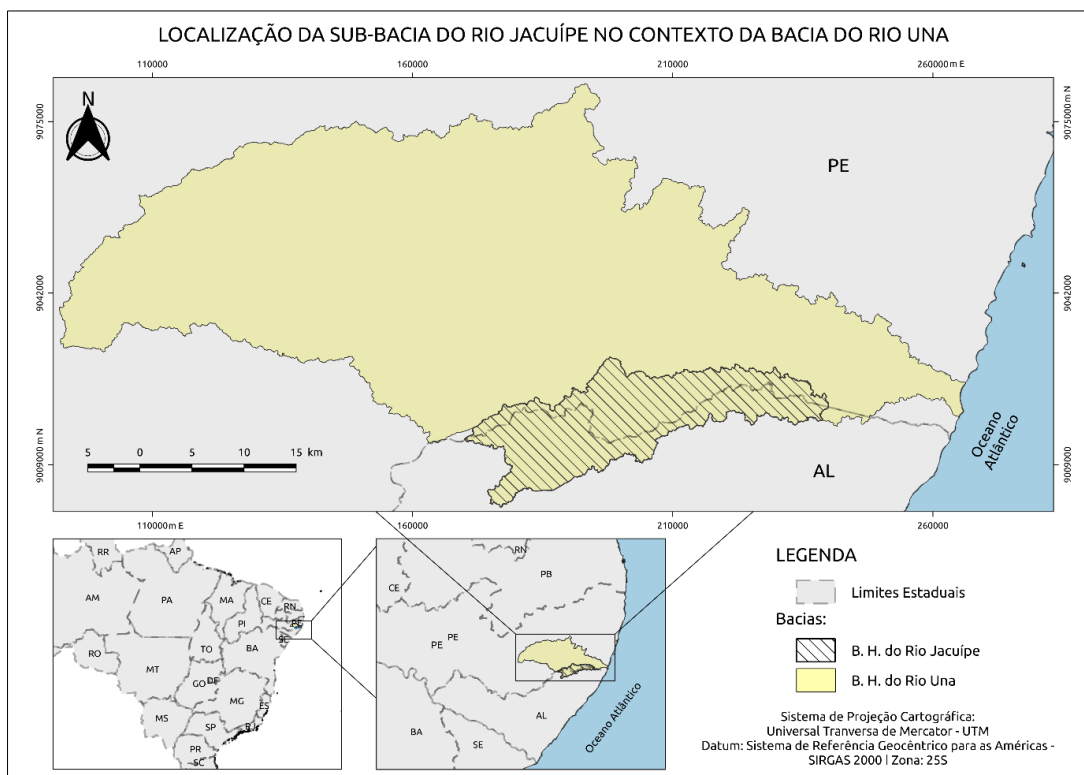
Neste item, são abordadas as características relacionadas à Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe, além de discorrer sobre as etapas da metodologia proposta, que compreendem a seleção inicial dos critérios adotados para aplicação do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), assim como o pré-processamento dos dados geográficos (Ambiente SIG QGIS versão 3.28) que inclui a harmonização do sistema de referência e projeção cartográfica, a conversão dos dados vetoriais em raster e os ajustes das escalas das camadas utilizadas na construção do Modelo de Reclassificação de Variáveis.

#### 3.1 Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe

A bacia hidrográfica do rio Jacuípe (Figura 11) localiza-se entre os estados de Alagoas e Pernambuco, entre as coordenadas [8.75°S:9.03°S] e [35.35°W:36.02°W], possui uma área de aproximadamente 812 km<sup>2</sup>. Abrange 12 municípios, entre eles 6 municípios pertencentes ao estado de Alagoas (São José da Laje, Ibateguara, Colônia Leopoldina, Novo Lino, Campestre, Jacuípe) e 6 municípios inseridos em Pernambuco (Quipapá, São Benedito do Sul, Maraial, Xexéu, Água Petra e Barreiros).

A nascente da bacia do rio Jacuípe está localizada no município de Ibateguara, em Alagoas, e segue um percurso de aproximadamente 85 km até alcançar sua foz em Barreiros, Pernambuco, onde desagua no rio Una. Este, por sua vez, desemboca no litoral sul do estado de Pernambuco (SEMARH, 2005). Para uma visão abrangente, a figura 11 apresenta a bacia hidrográfica do rio Jacuípe dentro do contexto da bacia do rio Una, evidenciando que o rio Jacuípe constitui uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Una.

**Figura 11:** Localização da bacia hidrográfica do rio Jacuípe.



**Fonte:** Autores (2023).

No processo de elaboração dos mapas apresentados a seguir, iniciou-se com a delimitação da área de estudo, realizando ajustes nos limites da bacia e desenhando os cursos de drenagem. Essas etapas foram conduzidas utilizando cartas topográficas matriciais na escala de 1:100.000, acessadas por meio do Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro (BDGEX) e editadas no software SIG QGIS 3.28.

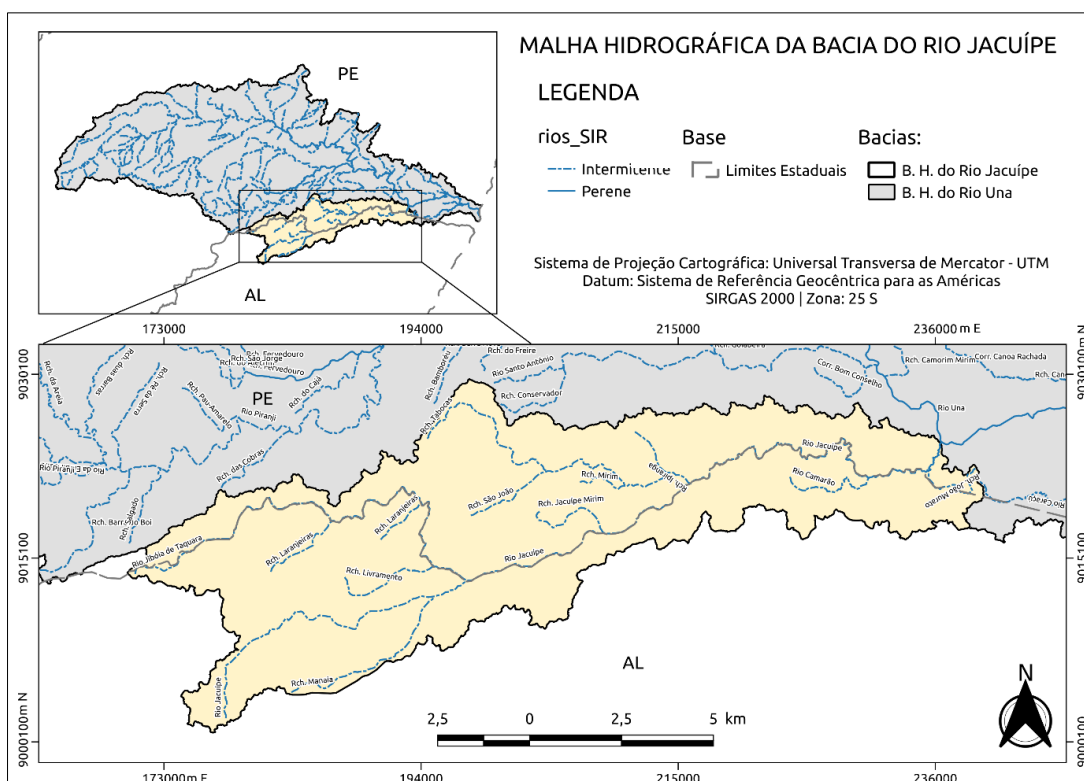
### 3.1.1 Rede Hidrográfica

A rede hidrográfica na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe constitui um intrincado sistema de cursos d'água que desempenham um papel essencial na dinâmica hídrica da região. Essa rede é formada por rios, córregos e afluentes que interagem em uma complexa teia hidrológica, influenciando o relevo, a flora, a fauna e o uso da terra na bacia.

A representação cartográfica da malha hidrográfica do Rio Jacuípe (Figura 12) foi confeccionada utilizando as cartas topográficas matriciais disponíveis no Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro. Destaca-se que o curso principal do rio Jacuípe abrange uma extensão de 85 km, apresentando diversos riachos em seu trajeto, como os riachos Manaia e São João, com extensões de 16 km e 15 km, respectivamente.

Além disso, foram identificados dois rios afluentes: o Jiboia de Taquara, originário do município de São José da Laje, com 43 km de extensão até a confluência com o rio Jacuípe, e o rio Camarão, situado próximo à saída da bacia, com 10 km de extensão. Os nomes dos rios e riachos foram verificados conforme as Cartas do Exército do BDGEX.

**Figura 12:** Malha hidrográfica do rio Jacuípe.



**Fonte:** Autores (2023).

### 3.1.2 Monitoramento Hidrometeorológico

Os dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas indicam a presença de estações fluviométricas e pluviométricas na bacia do rio Jacuípe, conforme representado na figura 13. Na bacia, encontram-se três estações fluviométricas em Maraial/PE, com o código 39571000, Jacuípe/AL, com o código 39580000, e Colônia Leopoldina, cujo código é 39571100. Quanto às estações pluviométricas na bacia, são cinco ao todo. Três delas estão localizadas em Pernambuco (nos municípios de Maraial/PE, com as estações Sítio Cachoeira e Sertãozinho de Cima; e em Xexéu, com a estação Xexéu\_Centro). As duas restantes estão situadas em Alagoas (nos municípios de Jacuípe e Campestre), conforme detalhado na tabela 5.

Em relação às estações pluviométricas da bacia, apresentam-se ao todo cinco estações, são elas: três estações localizadas em Pernambuco (Município Maraial/PE, com o nome das



|               |         |        |            |        |         |   |                   |
|---------------|---------|--------|------------|--------|---------|---|-------------------|
| Pluviométrica | Jacuípe | 835139 | Jacuípe/AL | -8,84° | -35,45° | X | 1990<br>–<br>2021 |
|---------------|---------|--------|------------|--------|---------|---|-------------------|

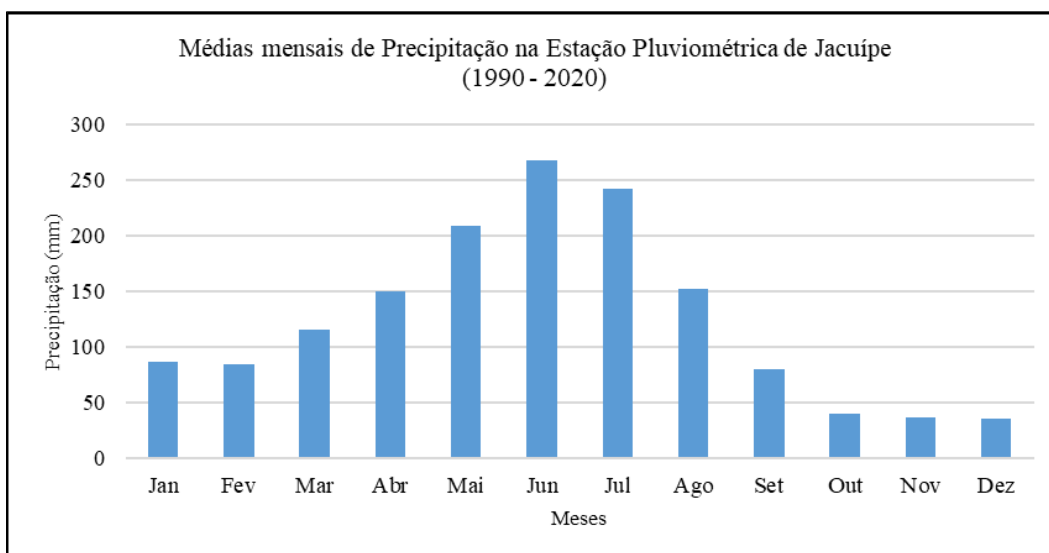
**Fonte:** Autores (2023).

### 3.1.3 Climatologia e Meteorologia

A climatologia desempenha um papel essencial na configuração do ambiente e na dinâmica hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe. A região apresenta características climáticas típicas do clima tropical, com estações distintas de chuvas e secas. A fim de caracterizar e visualizar os conjuntos de dados climatológicos, a figura 14 se refere à climatologia mensal da série histórica de precipitação na estação localizada no município de Jacuípe (Código 835139) durante o período de 1990 a 2020, dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas por meio do software HIDROWEB.

A partir da Figura 14, observar-se que a estação chuvosa concentra-se nos meses de maio a agosto, com médias mensais durante esse período registrando aproximadamente 209 mm (maio), 267 mm (junho), 242 mm (julho) e 152 mm (agosto). As precipitações anuais alcançam 1497 mm. Esses dados são reforçados por um relatório do SEMARH de Alagoas em 2005, que destaca a predominância de rios perenes.

**Figura 14:** Climatologia mensal da série histórica (1990 – 2020).



**Fonte:** Autores (2023).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe, os sistemas sinóticos desempenham um papel fundamental na regulação dos padrões climáticos e na distribuição da precipitação. Sistemas sinóticos referem-se a padrões meteorológicos de grande escala que abrangem vastas áreas geográficas e influenciam as condições climáticas em uma determinada região.

Durante o ano, a bacia pode ser impactada por diferentes sistemas sinóticos, cada um contribuindo para a variabilidade climática na área. Um exemplo comum é a influência de sistemas de alta e baixa pressão atmosférica. Áreas de alta pressão geralmente estão associadas a condições mais estáveis e secas, enquanto áreas de baixa pressão podem resultar em condições mais úmidas e chuvas.

Na região Nordeste do Brasil (NEB), os principais mecanismos de chuvas são de grande escala, contribuindo com aproximadamente 30 a 80% da precipitação total, dependendo da localidade (GOMES et al, 2022; MOLION e BERNARDO, 2002). Além disso, os mecanismos de meso e microescala desempenham um papel significativo, complementando os totais observados. Os autores destacam que a variabilidade interanual na distribuição de chuvas no NEB está diretamente associada às alterações nas configurações da circulação atmosférica em grande escala e à interação oceano-atmosfera nos Oceanos Pacífico e Atlântico. Conforme Silva et al (2011), a maior parte das chuvas registradas em Alagoas está associada a cavados em baixos níveis e perturbações oscilatórias nos ventos Alísios (POAs).

O conhecimento detalhado desses sistemas sinóticos é crucial para compreender os padrões climáticos locais e para a gestão dos recursos hídricos na bacia. A capacidade de prever a influência desses sistemas permite uma melhor adaptação a eventos climáticos extremos, como chuvas intensas ou secas prolongadas. A seguir, são detalhados os mecanismos responsáveis pela produção de chuva no Rio Jacuípe.

### ***Perturbações Oscilatórias no Campo dos Ventos Alísios (POAS)***

Esses sistemas desempenham um papel crucial no Nordeste brasileiro, desencadeando precipitações intensas sobre o continente quando se deslocam sobre superfícies oceânicas aquecidas. De acordo com Molion e Bernardo (2000), as Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POAs) se formam quando os sistemas frontais do hemisfério norte penetram profundamente em latitudes equatoriais durante o inverno-primavera do hemisfério norte (dezembro a abril), enquanto a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) está em sua posição mais ao sul, tanto

sobre o Atlântico quanto sobre a África Equatorial. Isso gera grandes complexos convectivos de escala subsinótica na região da ZCIT, os quais, por sua vez, geram perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios.

### ***Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN)***

Os vórtices ciclônicos de altos níveis, também conhecidos como baixas frias, são sistemas de baixa pressão fechados de escala sinótica que se formam na alta troposfera. Esses vórtices apresentam um centro mais frio do que a periferia (VAREJÃO, 2006). O movimento vertical ocorre de maneira descendente no centro do vórtice e ascendente na periferia, resultando na formação de nuvens ao redor da sua borda. No centro, o movimento descendente do ar inibe a formação de nuvens, sendo claramente visível em imagens de satélite.

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) exercem influência sobre a costa leste do Nordeste, especialmente durante o verão do hemisfério sul (HS), formando-se anualmente. De acordo com Varejão (2006), esses vórtices podem ter períodos de atividade curtos ou persistir por vários dias consecutivos, até mesmo semanas, mantendo-se quase estacionários ou movendo-se de maneira rápida e irregular.

### ***Ondas de Leste***

As ondas de leste são formadas sobre o oceano, é vista no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de leste a oeste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil (VAREJÃO, 2006). Segundo Vianello e Alves (2012) essas ondas são capazes de causar precipitações acentuadas ao longo das suas trajetórias, na região de baixa pressão da onda, o tempo é característico chuvoso, associado frequentemente a tempestades, nuvens do tipo cumulus e cumulonimbus.

