



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**AMAURY GOUVEIA PESSOA NETO**

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES E  
ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE JABOATÃO DOS  
GUARARAPES - PE**

Recife, PE  
2022



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**AMAURY GOUVEIA PESSOA NETO**

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES E  
ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE JABOATÃO DOS  
GUARARAPES - PE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Simone Rosa da Silva  
Coorientadora: Profa. Dra. Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa

Recife, PE  
2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Universidade de Pernambuco

P475m Pessoa Neto, Amaury Gouveia  
Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes-PE. / Amaury Gouveia Pessoa Neto. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2022.

134 f. il.

Orientadora: Profª. Dra. Simone Rosa da Silva  
Coorientadora: Profª. Dra. Ioná Ma. B. Rameh Barbosa

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022.

1. Desastres Hidrológicos. 2. Método de Análise Hierárquica (AHP). 3. SIG de Inundações. 4. Modelo HAND. I. Construção Civil – Dissertação. II. Silva, Simone Rosa da (orient.). III. Barbosa, Ioná Maria Beltrão Rameh (coorient.). IV. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.

CDD: 690.028

**AMAURY GOUVEIA PESSOA NETO**

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÕES E  
ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE JABOATÃO DOS  
GUARARAPES - PE**

**BANCA EXAMINADORA:**

**Orientadora**



---

Profa. Dra. Simone Rosa da Silva  
Universidade de Pernambuco

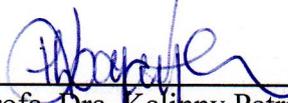
**Coorientador**



---

Profa. Dra. Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa  
Instituto Federal de Pernambuco

**Examinadores**



---

Profa. Dra. Kalinny Patricia Vaz Lafayette  
Universidade de Pernambuco



---

Prof. Dr. José Almir Cirilo  
Universidade Federal de Pernambuco

Recife-PE  
2022

## DEDICATÓRIA

Aos meus avós, Amaury Pessoa (*In Memoriam*) e Miriam Pessoa (*In Memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre ao meu lado, me capacitando e me concedendo perseverança, sobretudo nos momentos mais difíceis. Sem Ele, não conseguiria alcançar a conquista da conclusão deste estudo.

Aos meus pais, Suely Pessoa e Esdras Pessoa, pela confiança que depositaram em mim e por constituírem uma base de amor, cuidado e incentivo que vem envolvendo em todas as etapas da minha vida.

À minha amada, Marthinha Nascimento, pelo companheirismo, cumplicidade, incentivo e compreensão com os momentos de minha ausência.

À minha professora orientadora, Dra Simone Rosa da Silva, por sua presteza e disponibilidade em todos os momentos deste estudo e pela grande confiança que depositou em mim. Seus ensinamentos, paciência, apoio, gentileza e competência fazem-na uma docente ímpar, digna de admiração.

À minha professora coorientadora, Dra Ioná Rameh Barbosa, por seus ensinamentos, incentivo, persistência, mansidão e parceria, os quais me acompanham desde a graduação.

À banca examinadora, representada pelos professores Dra Kalinny Lafayette e Dr José Almir Cirilo, por seus apoio, disponibilidade e contribuições que foram extremamente relevantes para esta pesquisa.

Às amigas que fui construindo ao longo deste mestrado, com as quais tive a oportunidade de compartilhar alegrias, dúvidas e aflições. Especialmente, Amanda Prado, Luciana Cássia, Maria Carolina, Marcos Barbosa, Anna Elis e Thamiris Lessa.

À minha chefe imediata, Michelle Campos, Gerente de Cadastro Multifinalitário da Prefeitura de Jaboaão dos Guararapes, pelo incentivo, cumplicidade, compreensão, gentileza e disponibilização de dados para este estudo. Seu intermédio foi essencial para o engrandecimento deste trabalho.

Aos meus amigos do meu local do trabalho, a Prefeitura Municipal de Jaboaão dos Guararapes, pelo apoio, cumplicidade, compreensão e contribuições com a pesquisa. Sobretudo, Adaias Alves, Adauto Costa, Anathyr Rodrigues, Bruno Alexandre, Catarina Ribeiro, Gustavo Cruz, Kiana Gomes, Ragner Sydney, Rodolfo Rodrigo, Rodrigo Bento e Seu Chicão.

À Prefeitura Municipal de Jaboaão dos Guararapes, sobretudo à Superintendência de Defesa Civil, no sentido da disponibilização de dados imprescindíveis, os quais aperfeiçoaram este estudo.

## RESUMO

O crescimento desordenado e acelerado das cidades vem ocasionando modificações significativas nas condições de uso do solo, impermeabilizando áreas vegetadas. Esse tipo de intervenção no ambiente natural resulta em consideráveis alterações no ciclo hidrológico, uma vez que a ampliação das áreas impermeabilizadas potencializa o escoamento superficial e a vazão dos cursos d'água e reduz a capacidade de infiltração da água precipitada e a evapotranspiração. O reflexo dessa antropização se tornou um dos principais problemas enfrentados pela população das cidades, que é o aumento da ocorrência de desastres hidrológicos, como inundações e alagamentos, gerando riscos e vulnerabilizando grupos sociais específicos. Desta forma, torna-se fundamental desenvolver estratégias que auxiliem na identificação e gestão de áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações. Um destes instrumentos é o mapeamento dessas áreas, que pode ser considerada uma importante ferramenta de comunicação com a população. Assim, o presente estudo buscou mapear, utilizando o Método de Análise Hierárquica (AHP) aliado ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), as áreas suscetíveis à inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco. Para isso, a partir de uma revisão da literatura realizada através de 30 estudos semelhantes nacionais e internacionais, foram elencados sete fatores que influenciam no processo de desastres hidrológicos e determinados seus pesos de importância, sendo eles: declividade, hipsometria, uso e ocupação do solo, pedologia, distância entre corpos hídricos, variabilidade de precipitação e densidade urbana. As representações espaciais desses fatores para a região do estudo foram manipulados na forma matricial por meio do *software* livre QGIS (versão 3.10.9), em que foram submetidas às técnicas de reclassificação e álgebra de mapas. A partir desse procedimento, foi possível obter o mapa das áreas de suscetibilidade a inundações e alagamentos para o município de Jaboatão dos Guararapes, em que foi observado que as áreas mais propensas a esses desastres hidrológicos são as que estão mais próximas a corpos hídricos, possuem baixas declividades e cotas altimétricas, solos com pouca capacidade de infiltração de água e expressiva intervenção antrópica. A fim de comprovar a eficácia da metodologia aplicada para o referido mapeamento, foram realizadas validações perante os registros de ocorrências de inundações e alagamentos comunicados à Superintendência de Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes, um mapeamento de suscetibilidade à inundações elaborado a partir do *Height Above Nearest Drainage model* (modelo HAND) e registros fotográficos de desastres hidrológicos ocorridos no território municipal. A partir da identificação das áreas de alta e muito alta suscetibilidade a inundações e alagamentos, foi possível estabelecer uma microbacia para implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana. Assim, foi definida para este estudo a implantação do sistema de reservatório de detenção em lotes, a fim de reduzir o pico de vazão e o volume total de escoamento, atenuando os impactos gerados por desastres hidrológicos. De modo geral, a utilização do AHP quanto ao mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes se demonstrou uma alternativa vantajosa quanto à aplicabilidade e viabilidade, permitindo tomadas de decisões por gestores e/ou profissionais da área. Por fim, destaca-se a importância da elaboração desse tipo de estudo para o planejamento ambiental e urbano de uma determinada região, visando o uso ordenado da terra de forma a mitigar a ocorrência de desastres de natureza hidrológica.

**Palavras-chave:** Desastres Hidrológicos. Método de Análise Hierárquica (AHP). SIG de Inundações. Modelo HAND.

## ABSTRACT

The disorderly and accelerated growth of cities has caused significant changes in the conditions of land use, waterproofing vegetated areas. This type of intervention in the natural environment results in considerable changes in the hydrological cycle, since the expansion of waterproofed areas enhances surface runoff and the flow of water courses and reduces the infiltration capacity of precipitated water and evapotranspiration. The reflection of this anthropization has become one of the main problems faced by the population of cities, which is the increase in the occurrence of hydrological disasters, such as floods and inundations, generating risks and making specific social groups vulnerable. In this way, it is essential to develop strategies that help in the identification and management of areas susceptible to the occurrence of floods and inundations. One of these instruments is the mapping of these areas, which can be considered an important communication tool with the population. Thus, the present study sought to map, using the Hierarchical Analysis Method (AHP) combined with the Geographic Information System (GIS), areas susceptible to flooding in the municipality of Jaboatão dos Guararapes, in Pernambuco. For this, from a literature review carried out through 30 similar national and international studies, seven factors that influence the process of hydrological disasters were listed and their importance weights were determined, namely: slope, hypsometry, land use and occupation, pedology, distance between water bodies, rainfall variability and urban density. The spatial representations of these factors for the study region were manipulated in matrix form using the free software QGIS (version 3.10.9), in which they were subjected to reclassification and map algebra techniques. From this procedure, it was possible to obtain the map of the areas of susceptibility to flooding and flooding for the municipality of Jaboatão dos Guararapes, in which it was observed that the areas most prone to these hydrological disasters are those that are closer to water bodies, have low slopes and altimetric heights, soils with little water infiltration capacity and expressive human intervention. In order to prove the effectiveness of the methodology applied for the aforementioned mapping, validations were carried out against the records of floods and floods reported to the Civil Defense Superintendence of Jaboatão dos Guararapes, a mapping of susceptibility to floods prepared from the Height Above Nearest Drainage model (HAND model) and photographic records of hydrological disasters that occurred in the municipal territory. From the identification of areas of high and very high susceptibility to flooding and flooding, it was possible to establish a watershed for the implementation of compensatory techniques for urban drainage. Thus, the implementation of the detention reservoir system in lots was defined for this study, in order to reduce the peak flow and the total volume of flow, mitigating the impacts generated by hydrological disasters. The use of AHP for mapping areas vulnerable to flooding in the municipality of Jaboatão dos Guararapes showed an beneficial alternative in terms of applicability and feasibility, allowing decision-making by managers and/or professionals. Finally, the importance of preparing this type of study is highlighted to the environmental and urban planning of a given region, aiming at the orderly use of the land in order to mitigate the occurrence of hydrological disasters.

**Keywords:** Hydrological Disasters. Hierarchical Analysis Method (AHP). Geographic Information Systems (GIS). HAND Model.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil esquemático dos processos de inundação, enchente e alagamento.....	22
Figura 2 – Alteração do ciclo hidrológico natural devido ao processo de urbanização e suas consequências.....	24
Figura 3 – Episódios de desastres hidrológicos, e suas consequências adversas, evidenciados pela mídia.....	24
Figura 4 – Estrutura básica do geoprocessamento.....	31
Figura 5 – Componentes básicos da etapa de aquisição de informações por SR.....	32
Figura 6 – Diferença entre Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital do Terreno.....	38
Figura 7 – Captura de informação altimétrica por sensor LiDAR.....	39
Figura 8 – Estrutura hierárquica básica do AHP.....	44
Figura 9 – Resumo da metodologia aplicada no desenvolvimento da pesquisa.....	50
Figura 10 – Localização do município de Jaboatão dos Guararapes.....	68
Figura 11 – Localização dos bairros do município de Jaboatão dos Guararapes.....	69
Figura 12 – Zoneamento do município de Jaboatão dos Guararapes .....	71
Figura 13 – Representação gráfica da evolução da quantidade de habitantes do município de Jaboatão dos Guararapes no período compreendido entre 1970 e 2021 .....	72
Figura 14 – Evolução espaço-temporal do bairro Barra de Jangada para os períodos de 1974, 1997 e 2016.....	75
Figura 15 – Evolução espaço-temporal do bairro Zumbi do Pacheco para os períodos de 1974 e 2016.....	76
Figura 16 – Disposição de resíduos sólidos e ocupação de moradias em áreas inapropriadas..	77
Figura 17 – Índices pluviométricos médios mensais do município de Jaboatão dos Guararapes compreendidos entre o período de 2004 e 2021.....	78
Figura 18 – Índices pluviométricos médios anuais do município de Jaboatão dos Guararapes compreendidos entre o período de 2004 e 2021.....	79
Figura 19 – Amostras de colinas localizadas no município de Jaboatão dos Guararapes e terraço marinho (ao fundo da imagem).....	80
Figura 20 – Hidrografia do município de Jaboatão dos Guararapes.....	81
Figura 21 – Representação dos fatores que influenciam na suscetibilidade a inundações e alagamentos elencados para este estudo.....	82