### ***Linhas de Instabilidade (LI)***

São bandas de nuvens causadoras de chuva, normalmente do tipo cumulus, organizadas em forma de linhas alongadas, por isso são designados linhas de instabilidade. Se formam principalmente nos meses de verão no hemisfério sul (dezembro a março), encontram-se ao sul da Linha do Equador influenciando as chuvas no litoral norte do Nordeste e regiões adjacentes e ocorrem no período da tarde e início da noite (VAREJÃO, 2006).

### ***Brisas marítima e terrestre***

As brisas são mecanismos que produzem chuvas leves e de curta duração. É um mecanismo sempre presente em todo litoral nordestino. Nobre e Molion (1988) *apud* Molion e Bernardo (2000) sugeriram que a confluência dos alísios com a brisa de terra (noturna) possa ser um dos mecanismos importantes na produção de chuva na região costeira.

Durante o dia, a superfície do continente se aquece mais rapidamente que o oceano, como consequência surge uma faixa de pressão mais baixa sobre o litoral, surgindo correntes ascendentes sobre continente nos quais geram nuvens convectivas. Enquanto no oceano, que armazena uma quantidade maior de calor, é transmitido para camadas mais profundas e transportado pelas correntes marinhas. Dessa forma, estabelece uma circulação fechada, onde ocorre movimentos ascendentes na costa e descendentes sobre o mar, caracterizando um escoamento de terra para o mar em níveis superiores e em superfície o vento sopra do oceano para o continente (VAREJÃO, 2006).

Durante a noite, em razão da maior taxa de resfriamento continental, em relação ao oceano, inicia-se a formação de um novo contraste térmico, permanecendo o mar mais aquecido que o continente. Nesse caso, as isóbaras irão afastar-se sobre o mar, estabelecendo aí uma baixa pressão, contrastando-se com a alta estabelecida sobre a terra mais fria. O mecanismo se inverte, ocorrendo a formação de uma célula de circulação em que o vento soprará da terra para o mar em baixos níveis e no sentido contrário nos níveis mais elevados (VIANELLO e ALVES, 2012).

#### **3.1.4 Aspectos Socioeconômicos**

A análise dos aspectos socioeconômicos dos municípios que integram a bacia hidrográfica do rio Jacuípe evidencia uma ampla diversidade de características que exercem impacto direto no desenvolvimento local e na dinâmica socioeconômica da região. Cada município apresenta particularidades que são reflexo das suas condições geográficas, históricas e demográficas, influenciando as atividades econômicas, a qualidade de vida da população e a relação com os recursos hídricos.

A agricultura e a agropecuária desempenham papéis significativos na economia desses municípios, representando atividades tradicionais que moldaram a ocupação do território ao longo dos anos. De acordo com a SEMARH (2005), grande parte da bacia está integrada a uma

produção agrícola centrada principalmente na cultura da cana-de-açúcar para a fabricação de açúcar e álcool, além de cultivos secundários de mandioca, feijão e milho (SEMARH, 2005).

A presença de comunidades rurais e a dependência de setores primários destacam a importância da gestão sustentável dos recursos naturais, incluindo a água proveniente da bacia hidrográfica. A bacia possui diversos pontos de captação para abastecimento, irrigação e consumo de água. (SEMARH, 2005).

A partir dos dados do Censo Demográfico de 2022 disponibilizados pelo IBGE, são apresentadas as informações sobre a população, área total, densidade demográfica e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) nos municípios que fazem parte da bacia do rio Jacuípe.

**Tabela 6:** Aspectos socioeconômicos dos municípios da Bacia do Rio Jacuípe.

| Estado | Município           | População Total | Área Total (km <sup>2</sup> ) | Densidade Demográfica (Hab./km <sup>2</sup> ) | IDHM  |
|--------|---------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|-------|
| AL     | Campestre           | 6.665           | 65,910                        | 101,12                                        | 0,559 |
| AL     | Colônia Leopoldina  | 15.816          | 207,935                       | 76,06                                         | 0,517 |
| AL     | Ibateguara          | 13.731          | 265,312                       | 51,75                                         | 0,518 |
| AL     | Jacuípe             | 5.352           | 208,738                       | 25,64                                         | 0,548 |
| AL     | Novo Lino           | 10.020          | 215,547                       | 46,49                                         | 0,521 |
| AL     | São José da Laje    | 20.813          | 256,603                       | 81,11                                         | 0,573 |
| PE     | Água Preta          | 26.461          | 531,935                       | 49,74                                         | 0,553 |
| PE     | Barreiros           | 40.121          | 233,433                       | 171,87                                        | 0,586 |
| PE     | Maraial             | 9.359           | 199,865                       | 46,83                                         | 0,534 |
| PE     | Quipapá             | 17.928          | 230,617                       | 77,74                                         | 0,552 |
| PE     | São Benedito do Sul | 13.113          | 160,477                       | 81,71                                         | 0,530 |
| PE     | Xexéu               | 11.611          | 110,815                       | 104,78                                        | 0,552 |

**Fonte:** Autores a partir do Censo IBGE (2010; 2022).

O IDHM dos municípios reflete uma métrica abrangente que avalia três dimensões cruciais para o desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda. Ainda segundo os dados do Censo Demográfico de 2022 fornecido pelo IBGE, essa região apresenta variações no IDHM, com índices oscilando entre 0,517 e 0,586. A longevidade, medida pela expectativa de vida ao nascer, a educação, representada pelo acesso à escolaridade e à alfabetização, e a renda, que considera o Produto Interno Bruto per capita, são elementos essenciais na composição desse índice. Municípios com IDHM mais próximo de 1 indicam um nível mais elevado de desenvolvimento humano.

Conforme dados do IBGE (2022), os municípios na área da bacia do Jacuípe compartilham características de cidades pequenas, com uma população estimada geralmente inferior a 30 mil habitantes, exceto o município de Barreiros, situado em Pernambuco.

### 3.1.5 Histórico de Inundações

As inundações nos municípios que compõem a bacia hidrográfica do rio Jacuípe apresentam um histórico preocupante, evidenciando a vulnerabilidade dessas localidades a eventos climáticos extremos. Anualmente, é possível encontrar reportagens em jornais e comunicados frequentes de órgãos de monitoramento, que alertam sobre a elevação da cota, chegando até mesmo a relatar transbordamentos e desencadeando a implementação de medidas de alerta e orientação.

Eventos notáveis de inundações, como os ocorridos em 2010, 2011, 2017 e 2022, deixaram um rastro de destruição e impactaram significativamente as comunidades locais. Conforme relatórios da Secretaria Nacional de Defesa Civil e da Defesa Civil de Alagoas, a inundação ocorrida em 2010 impactou severamente os municípios de Colônia Leopoldina, São José da Laje e Jacuípe, com 27.864, 7.045 e 15.836 mil pessoas afetadas, respectivamente (FREIRE et al, 2014). Três dias consecutivos de chuvas intensas resultaram na declaração de estado de calamidade pública em 26 municípios alagoanos, enquanto outros 34 foram colocados em estado de emergência. Esse desastre causou danos irreparáveis nas comunidades pertencentes as bacias dos rios Mundaú, Paraíba do Meio e Jacuípe (FRAGOSO et al, 2010).

A inundação de 2017 seguiu um padrão semelhante, afetando aproximadamente 24.075 pessoas, das quais 16.116 foram desalojadas e 7.959 desabrigadas, de acordo com informações da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil. O transbordamento do rio Jacuípe resultou em cerca de 2.553 e 1.000 pessoas afetadas nos municípios de Colônia Leopoldina e Jacuípe, respectivamente.

**Figura 15:** Registros do evento de inundação no município de Jacuípe em 2011 e 2017.



**Fonte:** Thiago Sampaio (2017); Morador Gustavo (2021).

Em Alagoas, especificamente, é comum observar ocupações em terras consideradas inadequadas para uso residencial ou comercial, áreas essas localizadas em regiões mais baixas propensas a inundações e/ou encostas sujeitas a deslizamentos de terra, expondo as pessoas aos riscos. De acordo com a SEMARH (2005), na bacia hidrográfica do rio Jacuípe há registros de ocupação em áreas de potencial risco por inúmeras famílias carentes, com construções indevidas e precárias, retratando a vulnerabilidade na qual os municípios que constituem a bacia estão expostos.

O município de Colônia Leopoldina destaca-se pelo histórico de ocupação desordenada das encostas e pela execução irregular de construções em áreas ribeirinhas. A falta de supervisão técnica nessas obras e a inadequação das medidas de drenagem e contenção de taludes contribuem para a amplificação dos problemas durante eventos de chuvas intensas (CPRM, 2013).

Os desastres relacionados a inundações na região demonstram uma interação complexa entre condições ambientais, como topografia e clima, e fatores socioeconômicos, incluindo densidade populacional, situação habitacional, renda e acesso à educação. Grupos populacionais e áreas geográficas específicas tornam-se mais vulneráveis diante desses eventos (BECK, 2010; PORTO et al, 2021). A falta de controle e planejamento no crescimento urbano ao longo dos anos, aliada à exposição contínua às mudanças climáticas, intensifica a vulnerabilidade desses municípios a inundações recorrentes. Medidas de prevenção, controle ambiental e engajamento comunitário emergem como elementos cruciais para mitigar os efeitos desses desastres na bacia hidrográfica do rio Jacuípe.

### 3.2 Escolha das Variáveis e Aquisição dos Dados

A avaliação da disponibilidade de dados na região é um componente fundamental para a condução e desenvolvimento do mapeamento de risco de inundação na bacia hidrográfica do Rio Jacuípe. Isso implica avaliar a acessibilidade, atualização, abrangência e confiabilidade dos conjuntos de dados pertinentes à temática em estudo. A seleção de métodos, técnicas e abordagens analíticas frequentemente está condicionada à qualidade e extensão dos dados disponíveis.

Um desafio recorrente para os pesquisadores é a inconsistência nos dados provenientes de várias fontes, o que pode impactar a integridade e validade dos resultados obtidos. Além disso, a falta de padronização nos formatos e na coleta de dados pode dificultar a integração e comparação entre conjuntos de dados distintos. Destaca-se também que a qualidade das bases cartográficas utilizadas na criação dos mapas desempenha um papel crucial (TUCCI E MENDES, 2006; HASSAN, 2014). Assim, a inconsistência nos dados fornecidos por agências reguladoras representa um desafio significativo aos pesquisadores e profissionais que atuam na gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Os fatores ambientais primariamente considerados no método proposto como contribuintes para eventos de inundação incluem tipos de solo, padrões de uso do solo e elementos geomorfológicos, tais como hipsometria e declividade (PORTELA et al, 2023; PESSOA NETO et al, 2022; BRAGA et al, 2020; REZENDE et al, 2017). Esses elementos foram selecionados e empregados neste estudo.

As características dos tipos de solo e o padrão de uso e ocupação de uma região desempenham um papel fundamental nos processos hidrológicos, influenciando diretamente a infiltração e o escoamento superficial da água e, consequentemente, afetando a susceptibilidade a inundações e alagamentos (TUCCI, 2008; VIANA, 2016; FARIAS, 2019). Cada variedade de solo apresenta capacidades de infiltração e escoamento distintas, por exemplo, áreas com maior impermeabilidade têm propensão a acumular mais água em sua superfície quando comparados aos solos cobertos por vegetação florestal (KARYMBALIS et al, 2021; CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; TUCCI, 2008).

A relação entre a altitude e a declividade é essencial para a avaliação do risco de inundação, uma vez que a água, sob a influência da gravidade, flui dos pontos mais elevados para os mais baixos. A inclinação do terreno desempenha um papel direto nos processos de escoamento superficial, na velocidade da água, na infiltração e no acúmulo hídrico. Áreas de topografia plana apresentam maior propensão a inundações quando comparadas a regiões com

declividade mais acentuadas (TUCCI, 2002; 2008; FARIAS, 2019).

Os dados utilizados neste artigo compreendem o uso do modelo digital de elevação SRTM versão 3, com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado gratuitamente na plataforma Earth Explorer da United States Geological Survey (USGS). A delimitação da área da bacia hidrográfica assim como os ajustes dos limites territoriais e cursos de drenagem foram obtidos a partir de cartas topográficas matriciais em escala 1:100.000 através do Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro (BDGEX). Outras informações espaciais empregadas na criação dos mapas dos elementos que influenciam a suscetibilidade à inundação encontram-se detalhadas na tabela 10.

**Tabela 7:** Descrição das variáveis e das fontes de obtenção dos dados espaciais adotados na elaboração dos mapas temáticos.

| <b>Variáveis</b>              | <b>Banco de Dados – Mapas Temáticos</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipos de Solo</b>          | Obtidos através do mosaico de cartas do Zoneamento Agroecológico de Alagoas, disponível desde o ano de 2014, e do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco, disponível desde o ano de 2001, ambos realizados e disponibilizados pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) em seu site em escala cartográfica de 1:100.000. Do Zoneamento Agroecológico de Alagoas e de Pernambuco foram utilizadas as folhas Palmares (Folha – SC.25-V-A-IV), Sirinhaém (Folha – SC.25-V-A-V) e Rio Largo (Folha – SC.25-V-C-I). |
| <b>Uso e Ocupação do Solo</b> | Obtido pela plataforma virtual do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias), o arquivo foi oriundo da Coleção 7, no formato raster e com resolução espacial de 30 metros.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Altitude</b>               | Modelo digital de elevação SRTM versão 3, com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado gratuitamente na plataforma Earth Explorer da United States Geological Survey – USGS (2023)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                    |                                                                                                                                                                                            |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Declividade</b> | Modelo digital de elevação SRTM versão 3, com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado gratuitamente na plataforma Earth Explorer da United States Geological Survey – USGS (2023) |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Fonte:** Autores (2023).

### 3.3 Pré-Processamento (Ambiente SIG)

O software de Sistema de Informação Geográfica escolhido para esta tese foi o QGIS (versão 3.28). Este software, conhecido por sua ampla comunidade de colaboradores e usuários, oferece recursos robustos para geoprocessamento, incluindo plugins, algoritmos e a capacidade de construir modelos para execução de rotinas.

O processo de pré-processamento no software QGIS envolve a preparação e otimização dos dados a serem utilizados, abrangendo várias etapas para garantir a qualidade e eficiência das informações geoespaciais. Inicialmente, realiza-se a importação e verificação dos dados, inserindo conjuntos de dados georreferenciados no ambiente do QGIS. Em seguida, são aplicadas operações de tratamento de dados, incluindo a remoção de valores ausentes, correção de erros topológicos, eliminação de duplicatas e padronização de formatos. A projeção dos dados também é um aspecto crucial, pois a escolha de um sistema de referência espacial apropriado contribui para a consistência nas análises e a precisão nos resultados.

As cartas dos Zoneamentos Agroecológicos dos estados de Alagoas e Pernambuco, essenciais para compor informações abrangentes sobre a área de estudo, foram georreferenciadas utilizando a projeção de origem indicada nas descrições das próprias cartas. Posteriormente, foram reprojatadas para a projeção SIRGAS 2000 / UTM Zone 25 S, vetorizadas e convertidas para dados do tipo raster. Já os dados de uso e ocupação do solo do Instituto MapBiomas foram recortados com base nos limites das bacias hidrográficas, obtidos através dos dados altimétricos do MDE SRTM3.