Figura 22 – Declividade do município de Jaboatão dos Guararapes.....	83
Figura 23 – Hipsometria do município de Jaboatão dos Guararapes.....	84
Figura 24 – Uso e ocupação do solo do município de Jaboatão dos Guararapes.....	85
Figura 25 – Pedologia do município de Jaboatão dos Guararapes.....	86
Figura 26 – Distância entre os corpos hídricos do município de Jaboatão dos Guararapes....	87
Figura 27 – Variabilidade espacial da precipitação do município de Jaboatão dos Guararapes.....	88
Figura 28 – Densidade Urbana do município de Jaboatão dos Guararapes.....	89
Figura 29 – Mapa de suscetibilidade à inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes.....	91
Figura 30 – Ocorrências de inundações e alagamentos registradas à Superintendência de Defesa Civil do município de Jaboatão dos Guararapes durante os meses de maio e junho de 2022.....	93
Figura 31 – Sobreposição das manchas de inundação geradas pelo modelo HAND nas áreas de suscetibilidade à inundações e alagamentos classificadas como alta a muito alta pelo AHP.....	94
Figura 32 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 01 do município de Jaboatão dos Guararapes.....	97
Figura 33 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 02 do município de Jaboatão dos Guararapes.....	98
Figura 34 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 03 do município de Jaboatão dos Guararapes.....	99
Figura 35 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 04 do município de Jaboatão dos Guararapes.....	100
Figura 36 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 05 do município de Jaboatão dos Guararapes.....	101
Figura 37 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 06 do município de Jaboatão dos Guararapes.....	102
Figura 38 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 07 do município de Jaboatão dos Guararapes.....	103
Figura 39 – Percentuais de área por grau de suscetibilidade nas Regionais do município de Jaboatão dos Guararapes.....	104
Figura 40 – Registros fotográficos de inundações e alagamentos ocorridos no bairro Barra de Jangada.....	105

Figura 41 – Localização da microbacia escolhida para implantação do sistema de reservatório de detenção no interior do lote.....	106
Figura 42 – Identificação das áreas, quanto à permeabilidade, nos lotes considerados para implantação do sistema de reservatório de detenção.....	107
Figura 43 – Modelo de reservatório de detenção no lote considerado para implantação do sistema.....	111

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tecnologias de drenagem urbana relacionadas às medidas estruturais.....	26
Quadro 2 – Tecnologias de drenagem urbana relacionadas às medidas não estruturais.....	29
Quadro 3 – Escala de julgamento de importância do método AHP.....	44
Quadro 4 – Estudos que aplicaram o AHP aliado ao SIG no mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações.....	46
Quadro 5 – Fatores utilizados em estudos semelhantes sobre mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações.....	51
Quadro 6 – Classes temáticas de declividade propostas pela EMBRAPA.....	54
Quadro 7 – Informações sobre as estações pluviométricas utilizadas neste trabalho.....	56
Quadro 8 – Reclassificação dos critérios dos fatores, conforme a suscetibilidade a inundações e alagamentos.....	57
Quadro 9 – Matriz de Comparação Pareada.....	58
Quadro 10 – Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada.....	58
Quadro 11 – Regiões político-administrativas do município de Jaboatão dos Guararapes e seus respectivos bairros.....	69
Quadro 12 – Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada dos parâmetros que influenciam na suscetibilidade a inundações e alagamentos elencados para este estudo.....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices Randômicos (IR).....	59
Tabela 2 – Evolução da quantidade de habitantes do município de Jaboatão dos Guararapes no período compreendido entre 1970 e 2010.....	72
Tabela 3 – Representação das classes do fator declividade para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	83
Tabela 4 – Representação das classes do fator hipsometria para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	84
Tabela 5 – Representação das classes do fator uso e ocupação do solo para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	86
Tabela 6 – Representação das classes do fator pedologia para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	87
Tabela 7 – Representação das classes do fator distância entre os corpos hídricos para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	88
Tabela 8 – Representação das classes do fator índices pluviométricos para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	89
Tabela 9 – Representação das classes do fator densidade urbana para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	90
Tabela 10 – Proporção das áreas suscetíveis à inundações e alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes.....	91
Tabela 11 – Nível de exatidão do mapeamento das áreas suscetíveis à inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, conforme as ocorrências registradas à Superintendência de Defesa Civil durante os meses de maio e junho de 2022.....	93
Tabela 12 – Parâmetros de comparação entre os mapeamentos de alta a muito alta suscetibilidade à inundações e alagamentos, gerado pelo AHP, e de alta suscetibilidade à inundações, gerado pelo modelo HAND.....	95
Tabela 13 – Quantificação das áreas, quanto à permeabilidade, nos lotes considerados para implantação do sistema de reservatório de detenção.....	108
Tabela 14 – Dimensionamento dos volumes dos reservatórios de detenção no lote considerados para a região do estudo.....	110
Tabela 15 – Parâmetros considerados para o cálculo do volume escoado.....	111

Tabela 16 – Planilha orçamentária considerando a implantação dos reservatórios de detenção nos lotes da região do estudo.....	112
---	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima

APP – Área de Preservação Permanente

C – Vetor Coerência

Cemaden – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CGT – *Cooperative Games Theory*

Cobrade – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

COHAB-PE – Companhia de Habitação Popular do Estado de Pernambuco

CN – *Curve Number*

CP – *Compromisse Programming*

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

ELECTRE – *Elimination Et Choix Traduisant la REalité*

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GIS – *Geographic Information System*

GPS – Sistema de Posicionamento Global

HAND – *Height Above Nearest Drainage*

HEC-HMS – *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Índice de Consistência

IR – Índices Randômicos

LiDAR – *Ligth Detection And Ranging*

LUOS – Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo

MACBETH – *Measuring Attractiviness by a Categorical Evaluation Technique*

MAUT – *Multiattribute Utility Theory*

MapBiomias – Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil

MCDM – Métodos de Auxílio à Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital do Terreno

MNT – Modelo Numérico do Terreno

MOLP – *Multiobjective Linear Programming*

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*  
NRCS – *Natural Resource Conservation Services*  
PE3D – Pernambuco Tridimensional  
PMJG – Prefeitura Municipal do Jaboatão dos Guararapes  
PROMETHEE – *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*  
RC – Razão de Consistência  
RADAR – *Radio Detecting And Ranging*  
RMR – Região Metropolitana do Recife  
RPA – Aeronaves Remotamente Pilotadas  
SCS – *Soil Conservation Service*  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil  
SR – Sensoriamento Remoto  
SRHE – Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do Estado de Pernambuco  
SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*  
SWMM – *Storm Water Management Model*  
ZAA – Zona de Adensamento Construtivo Alto  
ZAB – Zona de Adensamento Construtivo Baixo  
ZAM – Zona de Adensamento Construtivo Médio  
ZAR – Zona de Adensamento Restrito  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical  
ZEU – Zona de Expansão Urbana  
ZIP – Zona de Interesse Produtivo  
ZPE – Zona de Processamento de Exportação

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1	Objetivos .....	20
1.1.1	<i>Objetivo geral</i> .....	20
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>21</b>
2.1	Desastres hidrológicos .....	21
2.1.1	<i>Conceitos e problemáticas</i> .....	21
2.1.2	<i>Medidas de controle de inundações urbanas</i> .....	25
2.2	Geoprocessamento .....	30
2.2.1	<i>Geoprocessamento aplicado ao mapeamento e análise das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos</i> .....	32
2.2.2	<i>Modelo Numérico do Terreno (MNT)</i> .....	36
2.3	Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDM - <i>Multiple Criteria Decision Making</i> ).....	41
2.3.1	<i>Conceitos e métodos</i> .....	41
2.3.2	<i>O Processo Analítico Hierárquico (AHP - Analytic Hierarch Process)</i> .....	42
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>50</b>
3.1	Elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações e alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes .....	50
3.1.1	<i>Seleção dos fatores condicionantes a suscetibilidade de inundações e alagamentos</i> ..	50
3.1.2	<i>Coleta e tratamento dos dados espaciais</i> .....	54
3.1.3	<i>Reclassificação dos fatores quanto à suscetibilidade a inundações e alagamentos</i> ....	56
3.1.4	<i>Aplicação do AHP</i> .....	58
3.1.5	<i>Utilização da álgebra de mapas</i> .....	60
3.1.6	<i>Validação do mapeamento de suscetibilidade a inundações e alagamentos</i> .....	60

3.2	Proposição de implantação de técnica compensatória para mitigação de episódios de alagamentos .....	63
3.2.1	<i>Definição de microbacia urbana</i> .....	64
3.2.2	<i>Dimensionamento dos reservatórios de retenção no interior do lote</i> .....	65
3.2.3	<i>Eficiência do sistema quanto à mitigação a impactos ao sistema de drenagem</i> .....	66
3.2.4	<i>Levantamento de custos da implantação do sistema</i> .....	67
4	<b>CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO</b> .....	68
4.1	<b>Localização do município de Jaboatão dos Guararapes</b> .....	68
4.2	<b>O processo de urbanização do município de Jaboatão dos Guararapes</b> .....	70
4.3	<b>Características físico-naturais do município de Jaboatão dos Guararapes</b> .....	78
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	82
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	114
7	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	116
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	117

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização ocorreu no Brasil com maior intensidade a partir da segunda metade do século XX, quando houve um movimento significativo de pessoas do campo em direção à cidade, denominado êxodo rural, impulsionado pelas alternativas geradas pela industrialização (ALVES et al., 2018; LIMA et al., 2021). Entretanto, esse fenômeno, responsável por modificar a sociedade e o território brasileiro, foi evoluindo de maneira intensa, acelerada e não planejada, acarretando problemas de diversas ordens, tais como social, econômica, cultural e ambiental, interferindo diretamente no cotidiano da população (SANTOS et al., 2017; SILVA JÚNIOR et al., 2020; TEIXEIRA e RIBEIRO, 2016).

O desenvolvimento urbano desordenado altera significativamente as condições de uso do solo, transformando áreas vegetadas em áreas impermeabilizadas (CAPRARIO, 2017; RODRIGUES, 2021). Esse tipo de modificação no ambiente natural resulta em mudanças significativas no ciclo hidrológico, uma vez que intervenções antrópicas como o desmatamento, a alteração da topografia natural do terreno e a ampliação das áreas impermeabilizadas potencializam o escoamento superficial e a vazão dos cursos d'água e reduzem a infiltração da água precipitada e a evapotranspiração (BEGA et al., 2019; FONSECA NETO et al., 2020; FRUTOSO et al., 2020; HOLANDA et al., 2020).

Conforme Caprario (2017), associados ao processo de urbanização desordenado, outros fatores consideráveis, como obras obsoletas e projetos inadequados de drenagem urbana e a disposição de resíduos sólidos em locais indevidos dificultam o funcionamento adequado do sistema de drenagem, favorecendo a ocorrência de alagamentos e inundações. Para o Ministério da Saúde do Brasil, esse tipo de desastre provoca danos humanos, patrimoniais e ambientais, fazendo com que, todos os anos, milhares de famílias saiam de suas casas (temporária ou definitivamente) e tenham sua saúde física e mental exposta a diversos tipos de agravos e doenças (BRASIL, 2017).

Com a evolução constante dos recursos tecnológicos é possível realizar o desenvolvimento de sistemas que auxiliam na identificação de áreas de risco, sobretudo de eventos extremos hidrológicos, e seu mapeamento, sendo este progresso alinhado com o avanço e a facilidade de acesso ao conjunto das geotecnologias (MANTIS e VAZ, 2019). Além da identificação e mapeamento das áreas de risco, o Sistema de Informações Geográficas (SIG), aliado a outras

técnicas de geoprocessamento, ainda possibilita a elaboração do planejamento dos procedimentos de evacuação, o monitoramento de desastres, a implementação de sistemas de alerta e a avaliação de danos dos eventos extremos (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019).

A partir da identificação das áreas suscetíveis a eventos hidrológicos extremos, é importante que se criem estratégias para controle e prevenção desse tipo de acidente. As técnicas compensatórias são consideradas soluções urbanísticas ambientalmente mais adequadas para o manejo das águas pluviais em áreas urbanizadas, tendo o objetivo de controlar a quantidade de água escoada superficialmente para as galerias e rios, seja pela infiltração ou retenção, seja pela diminuição da velocidade de escoamento e do aumento da taxa de evapotranspiração, possibilitando a proteção da qualidade da água e a implantação de paisagens ambientalmente agradáveis (GONÇALVES et al., 2016; VASCONCELOS et al., 2016).

Pavimentos permeáveis, telhados verdes, microrreservatórios individuais, poços de infiltração, bacias de retenção, trincheiras de infiltração, valas vegetadas e jardins de chuvas são alguns exemplos das técnicas compensatórias mais conhecidas, sendo algumas já previstas em legislações específicas (REIS e ILHA, 2019; RODRIGUES e SANTINI JÚNIOR, 2021; RODRIGUEZ e TEIXEIRA, 2021). Dentre as diversas técnicas compensatórias, sistemas como reservatórios de retenção para retardo das águas pluviais são utilizados para minimizar os picos de vazão, servindo como uma medida mitigadora de eventos hidrológicos extremos.

Conforme Souza (2013), reservatórios para retardo das águas pluviais contribuem significativamente para a redução do risco de alagamento e inundações, uma vez que a vazão proveniente da captação de águas pluviais que incidem sobre as áreas impermeabilizadas das edificações não é direcionada para as galerias pluviais. Além dessa função, quando remanejada para outro reservatório, a água armazenada pode ser empregada em uso não nobres, ou seja, em atividades que não requerem muita exigência nos padrões de qualidade, como: lavagem de pisos e veículos, rega de plantas, descargas sanitárias, entre outras.

Diante das características físico-naturais e do considerável índice de urbanização apresentados no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, o presente estudo buscou mapear as áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações do referido município, bem como sugerir a implantação de uma técnica compensatória para o manejo sustentável das águas pluviais urbanas em uma região de elevada suscetibilidade a alagamento definida no

mapeamento, buscando atenuar os efeitos adversos causados por esse tipo de evento hidrológico extremo no local.