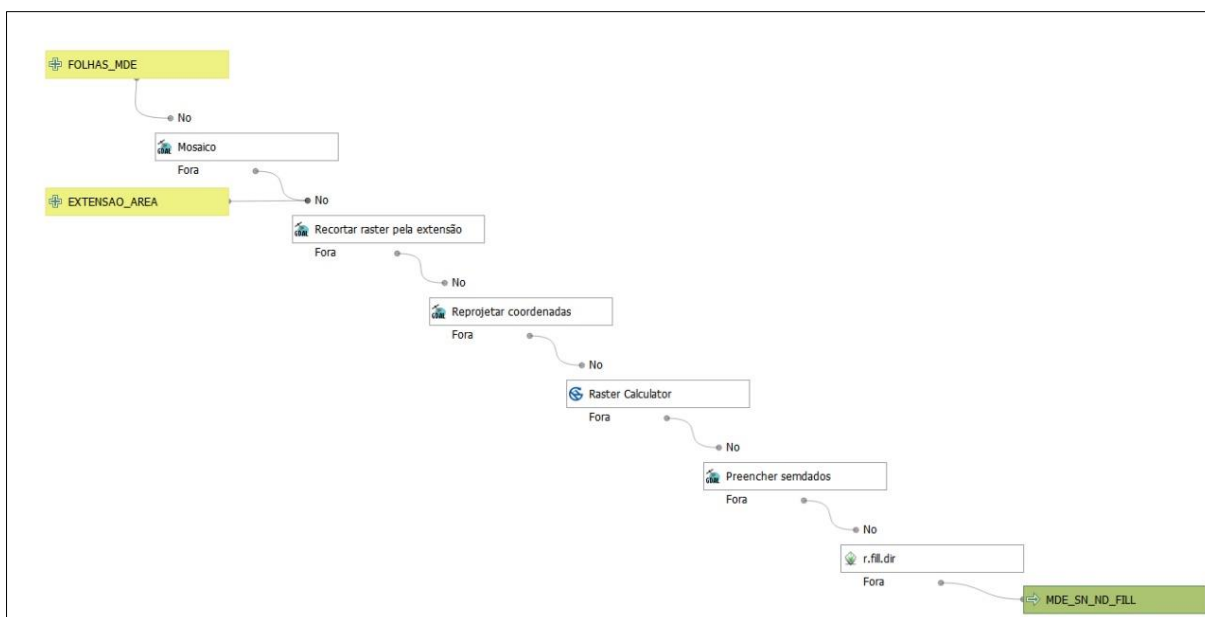
Em relação aos dados altimétricos, realizou-se um processo de correção antes de sua aplicação na análise multiparâmetro. Após adquirir os recortes cartográficos essenciais, identificaram-se valores na matriz de dados que poderiam introduzir distorções nas características do terreno. Para corrigir essas discrepâncias, empregaram-se bibliotecas de algoritmos, como Gdal, GRASS GIS e SAGA GIS, integradas ao ambiente do QGIS.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM3, inicialmente em coordenadas geodésicas WGS84, foi reprojetado para coordenadas métricas SIRGAS 2000 / UTM Zone 25S para garantir precisão nas mensurações do terreno. Consequentemente, após o download dos recortes cartográficos necessários, cada folha foi submetida a uma reprojeção no algoritmo Gdal "Warp (reproject)", empregado para executar esta tarefa.

Após a reprojeção, procedeu-se à criação de um mosaico utilizando o algoritmo Gdal "Merge", empregando as folhas do MDE SRTM3 como entrada. Posteriormente, realizou-se um recorte da área de interesse por meio do algoritmo Gdal "Clip raster by extent". Essa etapa teve como objetivo otimizar e simplificar o processamento de dados pelo hardware utilizado, reduzindo a quantidade de dados a serem processados e agilizando os procedimentos subsequentes.

Posteriormente, procedeu-se a correções nos dados altimétricos SRTM3. Os valores negativos presentes no MDE foram substituídos pelo valor 1 utilizando o algoritmo SAGA "Raster Calculator". Em seguida, realizou-se o preenchimento de valores nulos ou áreas sem informações, utilizando o valor 0 por meio do algoritmo Gdal "Fill nodata". Por fim, as depressões espúrias do dado raster foram preenchidas utilizando o algoritmo GRASS "r.fill.dir". Desta maneira, os dados altimétricos do MDE SRTM3 foram preparados para serem utilizados na delimitação da bacia hidrográfica e no modelo de mapeamento e análise de áreas de risco de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe, conforme evidenciado na figura 16.

**Figura 16:** Árvore de procedimentos adotados para correção dos dados altimétricos SRTM3.



**Fonte:** Autores a partir do software Qgis versão 3.28 (2023).

### 3.4 Analytic Hierarchy Process (AHP)

A abordagem empregada para a elaboração do mapa de suscetibilidade a inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe baseia-se nos princípios do *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O método delineado por Thomas Saaty na década de 1970, onde destina-se à análise de atributos quali-quantitativos, integrando-os de forma sistemática durante a fase de mapeamento e tomada de decisões (SAATY, 1987). Essa abordagem é especialmente direcionada à hierarquização e atribuição de pesos a múltiplos critérios que representam um problema complexo (SAATY, 1991).

Em outras palavras, o AHP estabelece uma escala de importância, atribuindo pesos às diferentes classes dos parâmetros avaliados. Cada uma dessas classes detém uma importância específica que impacta a potencial ocorrência de inundação na área em análise (SAATY, 1991).

O método AHP aliado a técnicas de geoprocessamento ganharam notoriedade e relevância por representar juntos uma ferramenta de análise a decisões complexas que norteiam diversos dados ou critérios. Esta ferramenta pode contribuir para resoluções de problemas ambientais e socioeconômicos, alcançando ótimos resultados (SILVA et al, 2020; ABDELKARIM et al, 2020). Podemos destacar a utilização e consolidação deste método em trabalhos voltados para a área de geociências, principalmente em análises de riscos ambientais (KARYMBALIS et al, 2021).

Alguns desses estudos sobre riscos ambientais podem ser mencionados, os quais abrangem diversas regiões do Brasil, como o mapeamento das áreas suscetíveis a inundação no município de Jaboatão dos Guararapes em Pernambuco (PESSOA NETO et al, 2022); risco a inundação na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, em Santa Catarina (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019); na bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém, em Pernambuco (PORTELA et al, 2023); na foz do Rio Cachoeira, na Bahia (TOLENTINO et al, 2023); na bacia hidrográfica do Arroio Marreco, no Paraná (SILVA LIRA et al, 2022).

Trabalhos desenvolvidos por Braga et al (2020), Conceição & Simões (2019), Rezende et al (2017), e Magalhães et al (2011) destacam que elementos ambientais, principalmente o tipo e o uso do solo, além de componentes geomorfológicos como altitude e declividade, são frequentemente apontados como contribuintes significativos para o fenômeno de inundação.

Dessa forma, este método é voltado à hierarquização e atribuição de pesos aos múltiplos critérios estabelecidos. A estrutura da hierarquia implica na definição de variáveis que irão compor a matriz de comparação, onde determina-se os níveis de importância e posteriormente ocorre o processo de pareamento (REZENDE et al 2017; PORTELA, 2023; SAATY, 1987).

Uma vez delimitada a temática e selecionados os elementos a serem empregados no método, então é possível construir a Matriz de Comparação Pareada.

Sendo assim, conforme Saaty (1991), aplicando o método AHP, tem-se a escala de importância pelos pesos atribuídos aos fatores avaliados, estruturados numa matriz de comparação pareada, em que cada par estabeleceu a feição dominante e o grau de dominância variando de 1 a 9, conforme os critérios de importância apresentadas na tabela abaixo (SAATY, 1991).

**Tabela 8:** Escala de importância relativa entre dois critérios do método AHP.

| Escala de Importância | Descrição da Importância |                                                                                                                                      |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                     | Extrema Igual            | Os fatores desempenham papéis igualmente significativos no alcance do objetivo.                                                      |
| 2                     | Moderada                 | Uma importância relativamente menor de um fator em relação ao outro confere uma leve vantagem ao fator selecionado como prioritário. |
| 3                     |                          |                                                                                                                                      |
| 4                     | Forte                    | Uma grande ou essencial importância confere uma forte preferência ao fator escolhido em comparação com o outro.                      |
| 5                     |                          |                                                                                                                                      |
| 6                     | Muito forte              | Uma importância muito significativa confere uma preferência muito forte a um fator em relação ao outro.                              |
| 7                     |                          |                                                                                                                                      |
| 8                     | Extrema                  | Uma importância absoluta confere uma preferência máxima a um fator em relação ao outro, com o mais alto grau de certeza.             |
| 9                     |                          |                                                                                                                                      |

**Fonte:** adaptado de Saaty (1991).

O processo de comparação dos critérios resulta na Tabela 9, na qual cada elemento da matriz denota o grau de importância do critério na coluna à esquerda em relação a cada fator correspondente na linha superior. Assim, quando um critério é comparado consigo mesmo, o único resultado possível é "igual", ou seja, a diagonal principal possui o valor 1.

Em outras palavras, durante o processo de avaliação, cada elemento da linha é comparado com cada elemento da coluna, e o valor do julgamento é registrado na matriz, na posição correspondente à linha e coluna dos elementos comparados. Como mencionado, a tabela abaixo apresenta, de forma genérica, a matriz de avaliação dos  $n$  critérios ( $c_1, c_2, \dots, c_n$ ).

A matriz de comparação estabelece relações recíprocas, onde  $x_{ij}$  representa as entradas de julgamento. Ou seja, para cada julgamento registrado na posição de linha  $i$  e coluna  $j$ , representado por  $x_{ij}$ , há um valor igual a  $1/x_{ij}$  na posição recíproca, ou seja, na posição de linha  $j$  e coluna  $i$  (SAATY, 1991).

**Tabela 9:** Matriz de decisão para elaboração dos pesos variáveis.

| Critério | $c_1$      | $c_2$      | $c_3$      | $c_n$    |
|----------|------------|------------|------------|----------|
| $c_1$    | 1          | $x_{12}$   | $x_{13}$   | $x_{1n}$ |
| $c_2$    | $1/x_{12}$ | 1          | $x_{23}$   | $x_{2n}$ |
| $c_3$    | $1/x_{13}$ | $1/x_{23}$ | 1          | $x_{3n}$ |
| $c_n$    | $1/x_{n1}$ | $1/x_{n2}$ | $1/x_{n3}$ | 1        |

**Fonte:** Autores (2023).

Uma vez estabelecida a matriz de decisão, é crucial verificar a consistência dos resultados obtidos. Conforme indicado por Saaty (1987), o Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência (RC) são empregados para avaliar o resultado final da matriz. O IC é utilizado para obter uma estimativa precisa em relação aos pesos estatísticos resultantes do AHP. A equação para calcular o IC é a seguinte:

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

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=0}^n T_j \cdot P_j \quad 2$$

Em que  $n$  é o número de fatores utilizados na matriz de comparação pareada e  $\lambda_{\max}$  é o autovalor máximo, obtido a partir da equação 2.

Na determinação da Razão de Consistência (RC), é fundamental calcular o valor do Índice Randômico (IR), de acordo com Saaty (1987). Este índice é estabelecido com base no número de indicadores utilizados no cálculo AHP (conforme a Tabela 8). No presente estudo, foram consideradas 4 variáveis, resultando em um valor de IR de 0,90.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad 3$$

**Tabela 10:** Valores do Índice Randômico (IR) para matrizes quadradas de ordem  $n$ .

| Número de variáveis ( $n$ ) | Índice Randômico (IR) |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1                           | 0,00                  |
| 2                           | 0,00                  |
| 3                           | 0,58                  |
| 4                           | 0,90                  |
| 5                           | 1,12                  |
| 6                           | 1,24                  |
| 7                           | 1,32                  |
| 8                           | 1,41                  |
| 9                           | 1,45                  |
| 10                          | 1,49                  |

**Fonte:** Saaty (1987).

Conforme indicado por Saaty (1987), é crucial que o valor da Razão de Consistência (RC) seja inferior a 0,10 (10%) para garantir a consistência dos dados. Esta etapa de verificação dos resultados desempenha um papel essencial ao evidenciar a coerência (IC) e confiabilidade (RC) dos dados gerados.

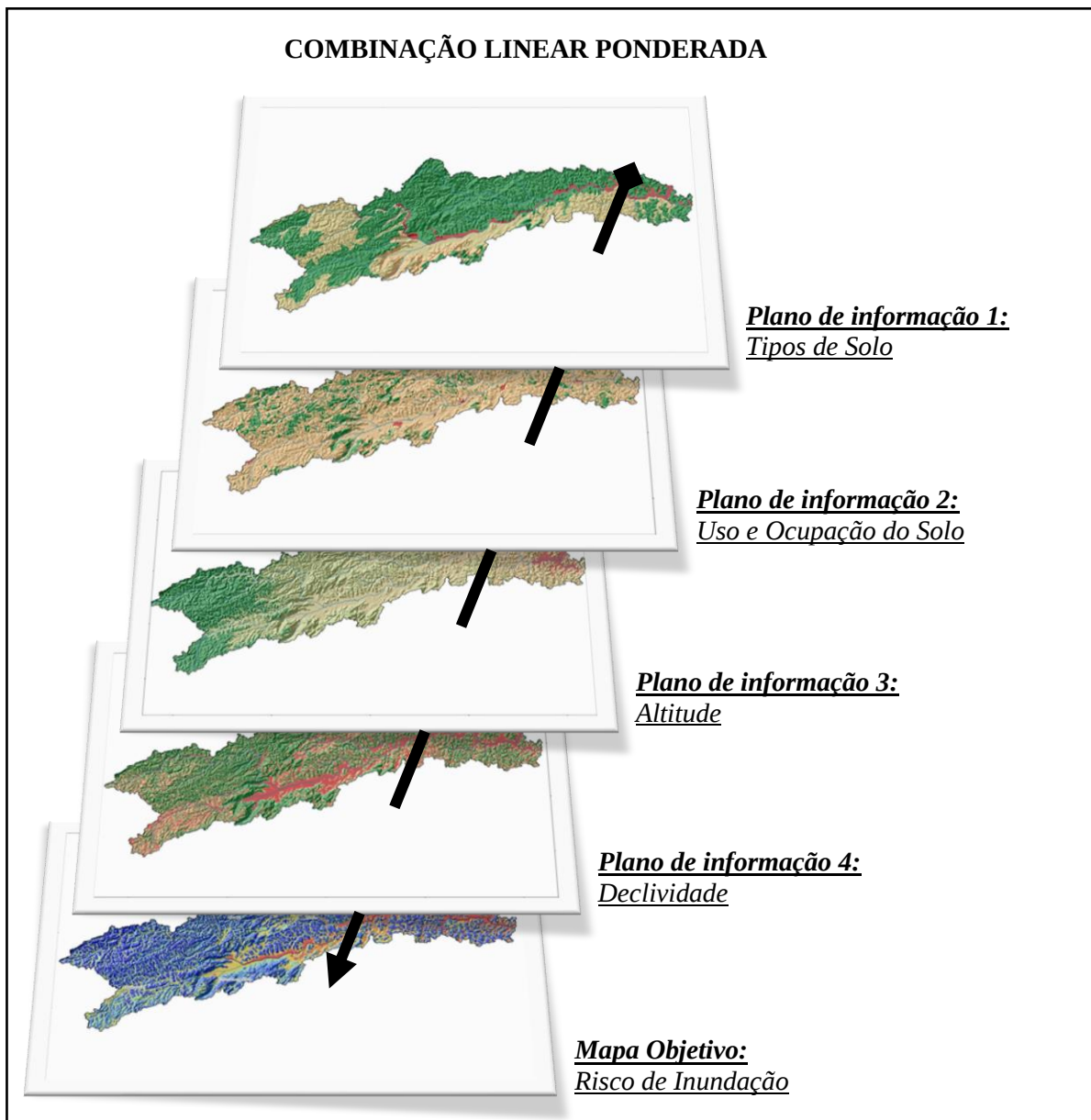
### 3.5 Modelo Espacial de Reclassificação de Variáveis

Como podemos observar no item anterior, o método AHP determina a importância relativa entre os critérios em relação ao objetivo estabelecido por meio da comparação direta em uma matriz de decisão.

Os pesos obtidos através da comparação par a par na matriz de decisão são empregados em um procedimento subsequente, conhecido como método da Combinação Linear Ponderada. Nesse método, os pesos atribuídos a cada critério são multiplicados pelos valores dos pixels correspondentes em cada camada matricial ou plano de informação no formato raster (Figura 17). Os resultados são então somados para produzir o modelo final ou mapa objetivo, que representa a solução para o problema em questão (CASTRO et al, 2015).

Assim, o método da Combinação Linear Ponderada faz uso da álgebra de mapas, que envolve operações matemáticas executadas por algoritmos de um Sistema de Informação Geográfica. Essas operações envolvem a sobreposição de diversas camadas de informações, culminando na produção de um mapa objetivo ou em um novo modelo cartográfico (SILVA; MACHADO, 2014; CASTRO et al, 2015). Abaixo está a ilustração do esquema da combinação linear ponderada usada na modelagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe.

**Figura 17:** Esquema da Combinação Linear Ponderada usada na modelagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe.