O mapeamento das áreas suscetíveis à ocorrência de alagamentos e inundações do município de Jaboatão dos Guararapes foi realizado utilizando SIG aliado a um dos métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios (MCDM), o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), o qual foi proposto por Saaty (1977) e gera uma escala de importância por meio de pesos entre os fatores condicionantes ao risco de ocorrência de eventos hidrológicos extremos que são avaliados.

## **1.1 Objetivos**

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

### ***1.1.1 Objetivo geral***

Realizar o mapeamento das áreas de suscetibilidade a inundações e alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes/PE, utilizando o AHP aliado às técnicas de geoprocessamento, a fim de contribuir como subsídio na elaboração de políticas públicas mitigadoras desses tipos de desastres.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- Identificar e caracterizar os fatores associados aos processos de inundação e alagamento presentes no município de Jaboatão dos Guararapes/PE;
- Elaborar o mapeamento das áreas suscetíveis a inundação e alagamento, por meio do AHP, avaliando a aplicabilidade e eficiência do referido método em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG);
- Propor a implantação de reservatórios de retenção em lote, a fim de reduzir os impactos ocasionados por inundações e alagamentos.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Desastres hidrológicos**

#### ***2.1.1 Conceitos e problemáticas***

Os desastres, que podem ocorrer pelos variados fenômenos naturais ou antrópicos, são entendidos como as consequências sobre um ambiente vulnerável, que excede a capacidade de resposta do sistema social atingido (MIGUEZ et al., 2018). Segundo Ribeiro et al. (2017), essas consequências estão sempre associadas a danos, que ultrapassam a esfera econômica e interrompem a continuidade do funcionamento normal da sociedade, atingindo diretamente a qualidade de vida da população, especialmente nas cidades. Assim, o desastre não é o evento adverso em si (inundação, furacão, terremoto, tsunamis e entre outros), mas os efeitos nocivos provocados por esses eventos no sistema atingido (MIGUEZ et al., 2018; RIBEIRO et al., 2017).

De acordo com Tominaga (2015), a variabilidade climática atual, com tendência para o aquecimento global, está associada diretamente à elevação de eventos extremos climáticos, fazendo com que chuvas intensas, tornados, estiagens severas, entre outros, tornem-se mais frequentes, ampliando a possibilidade de incidência de desastres naturais. Além dessas consequências, a referida autora ainda afirma que o acelerado processo de urbanização verificado nas últimas décadas em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, levou ao crescimento das cidades, muitas vezes em áreas impróprias à ocupação, aumentando as situações de perigo e de risco aos desastres.

Os desastres hidrológicos, conforme Miguez et al. (2018), possuem entre suas causas a ação de processos naturais que implicam excesso de água no sistema afetado, normalmente associados a extremos de cheias e/ou problemas de drenagem urbana. Esse tipo de desastre está sempre associado ao período de elevados índices de precipitação, quando os corpos hídricos drenam uma grande quantidade de água, possui baixa frequência de ocorrência e alta magnitude, geralmente ocorre com alto poder destrutivo e acarreta graves danos à sociedade (OLIVEIRA, 2010). A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade) posiciona os desastres hidrológicos como um grupo dentro da categoria de desastres naturais, composto dos seguintes subgrupos: inundações, enxurradas e alagamentos (BRASIL, 2014).

O termo “enchentes” também é muito empregado no que se refere a eventos extremos hidrológicos. De modo geral, Amaral e Ribeiro (2015) denominam: inundação como o transbordamento das águas de um curso d’água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea; enchentes ou cheias como a elevação do nível d’água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar; alagamento como o acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem; enxurrada como o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. A Figura 1 apresenta um perfil esquemático dos processos de inundação, enchente e alagamento.

Figura 1 – Perfil esquemático dos processos de inundação, enchente e alagamento.



Fonte: Bezerra (2020).

Enchentes e inundações são eventos que ocorrem em ambientes fluviais de maneira natural e são muito importantes no que tange à manutenção da dinâmica hidrológica e dos processos geomorfológicos (OLIVEIRA, 2010). Entretanto, mesmo que sejam provenientes de processos naturais, enchentes e inundações podem ser intensificadas por intervenções antrópicas. Etapas do processo de urbanização, como a compactação do solo, asfaltamento, retirada de cobertura vegetal, são fatores que potencializam as inundações, principalmente quando as intervenções são realizadas em áreas próximas a cursos d’água (MARTINS e RIBAS, 2021).

De acordo com Luz e Rodrigues (2020), as planícies de inundações e canais fluviais passaram a ser ocupados progressivamente a partir do fim do século XIX, quando houve uma crescente demanda por terras nas cidades, resultado do desenvolvimento urbano. Além disso, Borges e Ferreira (2019) afirmam que a ocupação das planícies de inundação torna-se atraente por se

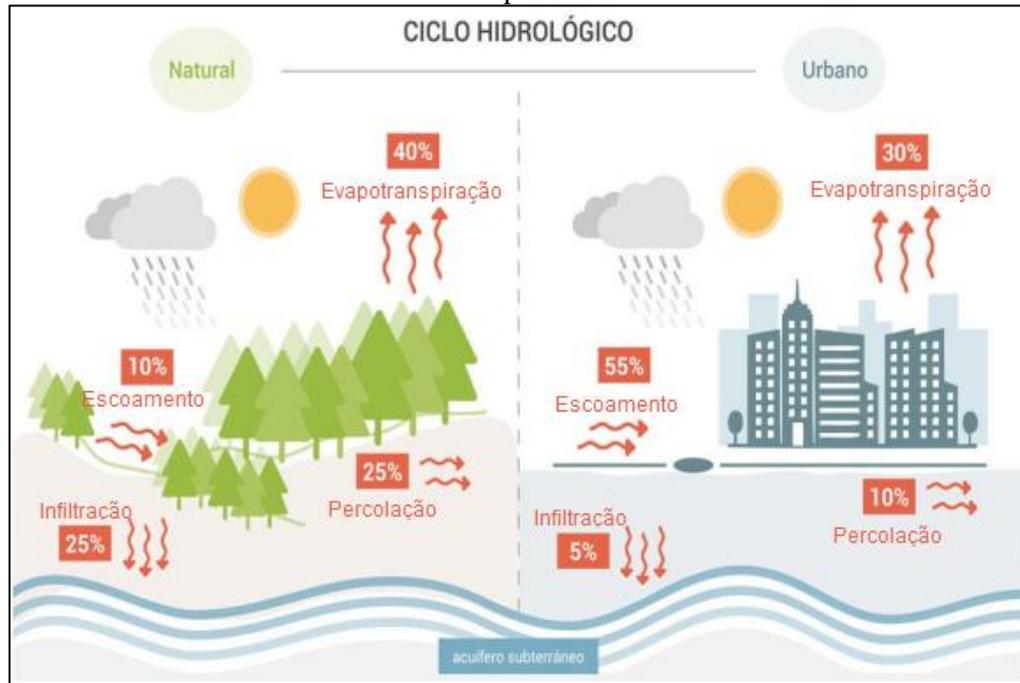
constituírem de áreas planas, com declividades brandas e próximas aos cursos d'água. No Brasil, grande parte dessas regiões são ocupadas pelas populações socialmente vulneráveis, tornando os desastres naturais hidrológicos mais devastadores e graves (FREITAS e FARIAS, 2019).

Além das inundações, outro tipo de desastre hidrológico elencado pela Cobrade é o alagamento, que, conforme Nylander et al. (2021), é entendido como um problema diretamente relacionado à rede de drenagem, não sofrendo influência da variação dos níveis de água do canal. Ou seja, alagamentos ocorrem também em áreas distantes dos canais fluviais e de maré, sendo verificados principalmente em áreas urbanizadas com baixa declividade do terreno (CAPRARIO, 2017).

Nylander et al. (2021) afirmam que os alagamentos normalmente ocorrem quando há obstrução dos condutos, subdimensionamento ou falta de manutenção dos dispositivos hidráulicos, impedindo que haja escoamento das águas pluviais, consequentemente, gerando pontos de acúmulo no meio urbano. Para Caprario (2017), a ocorrência de alagamentos está intrinsecamente associada à modificação dos elementos do ciclo hidrológico natural, a qual é devida ao processo de urbanização desordenado, resultando na redução da infiltração natural no solo e aumento do escoamento superficial. A Figura 2 apresenta a evolução e um ambiente natural para urbano e as consequências desse processo no ciclo hidrológico.

O cenário imposto na maior parte dos episódios de desastres hidrológicos são as perdas em infraestrutura urbana, eliminação de lavouras, a destruição do patrimônio dos atingidos, a propagação de doenças e, em alguns casos, a perda da própria vida, acarretando disrupção da vida cotidiana da população atingida, prejuízos econômicos e impactos ambientais (ABREU et al., 2017; MARTINS e RIBAS, 2019). Acerca dessas implicações adversas ocasionadas por desastres hidrológicos, a Figura 3 mostra alguns episódios destacados pela mídia, evidenciando o quão graves podem ser considerados esses tipos de desastre.

Figura 2 – Alteração do ciclo hidrológico natural devido ao processo de urbanização e suas consequências.



Fonte: Adaptado de Gleason (2017).

Figura 3 – Episódios de desastres hidrológicos, e suas consequências adversas, evidenciados pela mídia. (A) Alagamentos e transtornos registrados em diversos bairros da cidade do Recife/PE no dia 1º de março de 2021; (B) Inundação do rio Siriji provoca remoção de 20 famílias de suas residências, em comunidades ribeirinhas, no município de Vitória/PE no dia 26 de julho de 2019; (C) Desastres provocados por elevados índices pluviométricos no sul da Bahia em 13 de dezembro de 2021; (D) Desastres hidrológicos ampliam o risco de contrair doenças como a leptospirose, que é transmitida pela urina do rato.



Fonte: Extraído de (A) G1 PE (2021); (B) G1 PE e TV Globo (2019); (C) Teixeira (2021); (D) TV Globo (2019).

Miguez et al. (2018) salientam que, no Brasil, as perdas resultantes de desastres hidrológicos se atenuaram no período após a Segunda Guerra Mundial, que coincide com o avanço da urbanização e industrialização no país. Um levantamento realizado pelos referidos autores mostrou que no período compreendido entre 1955 e 2015 as inundações provocaram, aproximadamente, 8 mil mortes, afetaram cerca de 20 milhões de pessoas e acumularam um prejuízo na ordem de US\$9 bilhões.

Apesar dos transtornos causados pelos desastres hidrológicos, os mesmos, bem como outros desastres ambientais, como vendavais e tornados, são praticamente impossíveis de serem erradicados (RODRIGUES, 2017). Pois estes fenômenos contribuem na geodinâmica terrestre, influenciando diretamente a formação do relevo, a manutenção dos ecossistemas, o abastecimento das fontes hídricas, entre outros (CAPRARIO, 2017; RODRIGUES, 2017). Diante desse fato e de que as inundações é o tipo de desastre natural que mais atinge o Brasil, apresentando aumentos sucessivos nas últimas décadas, se faz necessário o desenvolvimento ou reestruturação de métodos de prevenção que minimizem os danos, econômicos e sociais, causados por esses fenômenos (ABATTI e TSCHOKE, 2018; MIGUEZ et al., 2018).

### ***2.1.2 Medidas de controle de inundações urbanas***

No contexto da gestão da drenagem urbana, conhecida como manejo das águas pluviais urbanas, o conjunto de medidas que possuem o objetivo reduzir a frequência e mitigar os danos causados pelas inundações e alagamentos são classificados, segundo sua natureza, em medidas estruturais e não-estruturais (ABATTI e TSCHOKE, 2018; RODRIGUES, 2021). Sendo as medidas estruturais compreendidas pelas obras de engenharia, que são implantadas visando a correção e/ou prevenção dos problemas decorrentes de inundações urbanas e alagamentos, e as não-estruturais representadas pelas tomadas de decisão que buscam reduzir os danos ou as consequências dos desastres hidrológicos (SILVA et al., 2017).

As medidas estruturais subdividem-se em intensivas e extensivas. As medidas intensivas, de acordo com Abatti e Tschoke (2018), correspondem a ações que atuam diretamente no corpo hídrico e objetivam alterar a velocidade do escoamento, através de canalizações que aceleram o escoamento, ou em medidas que retardam o escoamento como reservatórios, desvios e restauração dos canais. Ainda conforme definição dos referidos autores, as medidas extensivas são assim chamadas por estarem distribuídas na bacia, como pequenos

armazenamentos, recomposição de cobertura vegetal e controle de erosão do solo ao longo da bacia. Algumas tecnologias de medidas estruturais de drenagem urbana são apresentadas e descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Tecnologias de drenagem urbana relacionadas às medidas estruturais.