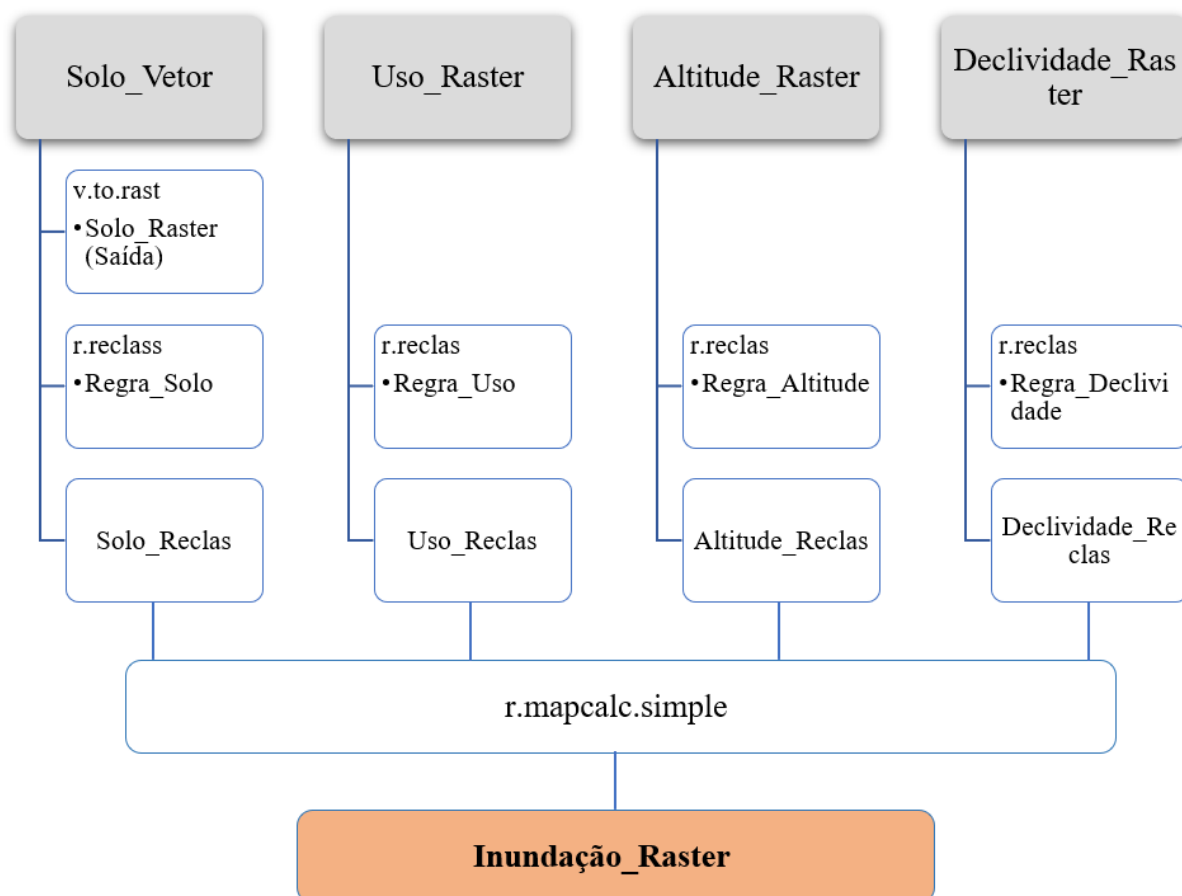
**Fonte:** Autores (2023).

A construção do modelo espacial de reclassificação de variáveis da bacia hidrográfica do Rio Jacuípe no ambiente SIG QGIS (versão 3.28) compreende três fases essenciais. Inicialmente, realiza-se a conversão de arquivos vetoriais para o formato raster. Posteriormente, são inseridas regras conforme a escala de importância de cada classe em cada variável. Finalmente, efetua-se a reclassificação de cada raster por meio do algoritmo "r.reclass", no qual são atribuídos os pesos de riscos de inundação correspondentes a cada classe (Figura 18).

Dessa forma, a última etapa envolve a atribuição de pesos aos diferentes níveis de classes identificadas nas variáveis da bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, incluindo altitude,

declividade, uso e ocupação do solo e tipos de solo. Assim, as classes associadas a cada variável foram pontuadas em uma escala de 1 a 10, refletindo seu grau de suscetibilidade a inundações. Esse procedimento visa destacar as áreas mais propensas ao risco hidrológico.

**Figura 18:** Estrutura do Modelo de Reclassificação para a Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe.



**Fonte:** Autores (2023).

De acordo com a estrutura do modelo é possível observar que somente os dados de pedologia requereram a conversão de vetor para raster, enquanto as demais camadas de entrada no modelo já estavam em formato raster. Com as regras estabelecidas concluídas, empregou-se o algoritmo "r.mapcalc.simple" do GRASS para sobrepor os dados preparados. Os quatro conjuntos de dados reclassificados, cada um representando um tema específico, foram utilizados como entrada, juntamente com a equação determinada pelo método AHP. Como resultado desse processo, foi gerado um raster correspondente ao mapa de risco de inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe.

### 3.6 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado no mês de junho de 2023 com a finalidade de reconhecimento e levantamento dos aspectos ambientais das áreas de riscos a inundações e a produção de registros fotográficos na problemática analisada.

Os pontos de interesse foram previamente definidos com base no mapa de inundação representados por valores de altíssimos riscos, gerados através do modelo de reclassificação da bacia hidrográfica do rio Jacuípe. As visitas aos locais georreferenciados dos Municípios de Jacuípe e Colônia Leopoldina foram guiadas e adaptadas à existência de estradas e rodovias com facilidade de acesso e próximas aos percursos do rio principal da bacia.

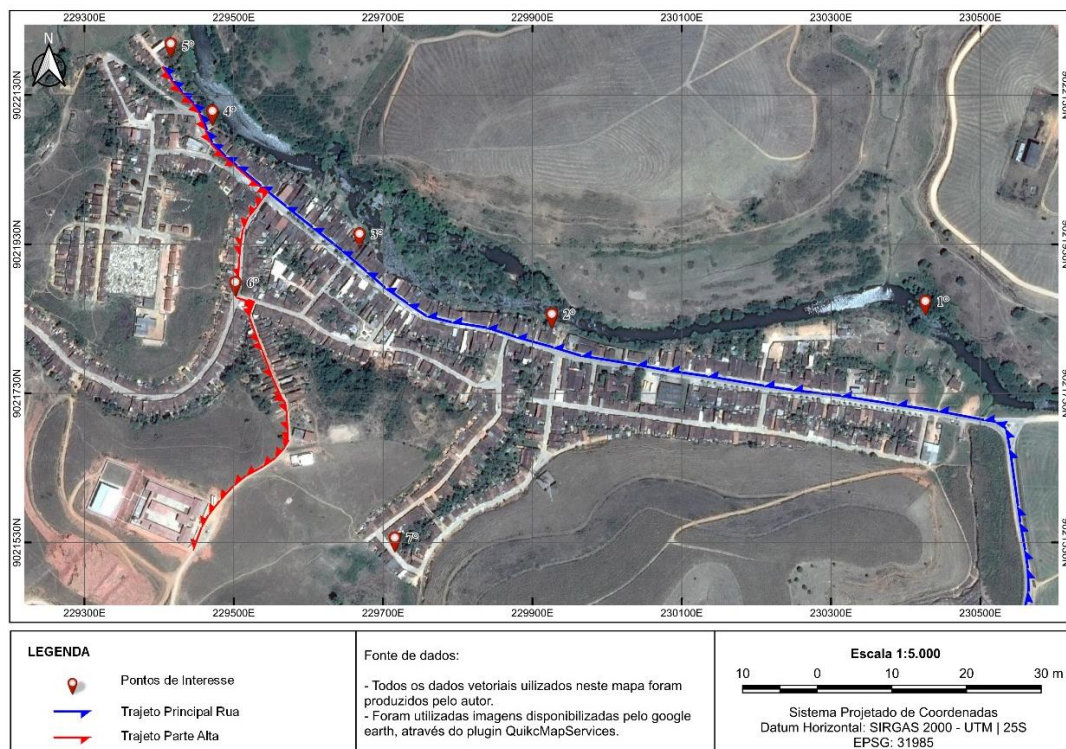
O trajeto teve início às 6:00 da manhã do dia 20 de junho de 2023, através da AL – 105 em direção ao município de Jacuípe (Figura 19), abordando os 7 pontos para verificação, sendo eles:

- Jacuípe Ponto 1: Latitude -8°50'27,82" S; Longitude -35°27'2,88" O
- Jacuípe Ponto 2: Latitude -8°50'28,28" S; Longitude -35°27'19,25" O
- Jacuípe Ponto 3: Latitude -8°50'24,72" S; Longitude -35°27'27,65" O
- Jacuípe Ponto 4: Latitude -8°50'19,32" S; Longitude -35°27'34,06" O
- Jacuípe Ponto 5: Latitude -8°50'16,36" S; Longitude -35°27'35,87" O
- Jacuípe Ponto 6: Latitude -8°50'26,79" S; Longitude -35°27'33,11" O
- Jacuípe Ponto 7: Latitude -8°50'38,00" S; Longitude -35°27'26,20" O

Após abordar todos os pontos na cidade de Jacuípe, retornou-se pela estrada AL – 105, AL – 408, BR - 101 na direção Norte até chegar na BR - 416 em direção ao município de Colônia Leopoldina (Figura 20), onde então partiu para verificação dos pontos de interesse.

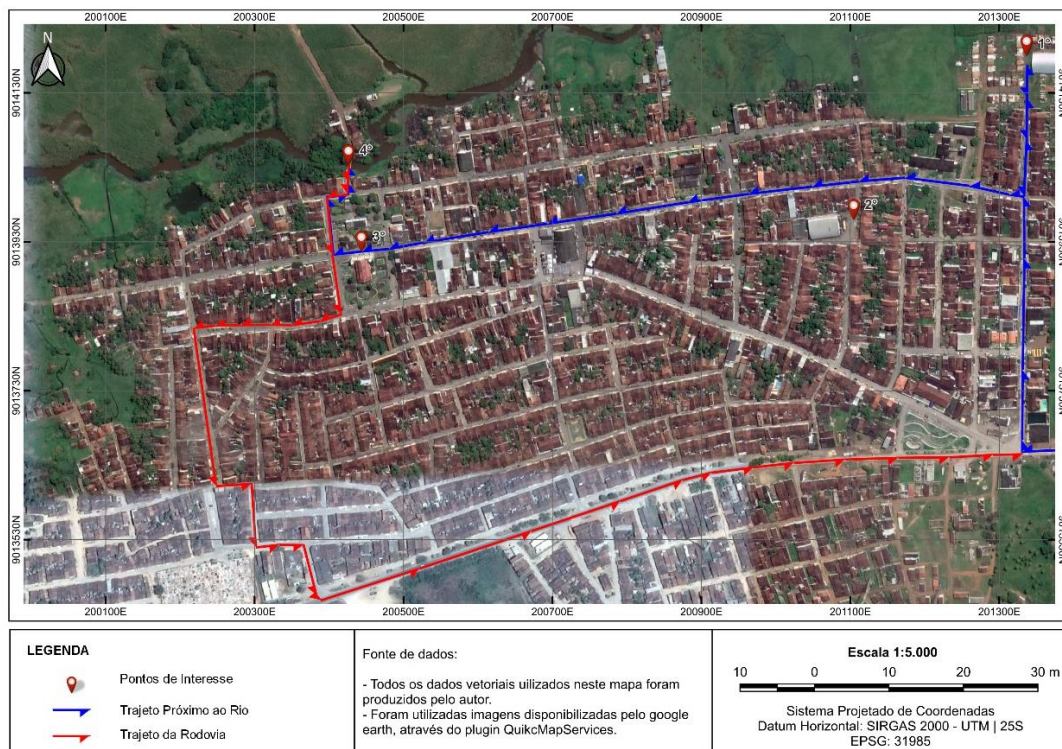
- Colônia Leopoldina Ponto 1: Latitude -8°54'30,18" S; Longitude -35°42'56,10" O
- Colônia Leopoldina Ponto 2: Latitude -8°54'37,29" S; Longitude -35°43'3,75" O
- Colônia Leopoldina Ponto 3: Latitude -8°54'38,52" S; Longitude -35°43'25,39" O
- Colônia Leopoldina Ponto 4: Latitude -8°54'34,75" S; Longitude -35°43'25,93" O

**Figura 19:** Trajeto do trabalho de campo no município de Jacuípe em Alagoas.



**Fonte:** Autores (2023).

**Figura 20:** Trajeto do trabalho de campo no município de Colônia Leopoldina em Alagoas.



**Fonte:** Autores (2023).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Reclassificação dos Critérios

Nesta seção, é apresentada a atribuição dos pesos com base na relevância para o risco de inundação na bacia hidrográfica do rio Jacuípe. Esses valores foram adotados às classes após uma revisão bibliográfica em busca de estudos que adotaram abordagem semelhante. Além disso, são exibidos os resultados do mapeamento e da reclassificação dos tipos de solo, do uso e ocupação do solo, da altitude e da declividade, evidenciando cada componente de entrada no modelo de risco de inundação na área de interesse.

#### 4.1.1 Tipos de Solo

A análise dos tipos de solos nos municípios da bacia hidrográfica do rio Jacuípe revela uma predominância de quatro classes de solos podendo variar desde latossolos, argissolos, neossolos e gleissolos, refletindo as condições climáticas e a vegetação predominante em cada área (Tabela 11; Figura 21). Além disso, foram considerados como critérios para atribuição de pesos as características relacionadas à capacidade de infiltração e ao escoamento superficial.

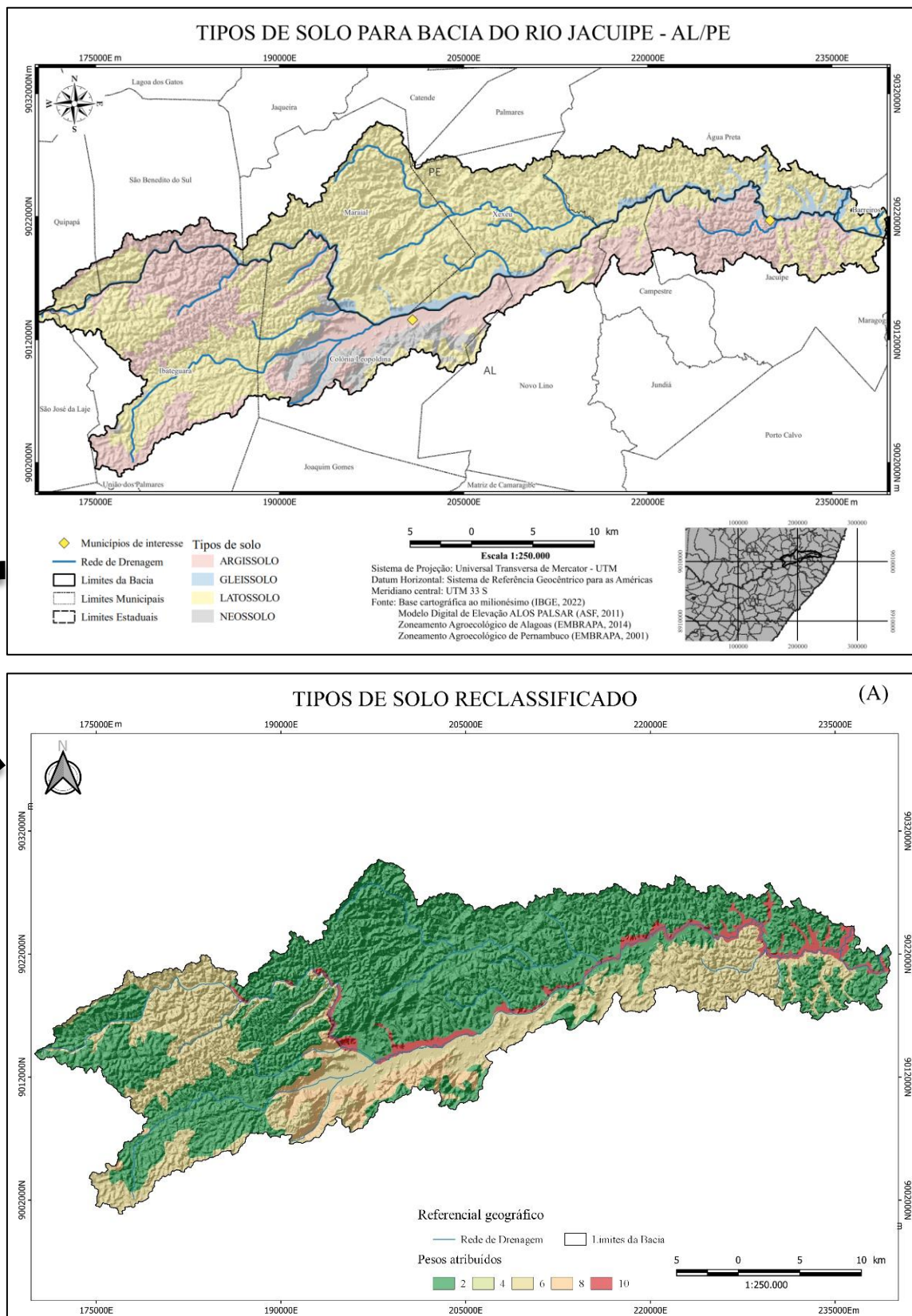
A presença de solos mais permeáveis em algumas regiões pode facilitar a infiltração da água, enquanto solos mais argilosos podem influenciar o escoamento superficial. Essas características desempenham um papel fundamental na dinâmica hídrica da bacia, impactando diretamente na ocorrência de inundações e na gestão dos recursos hídricos. O solo com maior suscetibilidade a inundação foi o gleissolo, sendo atribuído peso 10, seguido do neossolo com peso 8, e os menos propensos a inundação o argissolo e latossolo, com pesos atribuídos de 6 e 2, respectivamente.