<b>Tecnologia</b>	<b>Descrição</b>
Diques	Muros verticais ou inclinados construídos em terra ou concreto dispostos a certa distância do rio para proteger as áreas ribeirinhas das inundações urbanas.
Canalizações	Modificações da morfologia de rios ou córregos a partir do aumento da área transversal da calha ou pelo aumento da velocidade. O aumento da velocidade ocorre pela redução da rugosidade da calha ou pelo aumento da declividade pelo corte de meandros. Tais modificações resultam em um aumento da vazão para um nível constante baseado nas condições hidrológicas locais.
Trincheiras de infiltração	Coletores longitudinais ou pequenos canais, com o leito coberto por brita de diferentes tamanhos, que coletam as águas pluviais. Usualmente são instalados em ruas, estacionamentos e edificações, e podem incluir tanques ou tubos perfurados sob seu leito, para transporte até o sistema de drenagem.
Bacias de detenção	Depressões em locais com condições de deter o escoamento pluvial. Armazenam temporariamente as águas pluviais antes de transferi-las controladamente ao sistema de drenagem. Podem ter infiltração associada. Existem três tipos principais: i) superficiais naturais, depressões no solo natural; ii) superficiais artificiais, escavações com seu leito coberto ou não por concreto, e; iii) subterrâneas, tanques ou coletores, sob estacionamentos, praças, parques ou ruas, abastecidos por um sumidouro de águas pluviais.
Bacias de retenção	Depressões que retêm as águas pluviais por maior tempo que as bacias de detenção. Possuem os tipos superficial natural e superficial artificial. Geralmente têm processos de infiltração e filtração/tratamento associados.
Pavimentos permeáveis	São pavimentos que infiltram as águas pluviais até coletores subterrâneos e tratam essas águas a partir de um filtro de areia-brita. Podem ser utilizados em ruas e estradas de tráfego leve ou pesado e em estacionamentos.
Telhados verdes	Correspondem a uma camada de vegetação-solo instalada no topo de edificações e retém e/ou armazenam as águas pluviais, que depois são descarregadas até uma área permeável ou para um tanque de captação.
Jardins de chuva	Consistem em jardins que incluem filtros de areia-brita-cascalho. Geralmente, usam plantas nativas, a fim de evitar o uso de fertilizantes químicos. Podem realizar fitorremediação ou incluir vegetação decomposta para facilitar o tratamento biológico.
Sistemas de captação	Sistemas que coletam e armazenam as águas pluviais para reduzir a velocidade da descarga no sistema de drenagem urbana.

Fonte: Adaptado de Hernandez e Szigethy (2020).

Li et al. (2018) utilizaram o modelo MIKE FLOOD para avaliar o efeito dos jardins de chuva na redução dos alagamentos e na qualidade da água em uma área urbana de Xi'an, cidade da

China central. Foram implantados 46 jardins de chuva na região do estudo, resultando numa área correspondente a 2% da área total. As comparações foram realizadas a partir de informações hidrológicas de antes e depois da implantação da referida técnica compensatória, mostrando que o jardim de chuva possui uma boa eficácia no controle do escoamento superficial e infiltração das águas pluviais, mitigando os alagamentos.

Aspirando uma solução potencial para as inundações ocorridas na região central do Chile, Mora-Melia et al. (2018) analisaram a aplicabilidade da instalação de telhados verdes. Para isso, as propriedades de retenção dessa técnica de drenagem foram avaliadas com auxílio do modelo SWMM. Através desse estudo, foi verificado que os telhados verdes podem auxiliar no controle de inundações das cidades, sobretudo para eventos de chuva moderadamente intensos.

O estudo de Archer et al. (2020) buscou compreender o processo de infiltração das águas pluviais em um pavimento permeável instalado no estacionamento da Red Kite House, em Wallingford, Reino Unido, em comparação com uma área verde adjacente. Para isso, ambas as áreas foram monitoradas com sensores de teor de água do solo e quatro poços rasos foram instrumentados com sensores de nível de água subterrânea. Assim, os autores verificaram que o sistema do pavimento permeável permite a infiltração da água da chuva proveniente de altas intensidades pluviométricas, atenuando o problema crescente de inundações urbanas na região.

De modo inovador, Teston (2015) verificou o impacto do aproveitamento das águas pluviais em residências unifamiliares no consumo de água potável e na drenagem urbana. O estudo foi realizado em um condomínio horizontal na cidade de Curitiba, Paraná, onde a autora fez uma avaliação quantitativa do volume de chuva aproveitado e extravasado no sistema de aproveitamento. De modo geral, foi obtido um resultado satisfatório com relação ao volume de água que fica retido nos reservatórios e não são encaminhados à drenagem.

O trabalho realizado por Vergutz et al. (2019) propôs o uso do reservatório de retenção como técnica compensatória de drenagem urbana para a bacia hidrográfica do córrego São Pedro, localizada no município de Uberlândia, em Minas Gerais. Para isso, os autores simularam cenários, com e sem a implantação de reservatórios, a partir do modelo hidrológico *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS), e realizaram a comparação dos resultados hidrológicos.

Aspirando avaliar as funções de retenção, armazenamento e infiltração da água de chuva proveniente de um telhado, Melo et al. (2014) apresentaram um estudo experimental de um jardim de chuva, em Recife. Durante o período de monitoramento, os autores não observaram extravasamento na estrutura, fazendo com que o jardim de chuva piloto se mostrasse como uma técnica aplicável para o manejo das águas pluviais urbanas.

Buscando aplicar a tecnologia de drenagem urbana mais adequada, Moura e Silva (2018) apresentaram a evolução da impermeabilização da superfície ocorrida em um trecho da zona sul da cidade de Recife/PE para os anos de 1975 e 2007. As autoras constataram um aumento de 96,74% da área impermeabilizada e propuseram a implantação da técnica dos jardins de chuva e dos pavimentos permeáveis no referido local.

De maneira semelhante, Holanda et al. (2020) analisaram a viabilidade da implementação do pavimento permeável nas estradas que margeiam ou dão acesso ao túnel Chico Science, localizado na cidade de Recife/PE, para auxiliar na drenagem de áreas não pavimentadas do entorno. Os autores verificaram que o solo da região é majoritariamente arenoso, sendo capaz de permitir a infiltração da água precipitada. O estudo comprovou a viabilidade de se utilizar a referida técnica compensatória, uma vez que com a implantação, os alagamentos seriam minimizados, como também os custos de manutenção das bombas de recalque do atual sistema de drenagem seriam reduzidos.

Silva et al. (2020) avaliaram, a partir de modelagem computacional, a implantação de um reservatório de detenção sob logradouro para controle de alagamentos em área de urbanização consolidada localizada no bairro Jiquiá, na cidade de Recife/PE. Para isso, os autores obtiveram os dados físicos da área e os integraram ao modelo *Storm Water Management Model* (SWMM). Os resultados do estudo mostraram que houve significativa redução dos picos de cheia, em torno de 64%, e conseqüentemente a diminuição da área de alagamento.

O estudo de Oliveira et al. (2021) analisou a utilização do telhado verde no sistema de retenção e aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, com o objetivo de aliar a redução do desperdício de água com a necessidade do aumento das redes de drenagem. Os autores apresentam as vantagens da utilização de cobertura verde em edificações, como uma forma de melhoria no gerenciamento de bacias hidrográficas. Essa técnica é eficaz na redução

e retardo do escoamento superficial, além de ajudar na redução do volume das águas pluviais ejetadas no sistema de drenagem urbana através da retenção da água de chuva no solo do telhado verde.

Em relação às medidas não-estruturais, de acordo com Rodrigues (2021), são medidas de caráter legal e institucional e que procuram disciplinar a urbanização de tal forma a minimizar os seus efeitos no regime hídrico das bacias. Essas medidas possuem caráter preventivo, onde os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as inundações e, geralmente, não envolvem nenhuma obra de engenharia (CAPRARIO, 2017). São baseadas principalmente no zoneamento de áreas inundáveis, sistemas de previsão de cheias e alertas, educação ambiental e ações de regulamentação e ocupação do solo (ABATTI e TSCHOKE, 2018; SILVA et al., 2017). Essas medidas estão apresentadas e descritas no Quadro 2.

Quadro 2 – Tecnologias de drenagem urbana relacionadas às medidas não estruturais.

<b>Tecnologia</b>	<b>Descrição</b>
Zoneamento de áreas inundáveis	Este método engloba as etapas da determinação do risco das enchentes, do mapeamento das áreas sujeitas à inundação e do zoneamento. O zoneamento propriamente dito é a definição de um conjunto de regras para a ocupação das áreas de risco de inundação, visando à minimização futura das perdas materiais e humanas em face das grandes cheias.
Sistemas de previsão de cheias e alertas	Esse tipo de sistema tem a finalidade de se antecipar à ocorrência da inundação, avisando a população e tomando as medidas necessárias para reduzir os prejuízos resultantes da inundação. Um sistema de alerta de previsão tempo real envolve o sistema de coleta e transmissão de informações de tempo e hidrológicas, um centro de previsão e a participação da Defesa Civil.
Educação ambiental	Este método parte do princípio da formação de uma nova consciência sobre o valor da natureza e da reorientação à produção de conhecimento baseada nos métodos da interdisciplinaridade e nos princípios da complexidade.
Ocupação do solo	A regulamentação do uso das zonas de inundação apóia-se em mapas com demarcação de áreas de diferentes riscos e nos critérios de ocupação delas, tanto quanto ao uso como quanto aos aspectos construtivos. Para que essa regulamentação seja utilizada, beneficiando as comunidades, deve ser integrada à legislação municipal sobre loteamentos, construções e habitações, a fim de garantir a sua observância.

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2021) e Tucci (2005).

De acordo com Miguez et al. (2018), o zoneamento das áreas inundáveis se configura como o mais simples, direto e efetivo mecanismo de prevenção de risco. Para os autores, o mapeamento das áreas suscetíveis à inundações possibilita o planejamento da ocupação do

solo a fim de evitar exposições em áreas que configurariam risco e a regulamentação do crescimento da cidade de maneira harmônica, convivendo com as cheias naturais, sem sofrer consequências danosas.

Para Martins e Ribas (2021), torna-se cada vez mais importante conhecer as engrenagens dos processos dos desastres hidrológicos, e, neste sentido, a modelagem, a delimitação e/ou o mapeamento desses fenômenos são requisitos básicos para esse tipo de análise. Por isso, segundo Bezerra (2020), muitos estudos sobre desastres hidrológicos que utilizam técnica de elaboração de mapas de risco vêm crescendo nos últimos anos.

## **2.2 Geoprocessamento**

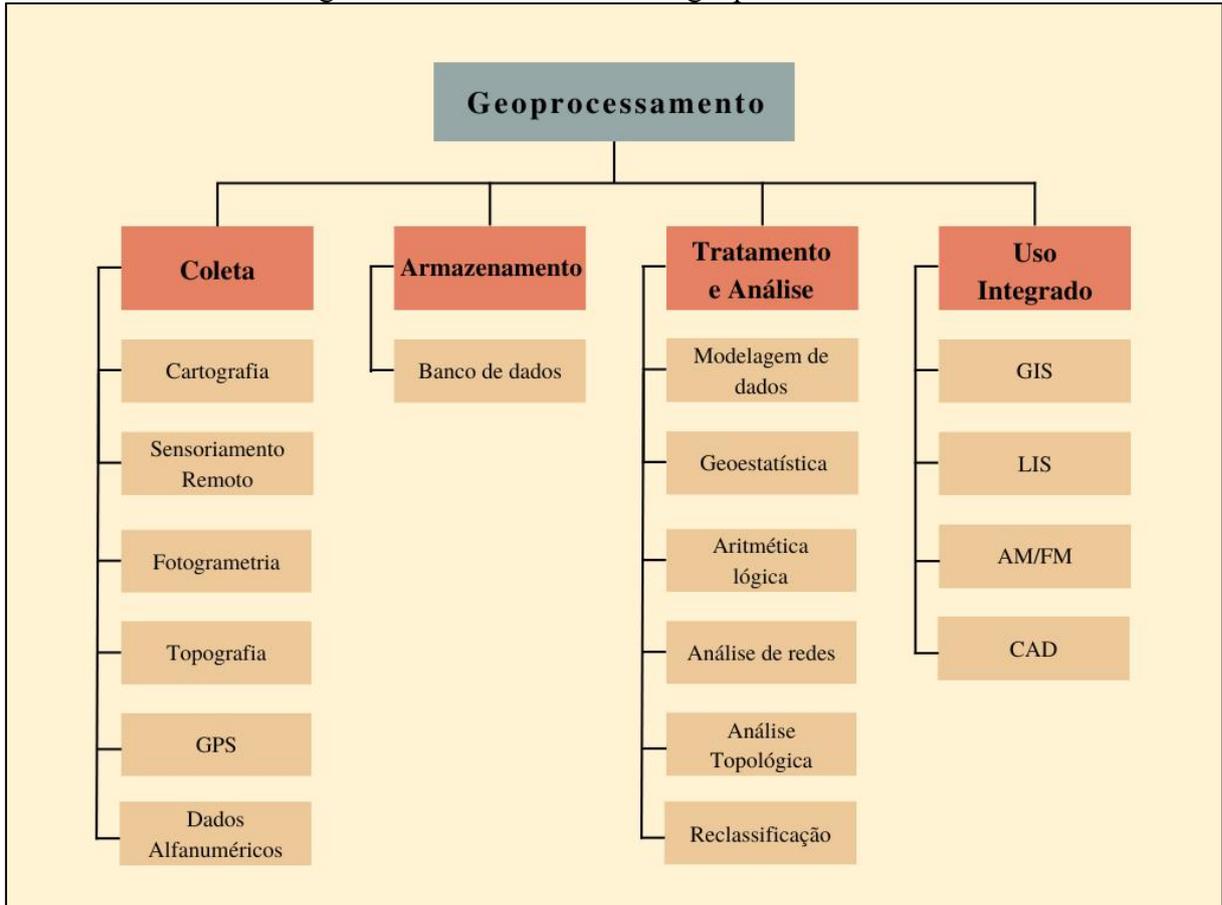
Na concepção de estudos ambientais é importante presumir que todo fenômeno é passível de ser localizado e ter sua abrangência determinada (COSTA e RIBEIRO, 2020). Para as referidas autoras, esses tipos de estudo são elaborados, fundamentalmente, por meio da tecnologia do geoprocessamento, sobretudo com o uso do SIG, do processamento digital de imagens de satélite ou de radar e do uso de aparelhos GPS. Nesse contexto, conforme Rezende e Marques (2017), a tecnologia do geoprocessamento possibilita apresentar quais os locais que podem ou não ser ocupados pela população, para fins de moradia, sinalizando as áreas que estão ou não suscetíveis a eventos extremos de natureza hidrológica.

Conforme Mendes e Cirilo (2013), o conceito de geoprocessamento ainda é um pouco complexo, visto que há uma série de discussões teóricas sobre o que se deve ou não realizar. Afinal, entende-se que esta tecnologia supera as capacidades técnicas de processamento e armazenamento de dados geoespaciais (SILVA, 2021). Assim, uma definição trazida por Ibrahin (2014) é que “geoprocessamento é um conjunto de técnicas, métodos e ferramentas que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica”. De maneira geral, o conjunto de técnicas que representam o geoprocessamento pode ser resumido da forma que apresenta a Figura 4.

Os SIG's, tradução do termo GIS (*Geographic Information System*), representam os instrumentos computacionais de geoprocessamento que possibilitam realizar análises complexas ao agrupar informações de diversas fontes e ao constituir bancos de dados georreferenciados (IBRAHIN, 2014). Esses instrumentos, segundo Leonardi (2020),

correspondem a um conjunto de cinco elementos que compõem um SIG, são eles: programas (*software*), equipamentos (*hardware*), metodologia (fluxo de trabalho), dados e pessoas. De forma geral, os produtos que são gerados por um SIG estão vinculados a um espaço físico, que quando devidamente “mapeado” possibilita o fornecimento de subsídios para uma futura tomada de decisões (FITZ, 2008).

Figura 4 – Estrutura básica do geoprocessamento.



Fonte: Adaptado de Leonardi (2020).

O Sensoriamento Remoto (SR) é a ciência, técnica ou processo de aquisição de informações do ambiente terrestre sem o contato direto com os alvos existentes, ocorrendo por meio do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem a superfície terrestre (LEONARDI, 2020; SANTOS et al., 2021). De maneira geral, Mendes e Cirilo (2013) consideram o SR como um sistema de obtenção de informações que pode ser classificado em cinco elementos, são eles: fonte de energia eletromagnética, meio de transmissão, alvo na superfície terrestre, sensor e plataforma e sistema de processamento.

Os componentes que constituem o SR e o modo como os mesmos interagem entre si estão ilustrados na Figura 5. É habitual a afirmação de que somente as imagens adquiridas por sensores orbitais são produto de SR, entretanto fotografias aéreas obtidas por aviões também integram o SR, bem como os produtos oriundos de aeronaves remotamente pilotadas (RPA's) (GOMES e CUBAS, 2021).

Figura 5 – Componentes básicos da etapa de aquisição de informações por SR.



Fonte: Adaptado de Zanotta et al. (2019).

Aplicações de técnicas de SR em estudos ambientais têm alcançado diversificado grau de sofisticação, sobretudo devido à maior capacidade de aquisição de dados em tempo real e em larga escala e à disponibilidade dos produtos, possibilitando a extração de informações quantitativas mediante a caracterização espectral de objetos (GAIDA et al., 2020; SANTOS et al., 2021). Conforme Oliveira et al. (2020), o SR é de fundamental importância em estudos sobre desastres ambientais, uma vez que a aquisição de dados de maneira rápida antes e após o evento possibilita realizar a avaliação, de forma temporal, dos danos causados e auxilia na elaboração de diretrizes de atuação em uma fase posterior.

### ***2.2.1 Geoprocessamento aplicado ao mapeamento e análise das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos***

Considerando a conjuntura nacional diante do crescimento dos episódios de desastres naturais, vários métodos e técnicas vêm sendo aplicadas no monitoramento, emissão de alertas, prevenção e sua mitigação, destacando-se a utilização do geoprocessamento, que se trata de uma ferramenta que evoluiu rapidamente nos últimos anos (CORRÊA, 2020). Para Macêdo (2018), o SIG permite que o profissional ou pesquisador espacialize seus dados coletados, sobreponha variáveis e realize análises espaciais, tendo como produto final mapas de risco.

De acordo com Kurtz et al. (2021), os SIG's são ferramentas fundamentais na área dos recursos hídricos, em que grande parte das informações são provenientes de estações pluviométricas e fluviométricas distribuídas ao longo da superfície terrestre. As referidas autoras ainda trazem como aplicação de SIG nessa temática exemplos como a espacialização de resíduos sólidos dispostos na rede pluvial de uma cidade, a fim de avaliar obstruções no sistema, e a espacialização de pontos críticos de alagamentos e inundações, gerando dados de suporte à Defesa Civil de um município.

Nesse contexto, conforme Coelho (2016), a identificação das áreas potencialmente inundáveis e alagáveis se compreende como um processo dinâmico e complexo, tanto no âmbito socioambiental quanto temporal. No entanto, por meio do SIG e de informações georreferenciadas é possível destacar com mais facilidade características como aspectos do relevo, classes de declividades, rede de drenagens, entre outras, de uma determinada região, permitindo realizar diversos tipos de análises e estudos geoambientais, como a identificação das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos (COELHO, 2016; SOUSA e SANTOS, 2019).

Ogarekpe et al. (2020) investigaram as características morfométricas geométricas, hidrográficas e de relevo da bacia hidrográfica do rio Cross, localizada no sudeste da Nigéria e no oeste de Camarões, a fim de avaliar a influência das sub-bacias na inundação do canal principal da referida bacia. Para isso, foi utilizado um MDE derivado do SRTM. A partir dessa análise e técnicas de SIG, os autores produziram um mapa de vulnerabilidade de inundação da bacia que foi categorizado nas zonas de alta, moderada e baixa vulnerabilidade.

O estudo de Costache et al. (2020) analisou a correlação entre a mudança de uso e ocupação do solo e as potenciais inundações ocorridas na bacia hidrográfica do rio Zabola, situada na porção centro-leste da Romênia, para o período compreendido entre 1989 e 2019 com auxílio de SIG e SR. Essas ferramentas se mostraram eficientes, sendo capazes de confirmar a correlação geral entre os dois fenômenos supracitados e identificar as particularidades locais de cada unidade espacial analisada, que foram destacadas pela variabilidade espacial do coeficiente de correlação de Pearson.

Garcia-Ayllon e Radke (2021) propuseram a aplicação de um método analítico baseado na avaliação de indicadores SIG, utilizando algoritmos geoestatísticos, e de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) a fim de obter uma correlação estatística e espacial do nível de transformação territorial, ocasionada por intervenções antrópicas, com a crescente suscetibilidade às inundações. Os autores aplicaram essa metodologia na bacia hidrográfica do Campo de Cartagena, que está localizada na parte sudeste da costa mediterrânea espanhola e vem sofrendo inundações catastróficas nos últimos anos, e mostraram que o processo de antropização na região do estudo tem causado a perda da rede hidrográfica natural que existia na bacia, potencializando a ocorrência de inundações.

Oliveira (2010) produziu modelos para previsão, espacialização e análise das áreas suscetíveis à inundações na bacia hidrográfica do rio Caí, no Rio Grande do Sul, por meio de dados hidrológicos, topográficos e de SR, aplicando ferramentas de geoprocessamento. Para isso, os modelos foram elaborados em três diferentes escalas, utilizando dados de estações fluviométricas e SRTM, para análise das características hidrológicas da bacia e modelagem da superfície do terreno, respectivamente. Por meio da metodologia empregada, o referido estudo conseguiu representar satisfatoriamente os locais de maior avanço das águas.

De modo semelhante, Bezerra (2020) identificou e espacializou as áreas suscetíveis à inundações no município de Marabá, estado do Pará, através de lógica *fuzzy* e técnicas de geoprocessamento, como também realizou a análise do escoamento superficial de sua área urbana utilizando o método *Natural Resource Conservation Services* (NRCS) nos períodos de maiores e menores precipitações. Para produzir os resultados foram integradas informações relativas ao meio físico de forma a disponibilizar um instrumento de auxílio na avaliação e tomadas de decisões públicas na região estudada.

Buscando auxiliar a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Caxias do Sul, município do Rio Grande do Sul, na identificação de áreas suscetíveis a eventos de alagamento, Bolson e Teixeira (2020) utilizaram o método AHP aliado ao SIG. Para isso foram selecionadas para análise as informações de hipsometria, declividade, hidrografia, impermeabilização superficial e imagem tridimensional do município, que foram manipuladas através do *software* de geoprocessamento QGIS. Assim, os autores identificaram 14 áreas suscetíveis a alagamentos no município estudado.

Fantinel e Benedetti (2021), por meio da análise ambiental e de técnicas de geoprocessamento, identificaram e caracterizaram as áreas suscetíveis à ocorrência de inundação no município de Dona Francisca, no Rio Grande do Sul. Para realizar essa identificação, foram atribuídos pesos e notas para as diferentes classes dos mapas temáticos. Posteriormente, as autoras executaram o cruzamento desses mapas utilizando o algoritmo de média ponderada, obtendo áreas numa escala de muito baixa à muito alta suscetibilidade à ocorrência de inundações.

Utilizando o modelo hidrológico *Height Above Nearest Drainage* (HAND) aplicado em *software* de geoprocessamento, Martins e Ribas (2021) indicaram as áreas de suscetibilidade à inundação no município de Florianópolis, em Santa Catarina. Esse modelo representa um terreno suscetível à inundação conforme às distâncias vertical e horizontal do canal de drenagem mais próximo. Os autores obtiveram resultados satisfatórios, uma vez que os índices de qualidade utilizados para validação da cota altimétrica gerada pelo modelo HAND tiveram estreita relação com os valores obtidos na validação em campo.

Lorena et al. (2018) desenvolveram um modelo simplificado para determinar áreas urbanas com riscos de inundação, causadas por ocupações irregulares em Área de Preservação Permanente (APP) localizada às margens do rio Tapacurá, no município de Vitória de Santo Antão, Pernambuco. Com auxílio de técnicas de geoprocessamento, os autores observaram que a remoção da mata ciliar das margens protegidas impede o escoamento da água em período de altas precipitações, ocasionando grandes inundações e desastres para as populações residentes.

Através dos *softwares* HEC-HMS e HEC-RAS, Verçosa (2019) realizou, respectivamente, modelagens hidrológica e hidrodinâmica bidimensional para avaliar a ocorrência de inundações no Recife, em Pernambuco, decorrentes dos processos de cheia no rio Capibaribe. Para realizar as simulações, a autora considerou os eventos extremos dos anos de 1975 e 2011 e cenários de aumento do nível médio do mar a partir de dois tipos de situações: existência e ausência do sistema de contenção de cheias da bacia do rio Capibaribe. Para o caso da ausência do sistema de contenção, as simulações conseguiram reproduzir as cheias de 1975 e de 2011, permitindo definir a extensão da inundação, e para a situação de existência, os resultados mostraram uma redução de 82% e 57%, respectivamente, na área inundada pelas cheias de 1975 e 2011.

A partir de ferramentas de geoprocessamento, o trabalho de Gomes et al. (2020) identificou possíveis pontos de alagamentos no município do Cabo de Santo Agostinho, em Pernambuco, para os períodos do ano com os maiores índices pluviométricos. Para elaboração do estudo, foram eleitos como critérios de suscetibilidade a alagamentos a análise de solo, a vegetação e a altitude do município estudado, como também foram coletados dados relativos à pluviometria do município. Por meio das técnicas de geoprocessamento empregadas, os autores mostraram a presença de duas áreas com maiores probabilidade de ocorrência de alagamentos no município, sobretudo entre os meses de maio e julho, os quais apresentaram maiores índices pluviométricos de 2008 a 2017.

O estudo de Melo (2021) produziu mapas de inundação para os municípios de Palmares e Jaqueira, em Pernambuco, empregando procedimentos e produtos oriundos de Modelos Digitais de Terreno (MDT), de Ortofotos, de alturas de inundação e de estações fluviométricas. Para isso, o autor aplicou metodologias baseadas em três perspectivas: a inferência probabilística por meio da Krigagem Ordinária em relação às cotas de inundação do município de Palmares em 2010 e de Jaqueira em 2017, otimização do modelo HAND em relação ao evento de 2010, em Palmares, e conexão do modelo HAND com a estação fluviométrica de Palmares.

Buscando auxiliar a gestão territorial do município de Olinda, Pernambuco, Pereira e Listo (2021), por meio de análise espacial, identificaram e delimitaram as áreas potencialmente suscetíveis a inundação ao longo do curso do riacho Lava-Tripas, situado no bairro de Águas Compridas, no referido município. Para isso, os autores utilizaram mapeamentos topográficos (declividade, curvatura, orientação e acúmulo de fluxos) e imagens de satélite, validados em trabalhos de campo.