**Tabela 11:** Pesos atribuídos para as classes dos tipos de solo.

| Variável      | Classes |           | Pesos |
|---------------|---------|-----------|-------|
| Tipos de Solo | 4       | Gleissolo | 10    |
|               |         | Neossolo  | 8     |
|               |         | Argissolo | 6     |
|               |         | Latossolo | 2     |

**Fonte:** Autores (2023).

**Figura 21:** Tipos de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe e Reclassificação dos dados raster de entrada (A).



#### 4.1.2 Uso e Ocupação do Solo

O panorama de uso e ocupação do solo nos municípios integrantes da bacia hidrográfica do rio Jacuípe apresentaram cinco categorias distintas (conforme Tabela 12 e Figura 22): Floresta, Formação natural não florestal, Agropecuária, Área com infraestrutura urbana e Corpos d'água. A classe de Corpos d'água recebeu pesos mais elevados devido à sua representação em áreas naturalmente suscetíveis a alagamentos. Já a presença de áreas urbanas está correlacionada diretamente com a impermeabilidade, aumentando, assim, o potencial de risco de inundação.

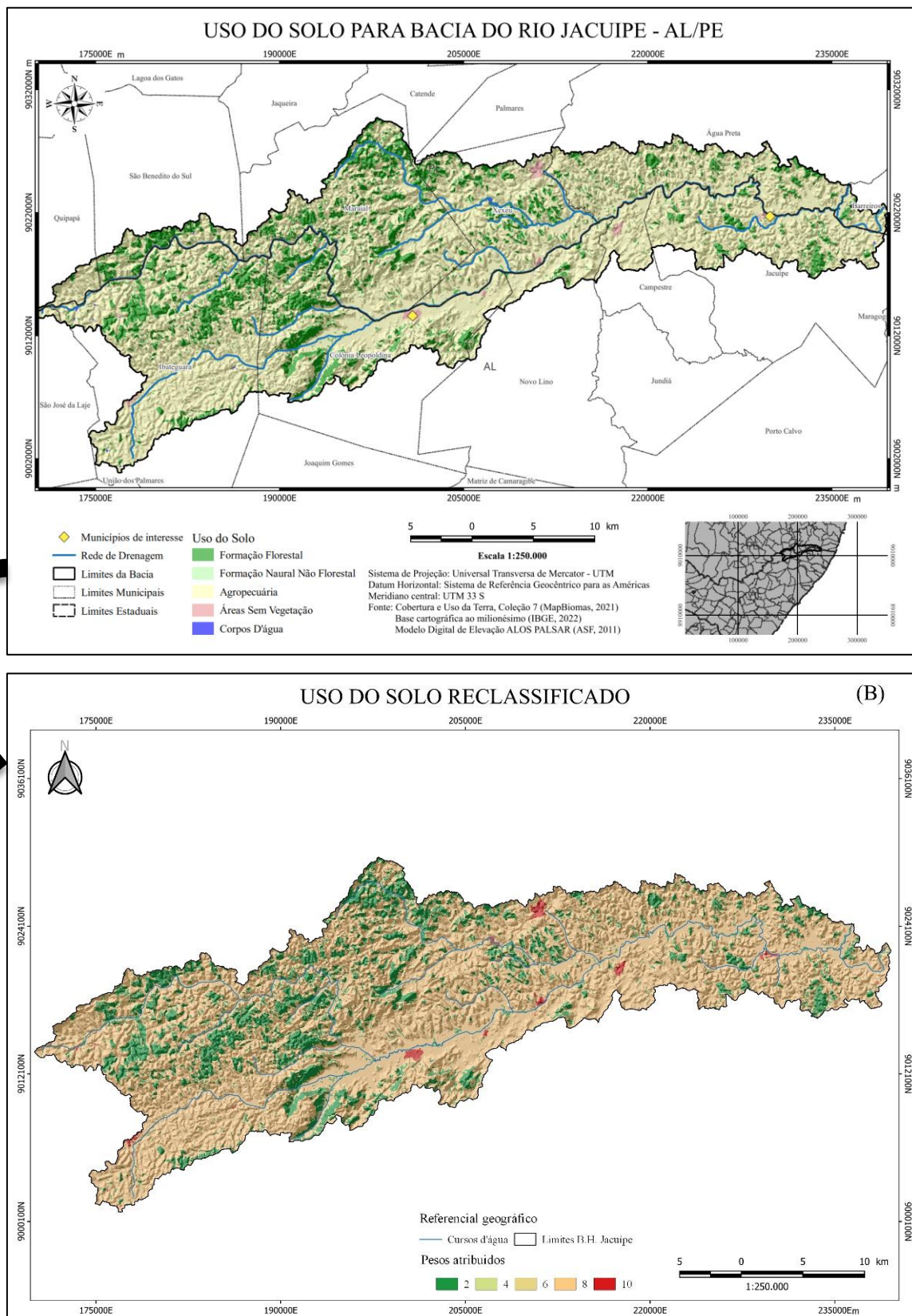
A categoria agropecuária foi atribuída ao peso 7, indicando que o desmatamento e a alteração de áreas de vegetação natural para usos agrícolas são fatores determinantes nas alterações do uso e ocupação do solo. Essas modificações podem acarretar no aumento da erosão, na redução da capacidade de retenção de água e na ampliação da vulnerabilidade a eventos hidrológicos extremos (TUCCI, 2002).

**Tabela 12:** Pesos atribuídos para as classes do uso e ocupação do solo.

| Variável                      | Classes |                                | Pesos |
|-------------------------------|---------|--------------------------------|-------|
| <b>Uso e Ocupação do Solo</b> | 5       | Corpos d'água                  | 10    |
|                               |         | Área urbana                    | 10    |
|                               |         | Agropecuária                   | 7     |
|                               |         | Formação natural não florestal | 1     |
|                               |         | Floresta                       | 1     |

**Fonte:** Autores (2023).

**Figura 22:** Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe e Reclassificação dos dados raster de entrada (B).



Fonte: Autores (2023).

### 4.1.3 Altitude

A análise da altitude na bacia hidrográfica do rio Jacuípe destaca uma notável diversidade topográfica, influenciada por características geológicas e do relevo. A Figura 23 proporciona uma visão abrangente da morfologia do terreno, evidenciando a configuração dos cursos d'água e dos municípios. A paisagem apresenta áreas com relevo acidentado, especialmente nas proximidades da cabeceira, notadamente no município de Ibateguara/AL, indicando um terreno montanhoso. À medida que o curso d'água avança, observa-se uma extensa região de terreno mais plano ao longo da calha do rio Jacuípe, culminando em uma diminuição gradual da altitude à medida que se aproxima do exutório da bacia.

Cerca de 37,53% da área total da bacia hidrográfica do rio Jacuípe é representada pela classe de altimetria de 100 a 200 metros, abrangendo principalmente a parte média. Nas proximidades do exutório da bacia, no município de Jacuípe/AL, a região caracteriza-se por ser plana e de baixa altitude, com aproximadamente 8,74% da área total da bacia situada na classe de 50 a 100 metros de altimetria. Em caso de eventos de chuvas intensas, áreas com características geomorfológicas de planície e topografia de baixa altitude apresentam maior susceptibilidade a inundações, conforme discutido por Tucci (2003).

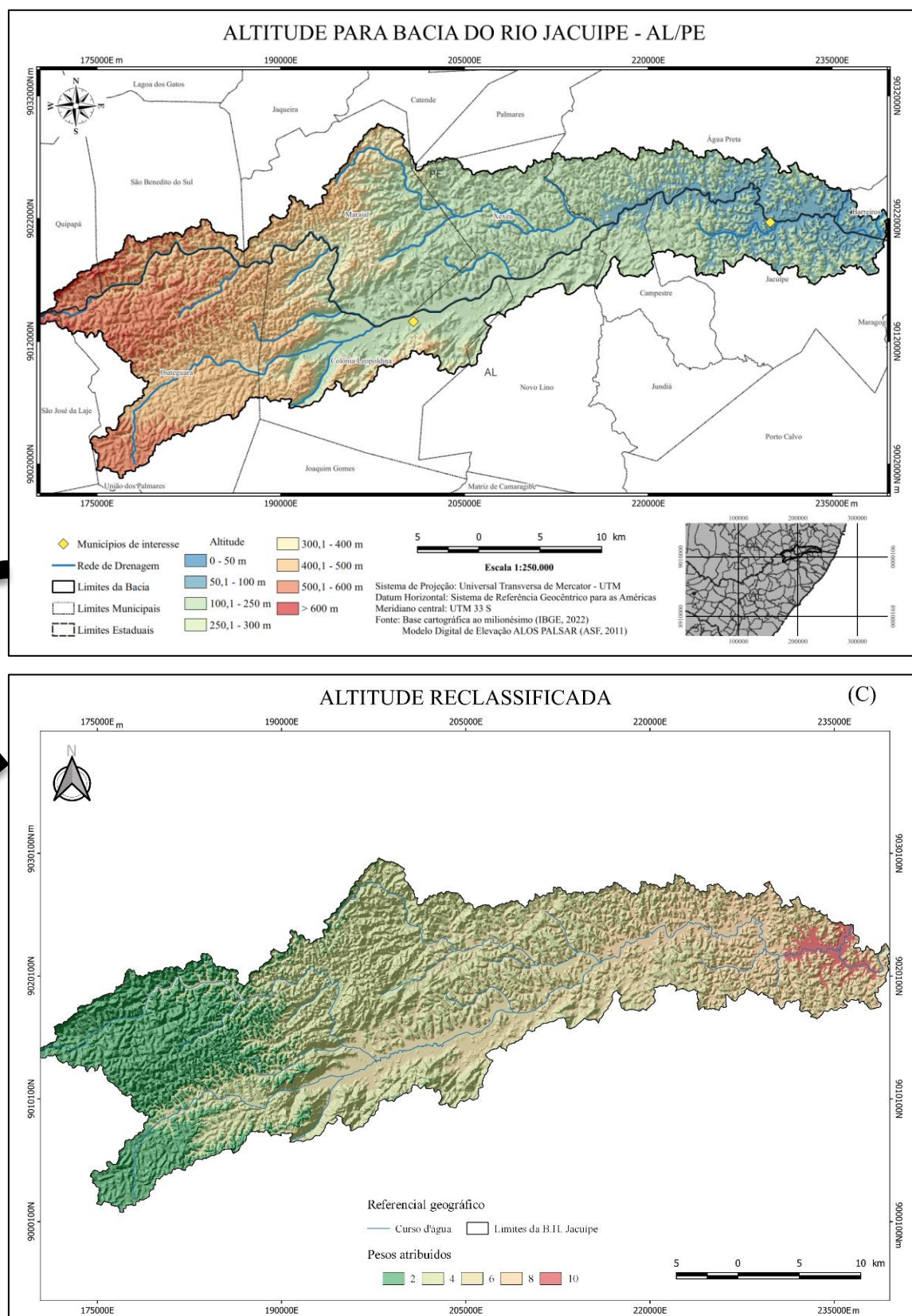
Adotando este critério, foram identificadas 8 classes de altimetria, onde pesos menores foram atribuídos às áreas de maior altitude. Regiões com altimetria elevadas, acima de 400 metros, compreendem aproximadamente 34% da área total, cerca de 285 km<sup>2</sup>. Essa porção está situada nas proximidades dos municípios de Ibateguara/AL e São Benedito do Sul/PE. Adicionalmente, é possível observar uma transição abrupta na altimetria no município de Colônia Leopoldina.

**Tabela 13:** Pesos atribuídos para as classes de altitude.

| Variável     | Classes |             | Pesos |
|--------------|---------|-------------|-------|
| Altitude (m) | 8       | 0 - 70      | 10    |
|              |         | 70.1 - 100  | 8     |
|              |         | 100.1 - 130 | 6     |
|              |         | 130.1 - 160 | 5     |
|              |         | 160.1 - 200 | 3     |
|              |         | 200.1 – 450 | 3     |
|              |         | 450.1 – 500 | 2     |
|              |         | > 500       | 1     |

**Fonte:** Autores (2023).

**Figura 23:** Altitude da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe e Reclassificação dos dados raster de entrada (C).



Fonte: Autores (2023).

#### 4.1.4 Declividade

Os pesos designados para as classes de declividade estão detalhados na tabela 14, indicando cinco classes existentes na bacia. Percebe-se que o padrão adotado para a altitude é semelhante, sugerindo que áreas com altitudes mais baixas e declividades menores são mais propensas a inundações (Figura 24).

Quanto à atribuição de pesos, as classes de 0 a 3 e 3 a 8, que indicam relevos planos e suavemente ondulados, foram designadas com os pesos 10 e 9, respectivamente. Para as classes de 8 a 20, representativas de um relevo intermediário, foi atribuída a pontuação 7. Por fim, as classes que denotam relevo montanhoso e escarpado receberam o peso 1.

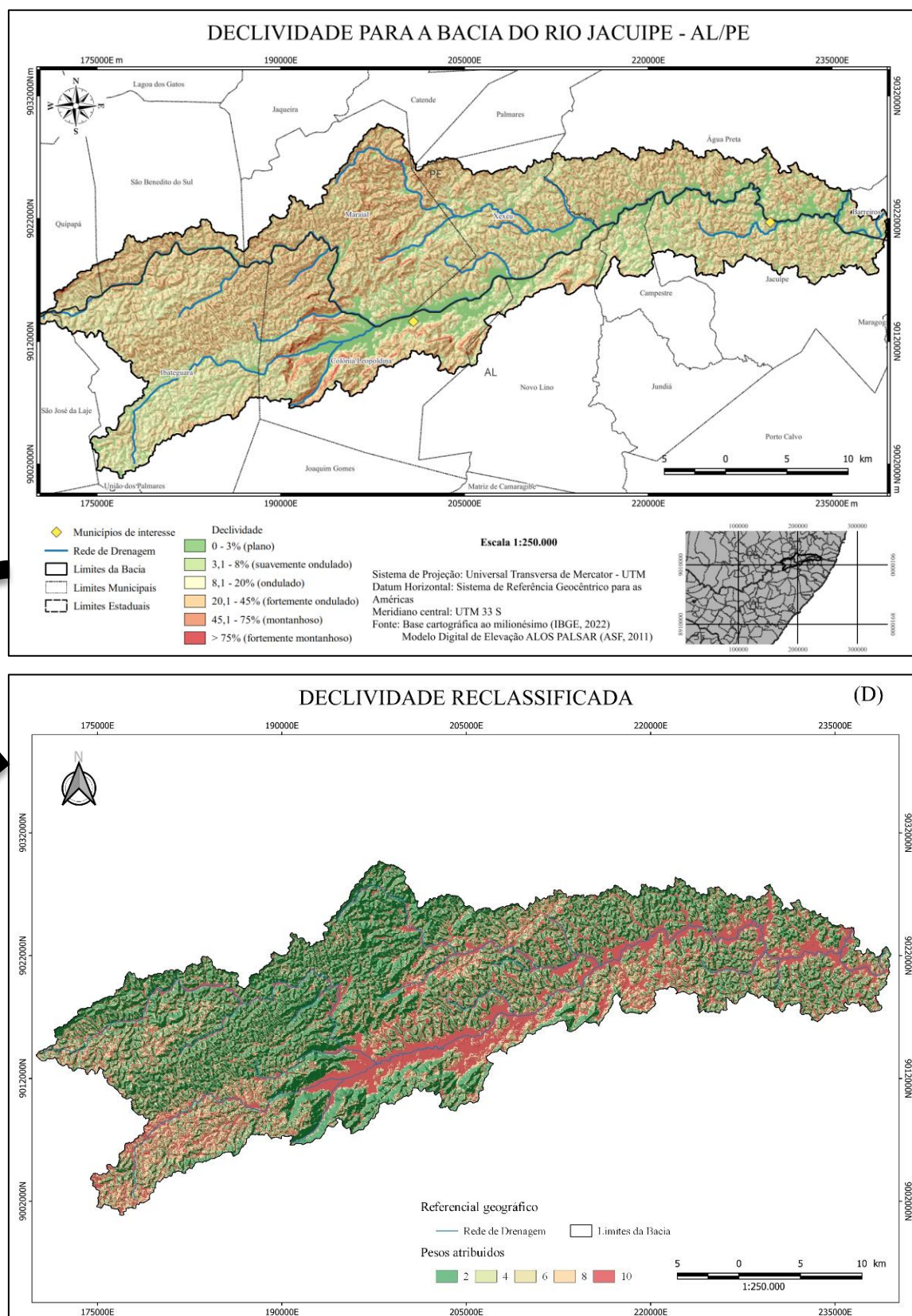
Em regiões onde a declividade é mais suave, indicando terrenos planos a suavemente ondulados, a água tende a escoar mais lentamente, aumentando a probabilidade de acúmulo e, conseqüentemente, de ocorrência de inundações. Por outro lado, áreas com declividades mais acentuadas apresentam um escoamento mais rápido, reduzindo o risco de inundações, mas potencialmente contribuindo para processos erosivos (TUCCI, 2003; VIANA, 2016; FARIAS, 2019).