### ***2.2.2 Modelo Numérico do Terreno (MNT)***

A caracterização da superfície terrestre a partir de suas características fisiográficas trata-se de um aspecto de extrema importância na modelagem de processos hidrológicos, visto que a topografia é um dos parâmetros que mais influenciam nos fenômenos naturais que ocorrem na superfície, sobretudo, no tocante às dinâmicas das bacias hidrográficas (OLIVEIRA, 2010). Por meio da manipulação de dados em ferramentas de geoprocessamento, foi aprofundada a

descrição e utilização numérica do terreno através de modelos, podendo ser por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos (MENDES e CIRILO, 2013).

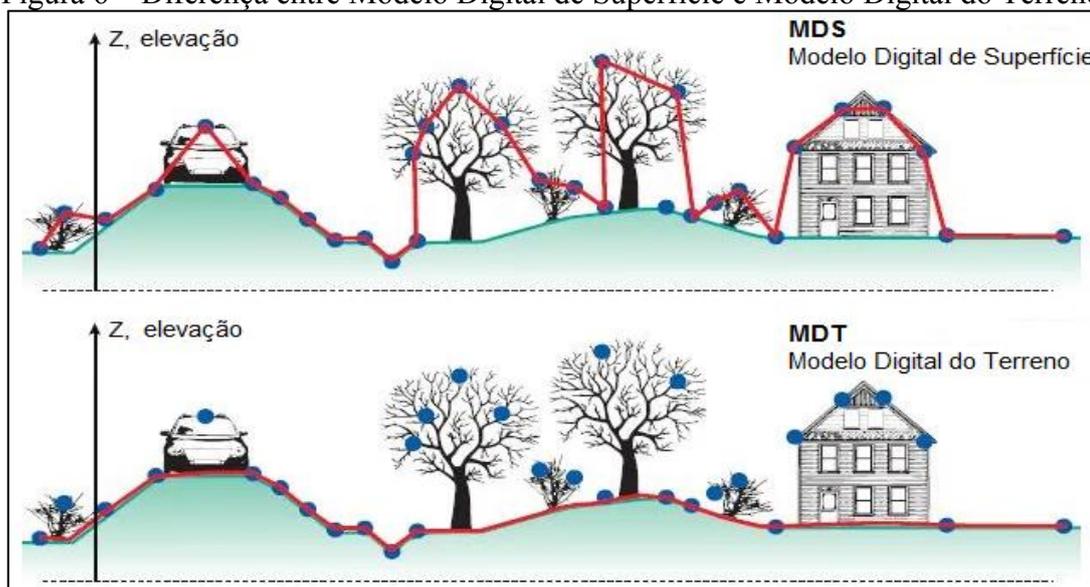
De acordo com Barbosa et al. (2012), um Modelo Numérico do Terreno (MNT) é uma reprodução digital da superfície da Terra, tipicamente, representada por um mapa *raster* (uma imagem ou conjunto de elevação) que pode ser modelado através de geoestatística. Oliveira (2010) aborda alguns fenômenos que podem representados por MNT's, são eles: altimetria e batimetria, informações meteorológicas (precipitação, temperatura, pressão atmosférica, entre outras) e dados geofísicos e geoquímicos.

Segundo Neris (2011), é bastante comum utilizar o MNT para desenvolver atividades como: armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos; análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens; cômputo de mapas de declividade e exposição para apoio a análises de geomorfologia e erodibilidade análise de variáveis geofísicas e geoquímicas; apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

A geração de um MNT pode ser dividida em duas etapas: aquisição das amostras ou amostragem e geração do modelo propriamente dito ou interpolação. Em que a amostragem compreende a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno de interesse e a interpolação envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras, sendo as estruturas de dados mais utilizadas a grade regular e a malha triangular (CRUVINEL et al., 2021).

Quando MNT's correspondem à informações relativas à altimetria, podem ser classificados como Modelo Digital de Elevação (MDE) (OLIVEIRA, 2010). Fernandes et al. (2017) afirma que um MDE pode se subdividir em Modelo Digital do Terreno (MDT) ou Modelo Digital de Superfície (MDS). De acordo com os autores, a diferença parte do princípio de que o MDT corresponde a um MDE no qual as informações de pontos de elevação se restringem à superfície topográfica, compreendendo apenas o terreno e corpos d'água (terra desnuda) e o MDS consiste em um MDE que apresenta informações de elevação de pontos na superfície terrestre e de objetos que estão sobre ela (tais como árvores, edificações, etc). Essa diferença pode ser melhor compreendida por meio da Figura 6.

Figura 6 – Diferença entre Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital do Terreno.



Fonte: Adaptado de Villanueva (2020).

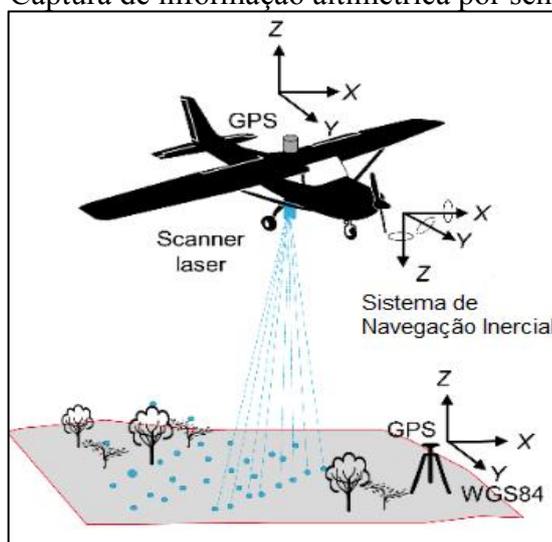
Os MDE's proporcionam informações espaciais de grande relevância acerca da análise da superfície terrestre, podendo ser obtidos por levantamentos de campo com teodolito, fotografias aéreas (estereopar) e cartas topográficas, as quais necessitam de um controle manual e de interpolação para gerar o produto final (MARION et al., 2015). Ainda de acordo com os referidos autores, MDE's podem ser gerados a partir de interferometria, como o *Radio Detecting And Ranging* (Radar) e o *Ligth Detection And Ranging* (LiDAR), que são fontes ativas de sensores abordo de satélites (orbitais) ou aviões (sub-orbitais).

Entre os dados de interferometria mais difundidos no Brasil, Marion et al. (2015) evidenciam os produtos da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que geraram MDE's com pixel de 90 e 30 metros de resolução e os dados do projeto Topodata, que são resultantes de uma reamostragem, por krigagem, dos dados da SRTM, em que foram produzidos MDE's com 30 metros de resolução que recobrem o território brasileiro. No entanto, de acordo com Rodrigues (2021), a precisão altimétrica da base global SRTM não atende aos requisitos de precisão demandadas para muitos estudos e projetos. Dessa forma, entra em destaque a técnica do sistema de varredura a laser aerotransportado (LiDAR), com o objetivo de complementar e integrar um novo recurso de aquisição de dados espaciais (CIRILO et al., 2014; SOARES e GALVÍNCIO, 2020).

O princípio de funcionamento da tecnologia LiDAR, conforme Silva et al. (2020), está baseado na emissão de multifeixe de laser no espectro infravermelho em direção à superfície

terrestre, onde estes feixes são refletidos por obstáculos (construções, vegetação ou o próprio terreno) e captados pelo sensor, como apresenta a Figura 7. Uma das principais características do LiDAR é a geração de uma densa nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais da superfície terrestre de forma rápida e precisa, essencial na modelagem de superfícies (OLIVEIRA e GALO, 2018). Para Martins e Mitishita (2018), essa tecnologia tem se tornado instrumento auxiliar em aplicações na Fotogrametria, nas quais se exigem MDE's mais refinados, como por exemplo, modelagem de áreas urbanas, reservatórios de usinas hidroelétricas e linhas de transmissão.

Figura 7 – Captura de informação altimétrica por sensor LiDAR.



Fonte: Adaptado de Villanueva (2020).

Diante da alta qualidade dos produtos oriundos do LiDAR e da necessidade da criação de um banco de dados de alta resolução topográfica para o estado pernambucano, em 2014 o Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) foi desenvolvido pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do estado de Pernambuco (SRHE) (VERÇOSA, 2019; MELO, 2021). Conforme Verçosa (2019), o supracitado projeto reúne produtos cartográficos resultantes do recobrimento aerofotogramétrico e mapeamento a laser do território do estado de Pernambuco em resoluções espaciais de 1 m e 0,5 m, nas escalas 1:5000 e 1:1000, respectivamente.

De acordo com Melo (2021), os produtos obtidos a partir PE3D têm subsidiado o desenvolvimento de projetos nas diversas áreas, como o saneamento básico e a contenção de cheias através de barragens, o suporte para a transferência de populações atingidas, as avaliações ambientais no reconhecimento e investigação da qualidade ambiental de nascentes

e a aplicação em modelos matemáticos para diversos usos na área de recursos hídricos. Verçosa (2019) ressalta que os produtos do PE3D têm sido aplicados, sobretudo, nos estudos de inundações, possibilitando uma melhor performance dos modelos hidrodinâmicos e melhor precisão na definição das áreas inundáveis.

Baseado no princípio dos dados provenientes do sensor LiDAR, o estudo de Braghirolli (2017) se objetivou a explorar a aplicação e desempenho de métodos, *software* e algoritmos que visam a modelagem e a representação do espaço tridimensional aplicadas ao mapeamento de áreas de risco a inundações do município de Passos de Torres, em Santa Catarina, que, de acordo com o referido autor, historicamente protagoniza eventos de inundações, acarretando danos às comunidades e prejuízos econômicos.

Dentre as variadas aplicações do LiDAR, Oliveira et al. (2019) utilizaram um modelo baseado em tecnologia LiDAR e informações de elevação da coluna d'água, medida em estação fluviométrica instalada no rio Marrecas, para identificar áreas de risco para inundações no município Francisco Beltrão, no Paraná. Para isso, foi simulado o evento com maior nível d'água registrado no rio, sendo possível estimar as principais áreas sujeitas à inundações no município, que se mostraram compatíveis com os registros da Defesa Civil.

De maneira semelhante, Cavalcanti et al. (2013) apresentaram uma metodologia para o mapeamento de áreas de risco de inundações na bacia hidrográfica do rio Una, em Pernambuco, usando MDE obtido por meio de sensor LiDAR, sendo complementado por imagem RAPIDEYE, mapas de setores censitários do Censo 2010 do IBGE e operação de álgebra de mapas. A partir da manipulação do MDE, os autores foram capazes de calcular curvas de nível de cotas simuladas e lâminas de inundações para 140 m, 150 m, 160 m e para 210 m demonstrando o fornecimento de valiosas informações sobre o comportamento espacial do risco, das lâminas de inundações, sobre o relevo local.

O estudo de Lima et al. (2021) utilizou MDE's do projeto PE3D, que são provenientes de sensor LiDAR, para analisar e identificar os danos hidrológicos decorrentes da concentração urbana, sobre a dinâmica natural do escoamento, a fim de investigar os fatores que provocam estas inundações nas Regiões Político Administrativas IV e VI do município do Recife, Pernambuco. As informações espaciais de alta resolução foram processadas em ambiente SIG

e a partir das mesmas foi possível analisar detalhadamente as variáveis que propiciam o escoamento superficial e acúmulo de fluxo nas áreas em estudo.

O trabalho de Bandim e Galvínio (2021) consistiu em avaliar as áreas inundáveis em Recife, com especial atenção à avenida Caxangá. Para isso, foi realizada uma análise sobre a drenagem convencional do local estudado utilizando a tecnologia LiDAR com resolução de 0,50m. Os resultados obtidos pelos autores enfatizaram a alta resolução dos dados espaciais através da nítida visualização de elementos naturais e artificiais que foi capaz de observar o acúmulo de fluxo do escoamento superficial e ainda perceber a influência na drenagem urbana das construções antrópicas e da vegetação em locais pontuais da avenida Caxangá.

## **2.3 Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios (MCDM - *Multiple Criteria Decision Making*)**

### **2.3.1 *Conceitos e métodos***

Até a primeira metade do século XX, conforme Cardoso e Santos (2017), as decisões eram tomadas com base no conhecimento empírico e esperança matemática (média e estatística), mas na maioria das situações era observado que o risco associado a tal procedimento era inaceitável. Diante desse cenário, somado ao crescente número de informações e a necessidade de utilizá-las em processos decisórios complexos, a partir da década de 1970 começaram a surgir os primeiros métodos de apoio à tomada de decisão multicritério (MCDM), com o intuito alcançar maior assertividade para resolução de problemas em que ocorriam critérios conflitantes. (BRIOZO e MUNETTI, 2015; CARDOSO e SANTOS, 2017; NEVES et al., 2022).

De modo geral, de acordo com Santos (2021), além de auxiliar o decisor a resolver problemas com objetivos conflitantes, a MCDM tem a finalidade de dar suporte em todo o processo de decisão de forma que sejam claros todos os elementos da decisão e consequências das ações potenciais. Uma vez que, para a autora, resolver um problema multicritério significa procurar não apenas a solução escondida, mas consiste em auxiliar o tomador de decisão a dominar os dados e avançar para decisão final. Se a quantidade de alternativas for menor, o processo de tomada de decisão é facilitado, caso contrário, para problemas complexos e com vários critérios conflitantes, torna-se necessário o uso de métodos estruturados (VIERO, 2018).