**Tabela 14:** Pesos atribuídos para as classes de declividade.

| Variável               | Classes |           | Pesos |
|------------------------|---------|-----------|-------|
| <b>Declividade (%)</b> | 6       | 0 – 3     | 10    |
|                        |         | 3.1 – 8   | 9     |
|                        |         | 8.1 – 20  | 7     |
|                        |         | 20.1 – 45 | 2     |
|                        |         | 45.1 – 75 | 1     |
|                        |         | > 75      | 1     |

**Fonte:** Autores (2023).

**Figura 24:** Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe e Reclassificação dos dados raster de entrada (D).



A atribuição de pesos e importância considerou visitas de campo, juntamente com o conhecimento prévio dos autores sobre a área, sendo essas informações fundamentais para o julgamento necessário na construção da matriz. Conforme Oliveira (2009), após identificar as condicionantes geoambientais, procede-se à elaboração de uma matriz de comparação, na qual os valores são distribuídos de acordo com a hierarquia e importância dessas condicionantes.

A elaboração da Matriz de Comparação Pareada para o risco de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe está representada na Tabela 15. Como mencionado anteriormente, estabeleceu-se a ordem de importância das variáveis, posicionando-as na tabela da menos suscetível para a mais suscetível.

**Tabela 15:** Matriz de Comparação Pareada para Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe.

| <b>Indicadores</b>            | <b>Tipos de Solo</b> | <b>Uso do Solo</b> | <b>Altitude</b> | <b>Declividade</b> | <b>Pesos</b> |
|-------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------|
| <b>Tipos de Solo</b>          | 1                    | 1/3                | 1/5             | 1/7                | 0,057        |
| <b>Uso e ocupação do Solo</b> | 3                    | 1                  | 1/3             | 1/5                | 0,122        |
| <b>Altitude</b>               | 5                    | 3                  | 1               | 1/3                | 0,264        |
| <b>Declividade</b>            | 7                    | 5                  | 3               | 1                  | 0,558        |

**Fonte:** Autores (2023).

O resultado da aplicação da matriz demonstra que o indicador declividade foi considerado fortemente mais importante dentre as quatro variáveis. Assim, se comparado aos tipos de solo, pode-se afirmar que a declividade é sete vezes mais importante na análise de risco a inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe.

Na figura 25 é possível visualizar a interface do plugin Easy AHP utilizado para cálculos dos índices de consistência. Os resultados alcançados indicam ótimas consistências de acordo com a metodologia de Saaty, referentes ao valor de  $\lambda = 4,123$  equivalente ao número de variáveis; IC = 0,041 próximo a zero; RC = 0,046 valor inferior a 0,10.

**Figura 25:** Interface do plugin Easy AHP no software Qgis - Cálculos dos índices de consistência.

**STEP 2: Fill The Pairwise Matrix**

|                            | solos_jacuipe_reclas | uso_jacuipe_reclas | altitude_jacuipe_reclas | declividade_jacuipe_reclas |
|----------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|
| solos_jacuipe_reclas       | 1                    | 0.333              | 0.2                     | 0.143                      |
| uso_jacuipe_reclas         | 3.0                  | 1                  | 0.333                   | 0.2                        |
| altitude_jacuipe_reclas    | 5.0                  | 3.0                | 1                       | 0.333                      |
| declividade_jacuipe_reclas | 7.0                  | 5.0                | 3.0                     | 1                          |

**AHP Indicators**

$\lambda = 4.123$

CI = 0.041

CR = 0.046

Buttons: Calculate, Load table..., Save table..., Back, Next, Cancel

**Fonte:** Autores (2023).

Os pesos resultantes da matriz estão exibidos na equação abaixo. É possível correlacionar as condicionantes geoambientais conforme sua importância para a construção do mapeamento de inundação. Dessa forma, no ambiente SIG Qgis, as variáveis são processadas por meio da álgebra de mapas na raster calculator, onde o Risco de Inundação (RI) é igual ao somatório dos produtos dos valores de cada camada por seus devidos pesos.

$$RI = D * 0,558 + A * 0,264 + U * 0,122 + S * 0,057$$

Onde: RI = Risco de Inundação;

D = Declividade;

A = Altitude;

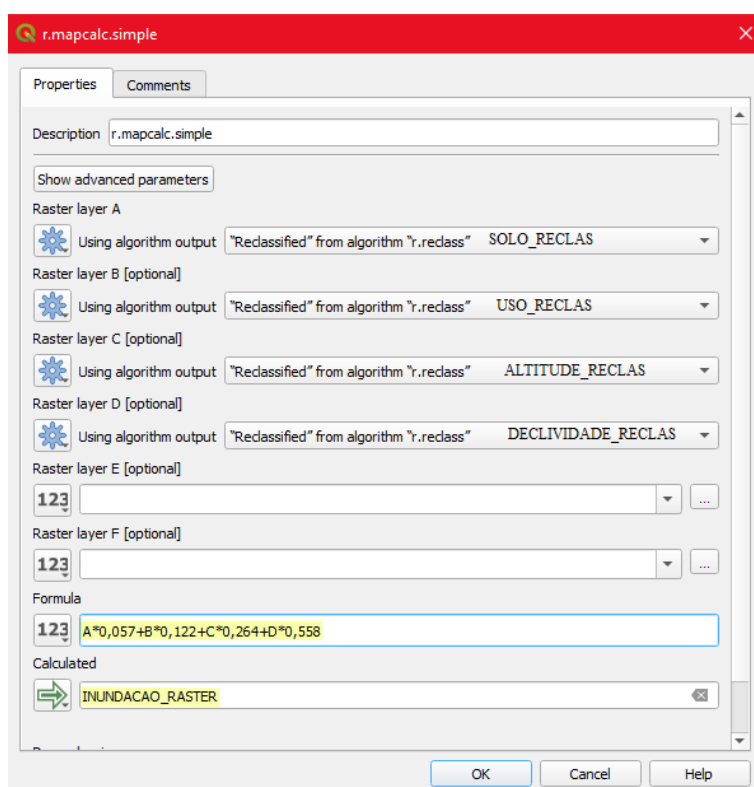
U = Uso e ocupação do solo;

S = Tipos de solo;

## 4.2 Risco de Inundação para Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe

Os quatro conjuntos de dados reclassificados foram utilizados como entrada, juntamente com a equação determinada pelo método AHP. Como resultado desse processo, foi gerado um raster correspondente ao mapa de risco de inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe. Esse procedimento pode ser visualizado na interface do algoritmo no software SIG (Figura 26).

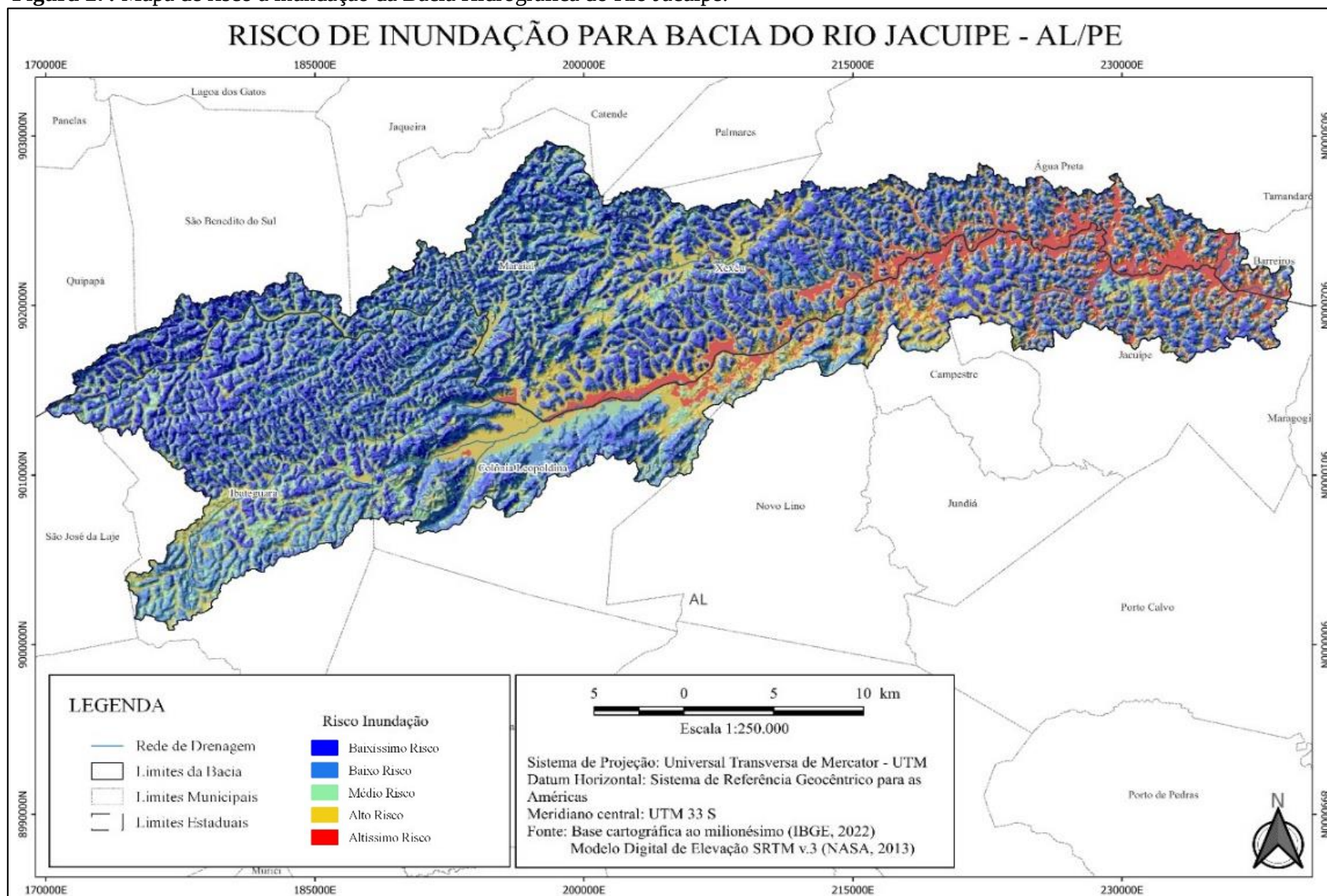
**Figura 26:** Interface do algoritmo GRASS GIS "r.mapcalc.simple".



**Fonte:** Autores (2023).

O resultado do método AHP para suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Rio Jacuípe está representado na Figura 27, dividiu-se em cinco classes variando de baixíssimo, baixo, médio, alto e altíssimo risco de inundação. O mapeamento de risco a inundação indica que 43% (350 km<sup>2</sup>) da área total da bacia corresponde a classe baixo risco, seguido das classes de baixíssimo e alto risco com 19,8% (161 km<sup>2</sup>) e 17% (138 km<sup>2</sup>), respectivamente. As classes de risco médio e altíssimo, abrangem respectivamente 12,7% (103 km<sup>2</sup>) e 7,23% (58 km<sup>2</sup>) da extensão total da bacia hidrográfica do Rio Jacuípe.

**Figura 27:** Mapa de risco a inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe.



**Fonte:** Autores (2023).

As classes de risco baixo e baixíssimo, concentram-se nas áreas com maior altitude acima de 400 metros, com declividade acentuada, com características de relevo montanhoso e com maior presença de cobertura vegetal. Pelas condições descritas nestas classes, o risco de inundação é nulo. Contudo, essas regiões têm o potencial de gerar escoamento superficial, direcionando-se para áreas mais baixas e fundos de vales, contribuindo, desse modo, para a manifestação de inundações nesses pontos.

Observa-se que as áreas consideradas com potencial risco a desastres hidrológicos, representadas pela classe altíssimo, estão localizadas na planície do Rio que deu nome à bacia hidrográfica, Jacuípe. Essas regiões apresentam características geomorfológicas de planície, com menores declividades e baixas altitudes (50 – 100 metros de altimetria).

Nas áreas do médio e baixo curso do Rio Jacuípe, situadas entre 50 e 200 metros de altimetria, também se evidenciam regiões com altíssimo risco de inundação em afluentes como o Rio Camarão e os riachos João Murato, São João, Ipiranga e Mirim. Contudo, apenas as margens do curso do Rio Jacuípe abrigam infraestruturas urbanas próximas. Os rios e riachos mencionados são habitados por usinas de cana, pequenos engenhos e povoados originados de antigos trabalhadores do corte de cana-de-açúcar.

É importante ressaltar que as formas de ocupação na área de estudo são compostas, em sua maioria, por agricultura e pastagem que baseia fundamentalmente na cultura da cana-de-açúcar. O Estado de Alagoas está entre os maiores produtores de cana-de-açúcar, sendo o quarto produtor do Brasil e o maior do Nordeste. Em nível nacional, é o segundo na produção de açúcar e, sexto na de álcool, sendo a produção beneficiada pela proximidade das unidades industriais ao porto de Maceió (NASCIMENTO e MENTA, 2007). Sendo assim, Alagoas e Pernambuco possuem a maior participação na produção de cana-de-açúcar da região Nordeste, alcançando em 2017 cerca de 282,2 mil hectares e 213,8 mil hectares, respectivamente (ETENE, 2018).

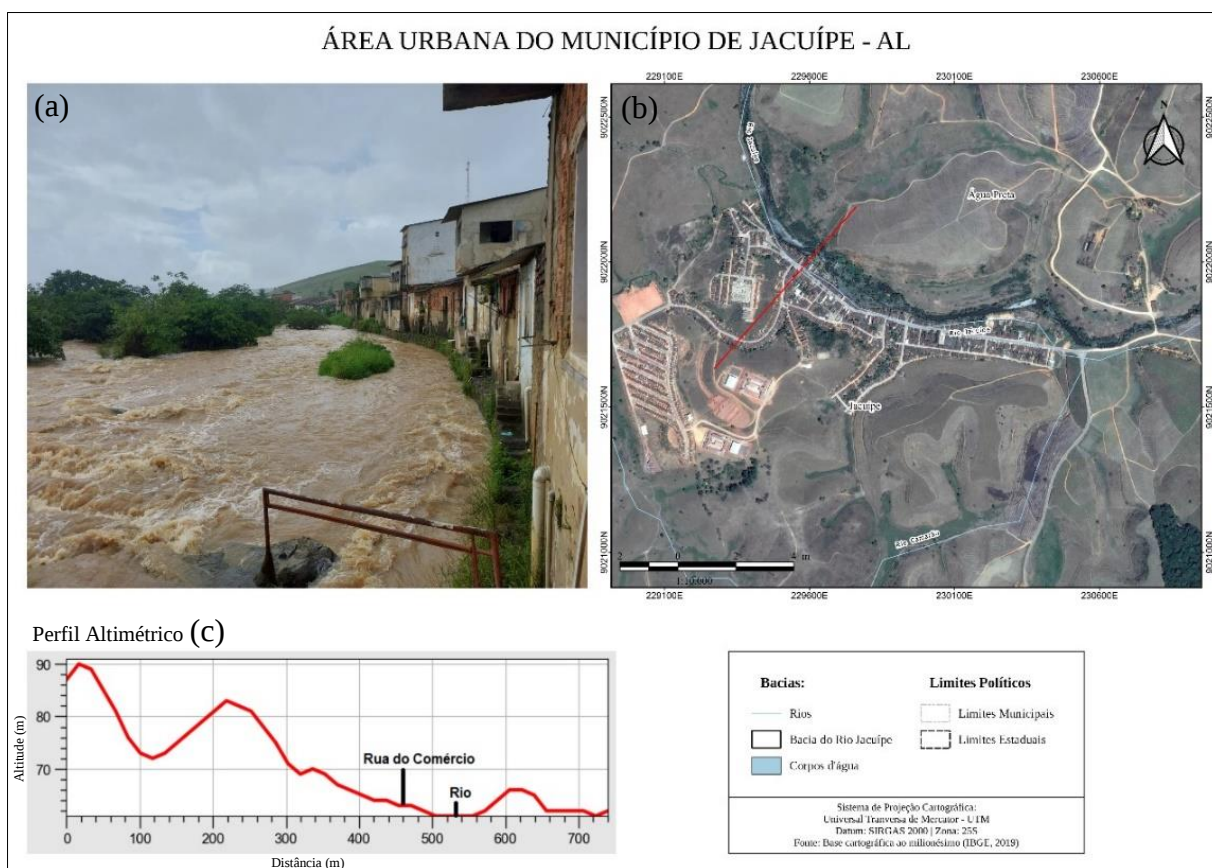
Ao relacionar os dados do mapa de uso e ocupação do solo com o mapa de risco de inundação, destaca-se que a probabilidade de inundação é mais significativa em regiões com extensas atividades agropecuárias e urbanização associada. A presença de atividades agropecuárias desempenha um papel significativo na modelagem do uso do solo, as práticas agrícolas e o manejo do solo influenciam diretamente na capacidade de infiltração e retenção de água, afetando a suscetibilidade da área a inundações.

A expansão urbana, notadamente nas proximidades do leito do rio e de seus afluentes, é observada como um fator relevante de modificação no uso do solo. O crescimento desordenado das áreas urbanas pode aumentar a impermeabilização do solo, impactando negativamente na infiltração da água e intensificando o escoamento superficial, contribuindo

para o aumento do risco de inundações (MIGUEZ et al, 2018).

A proximidade das áreas urbanas dos municípios de Jacuípe e Colônia Leopoldina, situadas às margens do Rio principal Jacuípe é preocupante. De acordo com informações da SEMARH (2005) e CPRM (2013), há registros de ocupação desordenada por famílias de baixa renda e construções inadequadas às margens do rio, sem o devido planejamento. Isso torna essas áreas propensas a riscos ambientais, refletindo a vulnerabilidade enfrentada pelos municípios que compõem a bacia, como evidenciado nas Figuras 28.

**Figura 28:** Área urbana do município de Jacuípe em Alagoas. (a) Registro fotográfico; (b) Imagem de satélite com perfil altimétrico traçado; (c) Perfil altimétrico.



**Fonte:** Autores (2023).

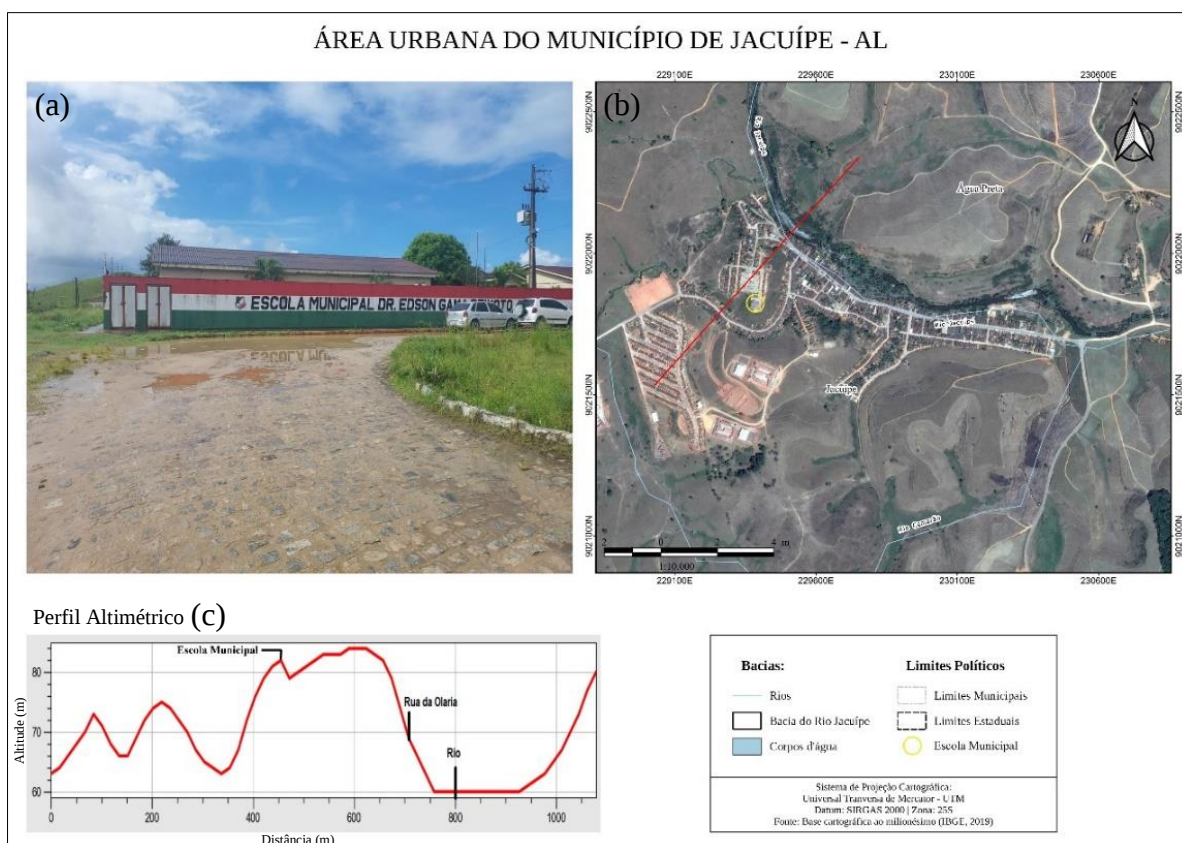
Neste contexto do ambiente urbano de Jacuípe, as enchentes do rio principal exercem uma influência significativa na dinâmica entre sociedade e natureza. Na figura 27, é possível compreender os desafios decorrentes de ocupações inadequadas, fruto de um histórico processo de crescimento urbano no município (SEMARH, 2005), ocorrido sem controle e planejamento adequado. A área em questão está no coração da cidade de Jacuípe, e a imagem captura residências construídas à margem do rio homônimo, uma área totalmente ocupada para fins de

moradia e comércio.

Nesse cenário, uma parte considerável da população enfrenta elevados índices de vulnerabilidade, vivenciando constantes ameaças de inundações nestas localidades. Inevitavelmente, os habitantes lidam com desafios recorrentes em cada episódio, adaptando-se conforme seus recursos econômicos e a partir das informações fornecidas pelos órgãos de Proteção e Defesa Civil, os quais monitoram o nível do rio Jacuípe através de réguas linimétricas e dispositivos eletrônicos instalados. Observa-se que a área urbana de Jacuípe está localizada na planície do baixo curso do rio principal, englobando também o curso do Rio Camarão, que deságua a oeste da cidade.

Em resposta aos diversos episódios de inundações e às consequências catastróficas ocorridas nas últimas décadas (2010, 2011, 2017, 2022), o governo federal empreendeu a construção de conjuntos habitacionais e escolas em localizações estratégicas, abrangendo áreas com características topográficas de maior altitude, conforme demonstrado na Figura 29. Os resultados do mapeamento confirmam e apontam um risco baixíssimo de inundação nessas áreas.

**Figura 29:** Construção de escolas do Município de Jacuípe/AL após a inundação ocorrida em 2010. (a) Registro fotográfico; (b) Imagem de satélite com perfil altimétrico traçado; (c) Perfil altimétrico.



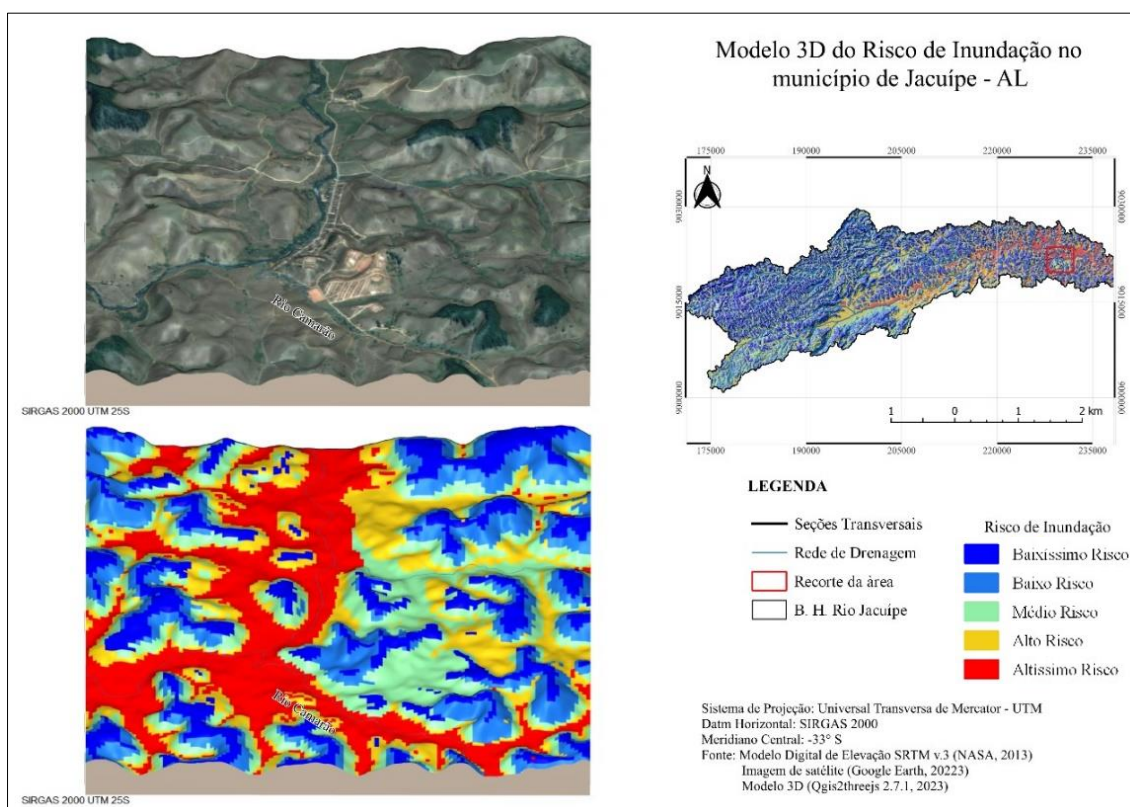
**Fonte:** Autores (2023).

Ao longo das atividades de campo conduzidas em junho de 2023, foram identificados diversos casos de famílias que permanecem em residências ou comércios com condições estruturais precárias, em áreas localizadas na planície de inundação do rio. A quantidade de residências e assentamentos informais nessas áreas está intrinsecamente ligada ao fenômeno que origina tanto os riscos quanto as vulnerabilidades, destacando a urgência dos problemas socioambientais abordados nesta tese. Portanto, ao observar os resultados do mapeamento e os registros fotográficos, afirma-se que as condições e locais de moradia produzem níveis críticos de risco a inundação.

Conforme Beck (2011), a vulnerabilidade está associada à exposição aos riscos, indicando a maior ou menor suscetibilidade de pessoas, locais e infraestruturas. Outros registros fotográficos anexados no apêndice, revelam marcas da altura da lâmina d'água nas residências evidenciando novamente a exposição ao risco.

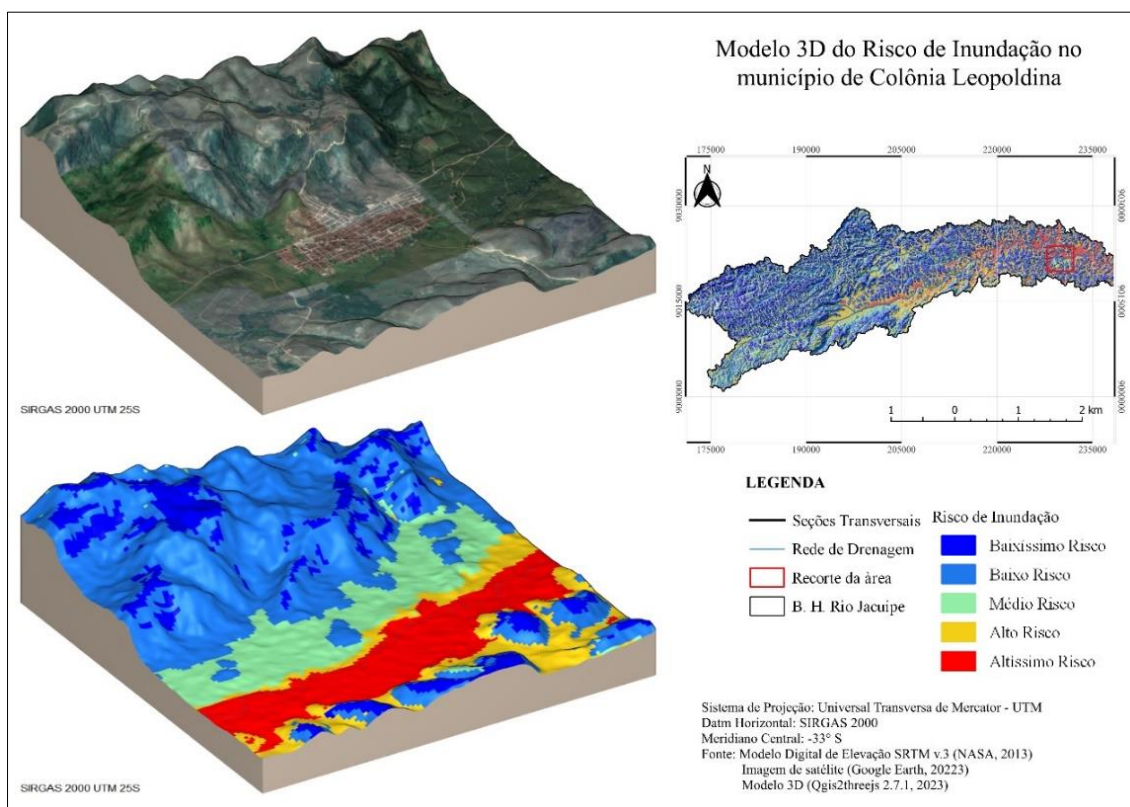
De maneira geral, os resultados sugerem um risco muito elevado de inundação em grande parte da cidade de Jacuípe (Figura 30), o que significa que as construções estão propensas a serem afetadas por inundações em caso de aumento do nível do rio. A situação é semelhante no município de Colônia Leopoldina, onde também há elevados riscos de desastres hidrológicos (Figura 31). O risco de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe é uma questão complexa que envolve fatores topográficos, climáticos, de ocupação do solo e de infraestrutura. Abordar essa problemática exige medidas preventivas e de adaptação para proteger as comunidades e promover uma gestão sustentável dos recursos hídricos na região.

**Figura 30:** Modelo 3D do Risco de Inundação no Município de Jacuípe em Alagoas.



**Fonte:** Autores (2023).

**Figura 31:** Modelo 3D do Risco de Inundação no Município de Colônia Leopoldina em Alagoas.



**Fonte:** Autores (2023).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo possibilitou a identificação e análise das regiões com maior propensão a eventos de inundação na bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, abrangendo os estados de Alagoas e Pernambuco, por meio da aplicação do Processo Analítico Hierárquico - AHP em conjunto com técnicas de geoprocessamento.