Segundo Araújo (2016), a MCDM é dividida em quatro grandes grupos, são eles: Métodos baseados na programação matemática (MOLP - *Multiobjective Linear Programming*), dos quais se destacam: a Programação por Compromisso (CP - *Compromisse Programming*) e a Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT - *Cooperative Games Theory*); Métodos baseados nas teorias do valor e da utilidade multiatributo (MAUT - *Multiattribute Utility Theory*), dos quais se destacam: o Processo de Analítico Hierárquico (AHP - *Analytic Hierarch Process*) e o MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Evaluation Technique*); Métodos baseados nas relações de preferências, dos quais se destacam: o ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduissant la REalité*) e o PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*); Abordagens não-clássicas em MCDA, das quais se destacam os métodos que incorporam a teoria *Fuzzy*.

As escolas de pensamento americana e francesa são as principais que se destacam entre as metodologias da MCDM (SANSEVERINO et al., 2016). Entretanto, há uma nítida divisão entre os métodos utilizados pelas mesmas, pois enquanto a escola francesa enfoca o apoio à decisão, podendo o processo resultar em várias soluções ótimas, a escola americana se propõe, prioritariamente, a definir a tomada decisão propriamente dita, apontando a decisão ótima (ARAÚJO, 2016). Sanseverino et al. (2016) afirmam que o principal método abordado pela escola americana são as MAUT, em destaque o AHP, enquanto na escola francesa se destacam os métodos das famílias ELECTRE e PROMETHEE.

Considerando a versatilidade da MCDM, esta pesquisa abordará o AHP, que é um dos primeiros e mais utilizados métodos de apoio multicritério à decisão, de acordo com Sanseverino et al. (2016). O AHP é aplicado em diversas áreas do conhecimento, dada a sua característica de incorporar em sua análise critérios quantitativos e qualitativos e ser facilmente adequado ao SIG.

### ***2.3.2 O Processo Analítico Hierárquico (AHP - Analytic Hierarch Process)***

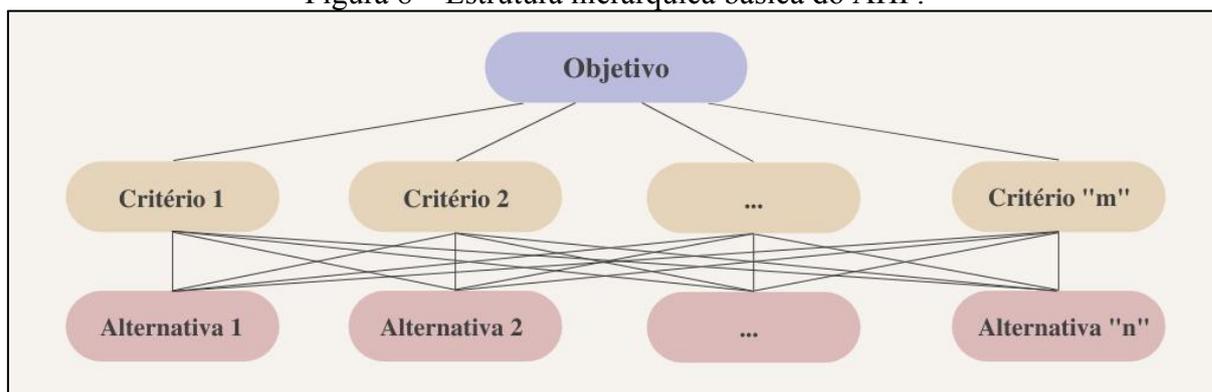
O AHP foi desenvolvido por Saaty, em 1977, e é compreendido por uma metodologia voltada para a hierarquização de múltiplos critérios representativos de um problema, organizados em níveis de abstração ou detalhamento, auxiliando a tomada de decisão e permitindo a integração entre critérios qualitativos e quantitativos (BALAGUER e ALVES, 2021;

GUEDES et al., 2021; PIMENTA et al., 2019; SCHMIDT e BARBOSA, 2016; TEDESCO et al., 2021). Conforme Carvalho et al. (2020) complementa, o AHP baseia-se no método newtoniano e cartesiano de pensar, que busca tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores, que podem ainda ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo, claros e dimensionáveis e estabelecendo relações para depois sintetizar.

Dentre as maiores vantagens do AHP está o fato de possibilitar que o tomador de decisões atribua pesos relativos para múltiplos critérios, de modo intuitivo, ao mesmo tempo em que é realizada uma comparação par a par entre os mesmos (ODA, 2018; SILVEIRA et al., 2016). Essa metodologia, segundo Ribeiro et al. (2016), permite organizar e avaliar a importância relativa de cada critério e medir a consistência dos julgamentos. Silveira et al. (2016) salientam que o AHP representa uma melhoria para a tomada de decisões por gestores que se baseiam muitas vezes em suas experiências ou sentimentos. As referidas características, acrescentada da simplicidade matemática e fácil implementação fazem com que o AHP seja um dos métodos mais utilizados em diversas áreas do conhecimento (FREIMAN e CARVALHO, 2020; GUEDES et al., 2021).

O AHP está fundamentado em três etapas, são elas: construção de hierarquias por meio da estruturação do problema, definição de pesos para os critérios e preferência para as alternativas e, por fim, a consistência lógica (AZEVEDO, 2019; CARVALHO et al., 2020; RIBEIRO et al., 2016; SANTOS, 2016). Na primeira etapa, o problema é estruturado em níveis hierárquicos, como mostra a Figura 8, possibilitando uma melhor compreensão, bem como a avaliação do mesmo. De acordo com Silveira et al. (2016), o primeiro nível hierárquico corresponde ao propósito geral do problema, o segundo aos critérios e o terceiro às alternativas. Essa ordenação hierárquica possibilita ao decisor ter uma visualização do sistema como um todo e seus componentes, bem como interações destes componentes e os impactos que os mesmos exercem sobre o sistema (CARVALHO et al., 2020).

Figura 8 – Estrutura hierárquica básica do AHP.



Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2020).

A segunda etapa está baseada na competência do ser humano em perceber a relação entre os objetos ou situações que estão sendo investigados, comparando-os aos pares à luz de determinados critérios ou julgamentos (AZEVEDO, 2019; CARVALHO et al., 2020). Por meio dessas comparações por pares, Carvalho et al. (2020) afirmam que as prioridades calculadas pelo AHP capturam medidas subjetivas e objetivas e demonstram a intensidade de domínio de um critério sobre o outro ou de uma alternativa sobre a outra.

Para essas comparações, Silveira et al. (2016) ressaltam que Saaty (1977) propôs a utilização de uma escala linear de 1 a 9, denominada de Escala Fundamental de Números Absolutos, em que o valor 1 traduz a indiferença de importância de um critério em relação ao outro e o 9 representa a extrema importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários de importância entre esses valores. O Quadro 3 apresenta essa escala de valores que é utilizada nessa etapa para a comparação entre os pares.

Quadro 3 – Escala de julgamento de importância do método AHP.

Valores	Descrição da importância	Justificativa
1	Igual	Os dois critérios contribuem equitativamente.
3	Moderada	O critério comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	Essencial ou forte	Julgamento favorecendo fortemente um critério sobre o outro.
7	Muito forte	Um critério é fortemente favorecido, com demonstração na prática.
9	Extrema	O critério comparado apresenta uma importância maior do que o outro em maior nível possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando há uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

A etapa de consistência lógica parte do princípio que o ser humano tem a capacidade de estabelecer relações entre objetos ou ideias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência (BERTAHONE E BRANDALISE, 2017). Dessa forma, o AHP oferece aos usuários calcular a Razão de Consistência dos julgamentos (RC) para analisar a consistência dos resultados obtidos, sendo o cálculo é denotado pela razão entre o índice de consistência (IC) e o índice de consistência randômico (IR). Segundo Saaty (1987), para que haja consistência entre os julgamentos, a RC deve ser menor ou igual a 0,10 (10%).

A partir das metodologias apresentadas e suas vantagens intrínsecas, o AHP se destaca como um instrumento muito utilizado em conjunto com o geoprocessamento, uma vez que o método se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG (ANDRADE, 2013; BEZERRA, 2020; REIS, 2019):

Seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial; representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas (MOURA, 2007, p. 2900).

O AHP fundamentado no SIG é utilizado em uma variedade de situações de decisão e gerenciamento, como planejamento ambiental e gestão da ecologia, planejamento urbano, hidrologia e recursos hídricos, florestas, transportes, agricultura, gerenciamento de riscos naturais e alocação de recursos de assistência médica se estabelecendo como uma importante ferramenta destinada à elaboração de análises espaciais de caracterização e planejamento, inclusive de cenários futuros (BEZERRA, 2020; SILVA, 2021). Dentre as diversas áreas do conhecimento supracitadas, Caprario (2017) ressalta que no contexto ambiental se destaca a aplicação do AHP aliado ao SIG no mapeamento de áreas suscetíveis a enchentes, alagamentos e inundações, sendo elencados no Quadro 4 diversos estudos que abordam essa temática.

Quadro 4 – Estudos que aplicaram o AHP aliado ao SIG no mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações.

(continua)

<b>Autor(es)</b>	<b>Região do estudo</b>	<b>Aprendizado</b>
Amaya et al. (2021)	Diamaré (Departamento da Região Extremo Norte de Camarões)	A suscetibilidade à inundações apresentada pelo mapeamento foi validada pela constatação de cheias históricas nas zonas de muito alto e alto risco, evidenciando a qualidade do AHP.
Cai et al. (2021)	Chongqing (Município da China)	O mapeamento baseado em AHP e SIG foi elaborado para obtenção de respostas explícitas de gerenciamento de risco de inundação da região.
Costa (2021)	Município de Araguatins/TO	O mapa de suscetibilidade a alagamentos foi confeccionado, permitindo encontrar uma relação direta entre as condicionantes avaliadas e os eventos de alagamento.
Goulart e Matsuoka (2021)	Município de Uberlândia/MG	As áreas de risco apresentas no mapa foram as mesmas que sofrem com a ocorrência de alagamentos e inundações, segundo um levantamento feito com base em notícias e dados da defesa civil do município, tornando a metodologia utilizada ótima e precisa.
Karymbalis et al. (2021)	Bacia hidrográfica do rio Megalo Rema (Ática Oriental, Grécia)	Foi detectada uma correlação significativa entre as zonas de risco de inundação e a distribuição espacial dos fenômenos de inundação passados. Essas verificações demonstraram os resultados confiáveis e a alta precisão alcançados pelo mapa de risco de inundação elaborado por meio do AHP.
Olii et al. (2021)	Gorontalo (Distrito da Indonésia)	Os resultados encontrados no estudo mostraram que a integração GIS-AHP é um método promissor para prever com precisão áreas de risco de inundação, especialmente naquelas com dados limitados.
Oliveira et al. (2021)	Município de Duque de Caxias/RJ	O mapa confeccionado conseguiu indicar as áreas mais suscetíveis a inundações, mostrando-se ser uma ferramenta útil para gestão de riscos e planejamento urbano na cidade.
Palácio et al. (2021)	Município de Juazeiro do Norte/CE	O mapa elaborado serviu como um instrumento de gestão e monitoramento de eventos hídricos extremos que acontecem rotineiramente na cidade, sinalizando à comunidade e gestores a tomarem medidas de prevenção e minimização do alagamento.
Waqas et al. (2021)	Chitral (Distrito do Paquistão)	O estudo foi pioneiro e forneceu diretrizes de políticas para gestores, serviços de resposta a emergências e desastres, planejadores urbanos e de infraestrutura, hidrólogos e cientistas climáticos.
Zacharias et al. (2021)	Município de São João del-Rei/MG	O modelo espacial apresentou áreas de muito alta suscetibilidade à inundação em alguns locais onde houve a ampliação da quantidade de construções urbanas.
Braga et al. (2020)	Município de Limoeiro/PE	O AHP aliado ao SIG possibilitou a obtenção de informações relevantes para o processo para identificar as áreas de risco de inundação do município.

Quadro 4 – Estudos que aplicaram o AHP aliado ao SIG no mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações.