No âmbito metodológico, a utilização do método AHP aliado com o ambiente SIG (Qgis versão 3.28) produziu resultados robustos, confirmando a eficácia da abordagem adotada, mesmo diante dos desafios associados ao trabalho com uma bacia de grande extensão. Desse modo, os procedimentos utilizados demonstraram uma ótima capacidade de analisar de maneira integrada as variáveis, ressaltando a efetividade dos resultados obtidos no mapeamento de risco de inundação na área de estudo.

O mapeamento de suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Rio Jacuípe resultou na classificação da área em cinco distintas categorias de risco: baixíssimo, baixo, médio, alto e altíssimo. A maior parte da região, abrangendo 43% da área total da bacia, foi categorizada como de baixo risco, seguida por baixíssimo e alto risco, representando 19,8% e 17%, respectivamente. As categorias de risco médio e altíssimo compreendem 12,7% e 7,23% da extensão total da bacia, demonstrando uma distribuição diversificada dos níveis de suscetibilidade.

As áreas com um elevado potencial de risco para desastres hidrológicos, classificadas como de risco altíssimo, encontram-se nas planícies do Rio Jacuípe. Essas regiões exibem características geomorfológicas de planície, com baixas altitudes e declividades suaves. Nas zonas correspondentes ao trecho médio e inferior do Rio Jacuípe, bem como em afluentes como o Rio Camarão e os riachos João Murato, São João, Ipiranga e Mirim, observa-se uma considerável vulnerabilidade a inundações. As margens desses cursos d'água abrigam infraestruturas urbanas e povoados, destacando a complexa interação entre a ocupação humana e a suscetibilidade a inundações.

Por fim, os resultados obtidos apontam para um risco elevado de inundação em diversas áreas da bacia hidrográfica do Rio Jacuípe, destacando a necessidade de abordagens preventivas e adaptativas para proteger as comunidades e promover uma gestão sustentável dos recursos hídricos na região. A problemática envolve uma combinação complexa de fatores topográficos, climáticos, de ocupação do solo e de infraestrutura, exigindo uma abordagem integrada para enfrentar esses desafios.

## REFERÊNCIAS

- ABDELKARIM, A.; AL-ALOLA, S. S.; ALOGAYELL, H. M.; MOHAMED, S. A.; ALKADI, I. I.; ISMAIL, I. Y. **Integration of gis-based multicriteria decision analysis and analytic hierarchy process to assess flood hazard on the al-shamal train pathway in al-qurayyat region, kingdom of saudi arabia.** water, v. 12, n. 6, p. 1702, 2020.
- ALCÁNTARA AYALA, I. **Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries.** Geomorphology, v. 47, p.107-124, 2002.
- ALHEIROS, M. M. **Gestão de riscos geológicos no Brasil.** Revista Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental (RBGEA), v. 1, n. 1, 2011. p. 109-122
- AVEN, T. **On how to define, understand and describe risk.** Reliability Engineering & System Safety, 95(6), 623–631. doi: 10.1016/j.res.2010.01.011, 2010.
- BECK, ULRICH. **Sociedade de risco: Rumo a outra modernidade**, 2.ed . São Paulo: Editora 34, 2011.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas.** Tradução Francisco M. Guimarães. Petrópolis, RJ. 1973, 351p
- BRAGA, S. E.; WANDERLEY, R. A.; HOLANDA, T. F.; CALDAS, A. M. **Aplicação da análise hierárquica para mapeamento de risco de inundação: o caso no município de limoeiro (Pernambuco - Brasil).** meio ambiente (brasil), v. 2, n. 1, p. 57-66, 2020.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC). Departamento de Minimização de Desastres. **Noções Básicas em Proteção e Defesa Civil e em Gestão de Riscos.** Modulo de Formação. Livro Base. 1a Edição. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.
- CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. **Avaliação do risco a inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 1, p. 124-138, 2019.
- CARDONA, O.D. **Medición de la gestión del riesgo en América Latina.** Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnologia e Humanismo. n. 3, p. 1-20, 2008.
- CARDOSO, Omar de Almeida. Várzeas do Alto Tietê, **as águas urbanas e a paisagem: conflitos, possibilidades e ações desejáveis para a qualificação dos espaços livres.** São Paulo, 2015. Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-29102015-145337/pt-br.php>.
- CARVALHO, A. T. F. **Metodologia para avaliação de sustentabilidade hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (MASRios).** Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2018. 155f.
- CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. Glossário de Defesa Civil, **Estudos de Riscos e Medicina de Desastres.** 5.ed. Brasil: Ministério da Integração, Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2009. Disponível em: <[http://www.mi.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=71458606-5f48-462e-8f03-4f61de3cd55f&groupId=10157](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=71458606-5f48-462e-8f03-4f61de3cd55f&groupId=10157)>. Acesso em: 10 mar. 2022
- CASTRO, J. S.; COSTA, L. S.; BARBOSA, G. R.; ASSEMAN, P. P.; CALIJURI, M. L. Utilização de SIG e análise multicritério para seleção de áreas com potencial para construção de universidades e loteamentos universitários. Boletim de Ciências Geodésicas. Curitiba , v. 21, n. 3, p. 652-657, 2015.

CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). **Conceitos e termos para a gestão de riscos de desastres na educação**, 2017. Disponível em: < <http://educacao.cemaden.gov.br/site/mediaLibrary/MTAwMDAwMDAwMTg=%20>>. Acesso em: abril de 2021.

CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). **Ameaças Naturais**, 2016. Disponível em: < <http://www.cemaden.gov.br/categoria/ameacas-naturais/>>. Acesso em: abril de 2021.

CEPED/UFSC. **Capacitação básica em Defesa Civil** / [Textos: Janaína Furtado; Marcos de Oliveira; Maria Cristina Dantas; Pedro Paulo Souza; Regina Panceri]. - 5. ed. - Florianópolis: CEPED UFSC, 2014.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a system approach**. London: Prentice Hall, 1971.

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

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 1999, 236p.

CPRM, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Serviço Geológico do Brasil, departamento de gestão territorial – deget. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa em Colônia Leopoldina** – alagoas. 2013.

CRUZ, J. C., **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais**. Porto Alegre. 189 p. (Tese. Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

CUTTER, S. **The Changing Nature of Risks and Hazards**. American Hazardscapes. The regionalization of Hazards and Disasters. Washington, D.C. Joseph Henry Press. 2001.

DICTORO, V. P., GALVÃO, D. F., & HANAI, F. Y. (2016). **O estudo das representações sociais e da percepção ambiental como instrumentos de análise das relações humanas com a água**. Ambiente & Educação: Revista De Educação Ambiental, 21(1), 232–251. Recuperado de <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/6078>

FARIAS, A. **Inundações urbanas em Francisco Beltrão/PR: riscos e vulnerabilidades socioambientais**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/66322> Acesso em: 21 set. 2023.

FRAGOSO JÚNIOR, C. R.; PEDROSA, V. A.; SOUZA, V. C. B. **Reflexões Sobre a Cheia de Junho de 2010 nas Bacias do Rio Mundaú e Paraíba**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10, 2010, Fortaleza. Proceedings of X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos do Nordeste, Porto Alegre: ABRH, 2010.

FRAGOSO, M. L., **Desastre, Risco e Vulnerabilidade Socioambiental no Território da Mata Sul de Pernambuco/Brasil**. Dissertação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

FREIRE, N. C. F.; BONFIM, C. V.; NATENZON, C. E., **Vulnerabilidade Socioambiental, Inundações e Repercussões na Saúde em regiões Periféricas: o caso de Alagoas, Brasil**. Ciência & Saúde Coletiva, 2014.

FUNASA- Fundação Nacional de Saúde, Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Universidade Federal de Fluminense, Cadernos Metodológicos, 2016.

GOMES, D. J. C., SILVA, L. P. DA, FERREIRA, N. S., PIRES, E. A., OLIVEIRA, M. R. DA S., LIMA, I. C. P., & DIAS, G. F. DE M. (2022). **Variabilidade hidroclimática e alterações do uso e cobertura da terra, Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco**. Revista Brasileira De Geografia Física, 15(1), 050–067. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p050-067>

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC. Cambridge University Press, 2012, 582 p.

LACEY, Hugh. **Valores e atividade científica**. 1 ed. São Paulo: Editora 34, 2008.

LANNA, A. E. L; CÂNEPA, E. M. **O Gerenciamento de bacias hidrográficas e o desenvolvimento sustentável: uma abordagem integrada**. Ensaios FEE, v. 15, n. 1, p. 269-282, 1994.

KARYMBALIS, E.; NDREOU, M.; BATZAKIS, D.; TSANAKAS, K.; KARALIS, S. integration of gis-based multicriteria decision analysis and analytic hierarchy process for flood-hazard assessment in the megalo rema river catchment (east attica, greece). sustainability, v. 13, n. 18, p. 10232, 2021.

MARGARIDA, C.; FERREIRA, Débora; RUDORFF, F. M.; ALBINO, Lisangela; FREITAS, Mário; PANCERI, R. **Gestão de risco de desastres**. Florianópolis: Secretaria de Estado de Defesa Civil, Santa Catarina, 2013.

MENDONÇA, Francisco. **Resiliência urbana: concepções e desafios em face de mudanças climáticas globais**. In: FURTADO, Fátima; PRIORI JR., Luiz; ALCÂNTARA, Edinéa. (Org.). Mudanças climáticas e resiliência de cidades. Recife: Pickimagem, 2015. p.45-60.

MIGUEZ, M. G.; DI GREGÓRIO, L.T.; VERÓL, A.P. **Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - MIN. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Prevenção e Preparação. **Glossário de proteção e defesa civil**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S.O. **Uma Revisão das chuvas no Nordeste brasileiro**, Revista Brasileira de Meteorologia- SBMET, v.17, nº01, p. 1-10, 2002.

NOAL, D. S.; OLIVEIRA, S. S.; ALPINO, T. M. A.; ROCHA, V. **Gestão Local de Desastres Naturais para a Atenção Básica**. Edição, Distribuição e Informações Universidade Federal de São Paulo - Pró-Reitoria de Extensão. São Paulo, 2016.

OLÍMPIO, J. L. S; ZANELLA, MARIA ELISA. **Riscos Naturais: Conceitos, Componentes e Relações entre Natureza e Sociedade**. Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise, v. 40, p. 94-109, 2017.

PAES, R. P.; BRANDÃO, J. L. B. **Flood Control in the Cuiabá River Basin, Brazil, with Multipurpose Reservoir Operation**. Water Resources Management, 27, p. 3929-3944, 2013.

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.

PINHEIRO, Eduardo Gomes. **Gestão Pública para a redução dos desastres: incorporação da variável risco de desastre à gestão da cidade.** Curitiba: Appris, 2015.

PORTELA, B. M.; ALVES, G. B.; SILVA, S. R.; LAFAYETTE, K. P. V., **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.03 (2023) 1247-1262.

PORTO, MARCELO FIRPO et al. **Ecologização urbana emancipatória no Sul Global: diálogos interdisciplinares e interculturais sobre moradia, alimentação e cuidado no Brasil.** 2021.

RAIMUNDO CONCEIÇÃO; PATRÍCIA SIMÕES. **modelagem de suscetibilidade a inundação utilizando processo analítico hierárquico (ahp) e lógica fuzzy.** in: anais do xix simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 2019, santos. anais eletrônicos... são josé dos campos, inpe, 2019. disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/modelagem-de-suscetibilidade-a-inundacao-utilizando-processo-analitico-hierarqui?lang=pt-br>>. acesso em: 07 nov. 2023.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A., 2017. **Construção de modelo no qgis e utilização do método de processo analítico hierárquico—ahp para mapeamento de riscos à inundação na área urbana de paracatu—mg.** Caminhos de geografia [online] 18. Disponível: <https://doi.org/10.14393/rcg186101>. Acesso: 09 ago. 2023.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica.** Makron books do brasil editora ltda. E editora mcgraw-hill do brasil, Rio de janeiro-rj, 1991. 367p

SAATY, R. W., 1987. **The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. Mathematical modelling** [online] 9. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8). Acesso: 10 setembro. 2023.

SEMARH, Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais, **Estudos de Disponibilidade e Demandas Hídricas na Bacia Hidrográfica do Rio Jacuípe,** Maceió, Julho/2005.

SILVA, F. C.; LIBRANTZ, A. F. H.; SANTOS, M. R.; OLIVEIRA NETO, G. C. **Perspectiva de Aplicação do Método Analytic Hierarchy Process no Cenário Brasileiro de Pesquisa.** Revista Organizações em Contexto, v. 16, n. 32, p. 95-124, 2020.

SILVA, B. F. P. et al. **Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no estado de Alagoas.** Revista Brasileira De Meteorologia, 26(3), 323–338; 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000300001>

SILVA LIRA, K. C.; FRANCISCO, H. R; FEIDEN, A. **Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP.** Revista Sociedade & Natureza. Uberlândia, MG. Versão 34, 2022.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: Suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima – MG. Revista de Geografia (UFPE), v. 31, n. 2, p. 66 87, 2014.

SOUZA, M. M.; COSTA, L.H.; CARVALHO, D.A.S. **Utilização de ferramentas de geoprocessamento para mapear as fragilidades ambientais na área de influência direta da UHE de Belo Monte, no Estado do Pará.** Espaço Plural, Cascavel (PR), v. 12, n. 25, p.73-85, dez. 2011

TOLENTINO, G. M. et al., **Áreas de risco a alagamento e inundação na foz do Rio Cachoeira, em Ilhéus (Bahia –Brasil)** Revista de Geociências do Nordeste, Caicó, v.9, n.2, (Jul-Dez) p.83-95, 2023.

TOLENTINO, F. M.; RAMOS, R.R.S; SILVA, C. R. **Análise da Cobertura Vegetal na Bacia do Rio Jordão - MG**. In: Encontro Internacional de Vulnerabilidades e Riscos Socioambientais, 2014, Rio Claro - SP. Anais[...] 2014. Disponível em: Acesso em: 12 maio 2022.

TOMINAGA, K.L.; Desastres Naturais: Por que ocorrem? In: **Desastres naturais: conhecer para prevenir** / Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro, Rosangela do Amaral (orgs.) – São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TORGENSEN, G.; BJERKHOLT, J. T.; KVAAL, K.; LINDHOLM, O. G. **Correlation between extreme rainfall and insurance claims due to urban flooding – case study Fredrikstad, Norway**. Journal of Urban and Environmental Engineering, v. 9, n. 2, p. 127-138, 2015.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas da América do Sul**. Porto Alegre: Editora da Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas: Desenvolvimento urbano**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. MMA. 2006.

UNDRR/CRED/EM-DAT. **The human cost of disasters: an overview of the last 20 years 2000-2019**, 2020.

UNISDR – The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Geneva, 2009. Disponível em: <http://www.unisdr.org>. Acesso em janeiro 2022.

UNISDR - The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Como construir cidades mais resilientes: um guia para gestores públicos locais**. Genebra: Nações Unidas/Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres, 2012.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**, Versão Digital 2, Recife – PE, março de 2006.

VENTURA, A; ANDRADE, J.C. **Gestão de Riscos Imprevistos e Catástrofes**. Universidade Federal da Bahia, Escola de Administração, Gestão do Desenvolvimento Territorial, Salvador, 2020.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**, Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 460 p., 2012.

VIANA, V. J. **Gestão de risco de desastres no Brasil: leitura das estratégias locais de redução de riscos de inundação em Nova Friburgo, RJ**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente - PPGMA. Universidade do Estado do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2016.

**APÊNDICE – REGISTROS FOTOGRÁFICOS DO TRABALHO DE CAMPO (2023)**

Foto 01: Acesso ao Rio Jacuípe na rua principal, Jacuípe - AL



Foto 02: Marcas de elevação do nível do rio, Jacuípe - AL



Foto 03: Parte alta da cidade, Escola Municipal Mário Acioly Wanderley, Jacuípe - AL



Foto 04: Parte alta da cidade, Escola Municipal Dr. Edson Gama Peixoto, Jacuípe - AL



Foto 05: Ponte travessia Jacuípe – AL para Água Preta - PE



Foto 06: Pista de acesso ao Município de Jacuípe - AL



Foto 07: Moradia em local de alto risco ambiental, Jacuípe - AL



Foto 08: Foz do rio afluente na cidade de Jacuípe, AL.



Foto 09: Área sujeito a erosão superficial, Jacuípe - AL



Foto 10: Área sujeito a movimentos de massa, Jacuípe - AL



Foto 09: Rua Principal do Município de Jacuípe - AL



Foto 10: Moradias em locais de alto risco ambiental, Colônia Leopoldina - AL