(continuação)

<b>Autor(es)</b>	<b>Região do estudo</b>	<b>Aprendizado</b>
Dalanhol (2020)	Município de Pato Branco/PR	O mapeamento realizado foi validado e pode auxiliar o município no planejamento urbano e na tomada de decisão em relação a escolha de medidas mitigatórias.
Leal et al. (2020)	Bacia hidrográfica do rio Una/PE	O mapeamento elaborado poderá servir de instrumento para eleger áreas prioritárias de investimentos, bem como direcionar ações e programas de governo de planejamento e gestão ambiental, assim como a implementação de políticas públicas no combate aos fatores naturais e antrópicos que ocasionam a inundação nas bacias hidrográficas.
Oliveira (2020)	Município de Serra/ES	Foram determinadas as áreas suscetíveis à inundação do município de Serra, podendo este instrumento funcionar como subsídio para pesquisas, análises e planejamentos.
Sami et al. (2020)	Bacia hidrográfica de Batna (Leste da Argélia)	O estudo mostrou que várias áreas da região estudada estão extremamente vulnerável ao risco de inundação, exigindo a implementação de ações prioritárias para enfrentar esse risco.
Cabrera e Lee (2019)	Davao Oriental (Província das Filipinas)	O mapeamento quanto ao risco de inundações mostrou que a província de Davao Oriental está moderadamente exposta, requerendo atenção imediata dos tomadores de decisão para desenvolver estratégias para a ocorrência futura de inundações.
Campioli e Vieira (2019)	Bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte/SC	Os autores exaltaram a importância do SIG na integração de estimadores sociais e biofísicos para a geração de mapas de suscetibilidade, vulnerabilidade e risco.
Costa (2019)	Município de Pimenta Bueno/RO	O estudo elucidou a importância das geotecnologias e da análise multicritério nas análises ambientais complexas, principalmente em áreas que possuem falta de informações disponibilizadas por instituições governamentais.
Mantis e Vaz (2019)	Município de Guarujá/SP	O mapeamento das áreas suscetíveis a alagamentos e inundações permitiu a obtenção de um resultado de caráter visual e de melhor compreensão da situação enfrentada pelo município estudado, além de confirmar a praticidade da metodologia escolhida.
Rodrigues (2019)	Bacia hidrográfica do rio Tucunduba/PA	A união do SIG e o AHP permitiu o julgamento das variáveis de modo imparcial e minimizou os erros durante o processo.
Rudniak et al. (2019)	Município de Irati/PR	O mapeamento elaborado no estudo poderá contribuir para o planejamento urbano de Irati, na forma de uma medida não-estrutural, no que diz respeito ao zoneamento das classes qualificadoras de suscetibilidade.

Quadro 4 – Estudos que aplicaram o AHP aliado ao SIG no mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações.

(conclusão)

<b>Autor(es)</b>	<b>Região do estudo</b>	<b>Aprendizado</b>
Vojtek e Vojteková (2019)	Eslováquia	O mapa de suscetibilidade de inundação foi comparado com os pontos históricos de inundação, mostrando uma concordância muito boa entre as zonas de suscetibilidade e eventos históricos de inundação, dos quais 70,9% coincidiram com níveis de suscetibilidade alto ou muito alto, confirmando assim a eficácia da metodologia adotada.
Abidine e Abdelmansour (2018)	Oran (Distrito da Argélia)	O mapa de suscetibilidade à inundações, utilizando AHP, mostrou-se eficaz, servindo como ferramenta de ordenamento do território para identificar áreas potenciais do risco hídrico, em caso de inundação devastadora.
Luu e Von Meding (2018)	Quang Nam (Província do Vietnã)	O estudo apresentou uma abordagem para mapeamento de avaliação de risco de inundação local, por meio do AHP. O mapa de risco de inundação confeccionado pode ajudar e capacitar os tomadores de decisão na realização de atividades de gestão de risco de inundação na província.
Ramos (2018)	Município de Nova Lima/MG	A análise das manchas de inundação, com base no AHP mostrou-se eficaz, de fácil execução, com implementação simples e baixo custo financeiro.
Seejata et al. (2018)	Sukhothai (Província da Tailândia)	O mapeamento das áreas de inundação produzido pelo AHP revelaram que os distritos que apresentam maiores riscos são os mesmos observados por imagens de satélite de sensores ativos.
Caprario (2017)	Distrito do Campeche (Florianópolis/SC)	O mapeamento desenvolvido apresentou um grau de acerto na ordem de 80% quando comparado com o mapa de pontos inventariados, valor considerado representativo.
Danumah et al. (2016)	Abidjã (Cidade da Costa do Marfim)	O AHP permitiu a integração de vários elementos para avaliação e mapeamento de risco de inundação. Os resultados revelaram que o distrito de Abidjan está fortemente exposto ao risco de inundações, o que exige que os tomadores de decisão desenvolvam efetivamente estratégias para futuras ocorrências de inundações na região do estudo.
Rahmati et al. (2016)	Yasuj (Cidade do Irã)	Os resultados mostraram que a técnica AHP é promissora para fazer previsões precisas e confiáveis para a extensão das inundações, sendo sugeridas para avaliação do potencial de risco de inundação, especificamente em regiões sem dados.
Samanta et al. (2016)	Baixo curso do rio Markham (Província de Morobe, Papua Nova Guiné)	A validação do mapa de risco de inundação foi realizada usando registros de inundações anteriores na área de estudo. O resultado encontrado sugere que o AHP, dentro de técnicas de GIS, é muito útil na análise e mapeamento de risco de inundação, preciso e confiável.

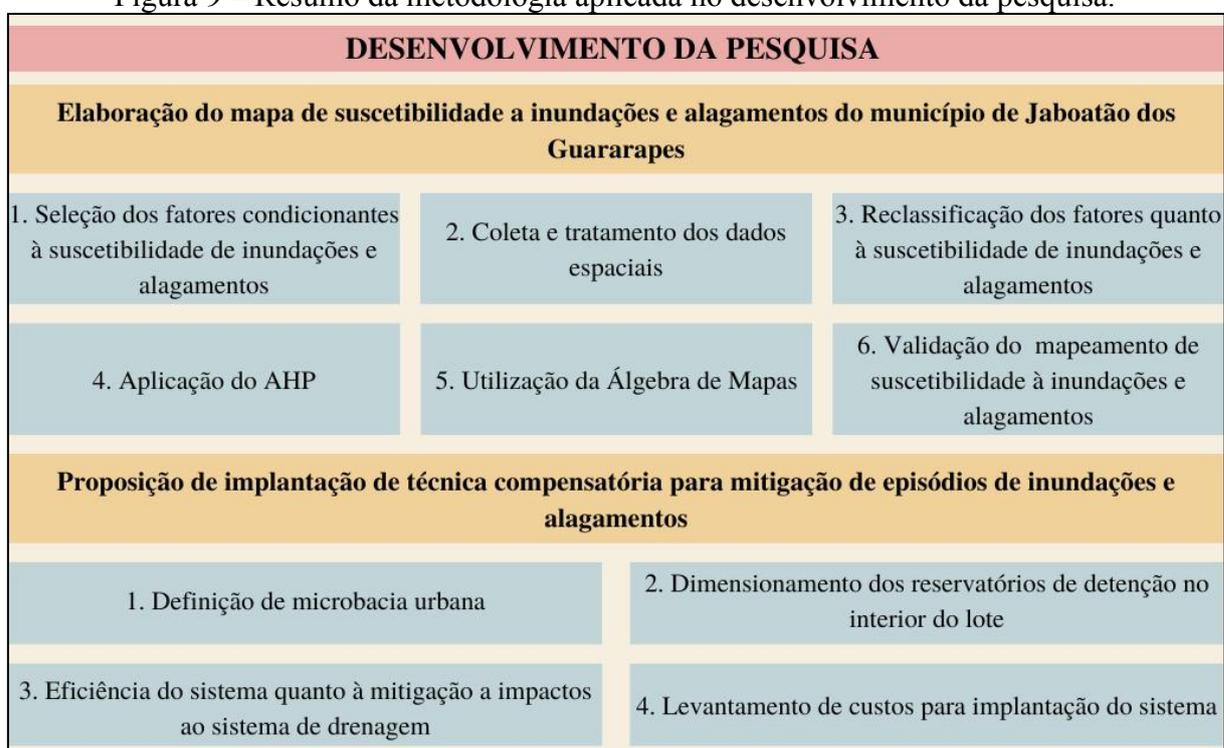
Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de revisão de literatura.

Os estudos apresentados no quadro anterior mostraram que, tanto em nível nacional quanto internacional, técnicas de SIG aliadas ao AHP aplicadas ao mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações se constituem como uma ferramenta eficaz, com implementação simples e baixo custo financeiro, possibilitando o auxílio no planejamento urbano e na tomada de decisão em relação a escolha de medidas mitigatórias aos eventos extremos de natureza hidrológica.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste estudo pode ser verificada na Figura 9. Inicialmente, foi elaborado o mapa de suscetibilidade à inundações e alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes a partir dos fatores condicionantes à esses tipos de desastres, os quais foram selecionados a partir da reincidência em estudos semelhantes. Através da definição das áreas mais propensas à inundações e alagamentos, foi sugerida a implantação de reservatórios de detenção no interior do lote como técnica compensatória para mitigação desses desastres.

Figura 9 – Resumo da metodologia aplicada no desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 3.1 Elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações e alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes

##### 3.1.1 Seleção dos fatores condicionantes à suscetibilidade de inundações e alagamentos

Com o propósito de elaborar o mapa de suscetibilidade a inundações e alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes, inicialmente foi realizada a seleção dos fatores

condicionantes a esses tipos de desastres hidrológicos por meio de uma análise em estudos semelhantes, em níveis nacional e internacional, sendo esta seleção sintetizada no Quadro 5.

Quadro 5 – Fatores utilizados em estudos semelhantes sobre mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações.

Autor (es)	Fatores											
	Declividade	Hipsometria	Uso e Ocupação do solo	Pedologia (Tipo de Solo)	Distância de corpos hídricos	Índices de Precipitação	Geologia	Densidade de Drenagem	Hierarquia Fluvial	NDVI	Densidade Urbana	Curve Number (CN)
Amaya et al. (2021)	X	X	X			X	X	X				
Cai et al. (2021)	X	X			X				X			
Costa (2021)	X	X	X	X								
Goulart e Matsuoka (2021)	X		X	X						X	X	
Karymbalis et al. (2021)	X	X	X		X		X					
Olii et al. (2021)	X	X	X	X	X	X						
Oliveira et al. (2021)	X	X	X									
Palácio et al. (2021)	X	X	X	X					X			X
Waqas et al. (2021)	X	X	X	X	X	X	X	X				
Zacharias et al. (2021)	X	X	X		X							
Braga et al. (2020)	X	X	X	X								
Dalanhol (2020)	X	X	X			X						
Leal et al. (2020)	X	X	X	X								
Oliveira (2020)	X	X	X									
Sami et al. (2020)	X		X			X		X		X		
Cabrera e Lee (2019)	X	X		X	X	X		X				
Campioli e Vieira (2019)	X	X	X	X			X					
Costa (2019)	X	X	X		X							
Mantis e Vaz (2019)	X	X	X	X								
Rodrigues (2019)	X	X	X	X		X						
Rudniak et al. (2019)	X	X			X						X	
Vojtek e Vojteková (2019)	X	X			X		X	X	X			X
Abidine e Abdelmansour (2018)	X	X	X		X							
Luu e Von Meding (2018)			X		X						X	
Ramos (2018)	X	X	X	X	X	X	X					
Seejata et al. (2018)	X	X	X	X		X		X				
Caprario (2017)	X	X	X	X	X	X						
Danumah et al. (2016)	X		X	X	X	X		X			X	
Rahmati et al. (2016)	X	X	X		X							
Samanta et al. (2016)	X	X	X		X							

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de revisão de literatura.

Através do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), foram levantados 30 estudos que consideraram a aplicação do AHP aliado ao SIG no mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações, sendo uma metade representada por experiências nacionais e a outra, por internacionais. Nessa busca, foram utilizados os termos (*strings*) “*flooding*”, “*GIS*” e “*AHP*” e realizada uma restrição temporal para que fossem apresentados trabalhos compreendidos entre os anos de 2016 e 2021.

Nessa análise verificou-se que foram considerados 12 fatores distintos que contribuem na ocorrência de inundações e alagamentos, os quais puderam ser combinados pelos autores em função do objetivo do respectivo trabalho e do foco da aplicação. Dentre os fatores elencados, a declividade, a hipsometria, o uso e ocupação do solo, a distância entre os corpos hídricos, a pedologia e os índices de precipitação foram os mais recorrentes, sendo considerados por mais de 10 estudos. Também foi verificada uma significativa quantidade de trabalhos que avaliaram os fatores densidade de drenagem, geologia e densidade urbana, entretanto não foi constatada uma grande recorrência para a hierarquia fluvial, NDVI e o CN.

Assim, os fatores considerados para este trabalho foram a declividade, a hipsometria, o uso e ocupação do solo, a distância entre os corpos hídricos, a pedologia, os índices de precipitação e a densidade urbana por serem considerados fatores recorrentes. Os fatores da geologia e densidade de drenagem, apesar de terem uma significativa recorrência, não foram utilizados neste estudo por não ser possível a obtenção dos dados. Acerca da hierarquia fluvial, do NDVI e do CN, não foram utilizados por não apresentarem uma grande relevância na análise.

- Declividade: A declividade, ou inclinação do terreno, é considerada como um parâmetro bastante significativo quanto a suscetibilidade a inundações e alagamentos (ABIDINE e ABDELMANSOUR, 2018; CABRERA e LEE, 2019; RAHMATI et al, 2016). Esse parâmetro desempenha um papel importante na determinação do escoamento superficial, da velocidade, da infiltração e das áreas de estagnação das águas precipitadas e/ou fluviais (KARYMBALIS et al., 2021; OLII et al., 2021; RAHMATI et al, 2016). Regiões planas e levemente inclinadas são mais propensas a inundações e alagamentos do que as que apresentam uma inclinação mais íngreme (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019).

- Hipsometria: A hipsometria de uma região também configura um fator importante, determinando as áreas de acumulação da água (OLII et al., 2021). Devido à força da gravidade, a água se desloca dos locais mais altos para os mais baixos, causando inundações (AMAYA et al., 2021; CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; KARYMBALIS et al., 2021; WAQAS et al., 2021). Além disso, conforme Rahmati et al. (2016), este parâmetro tem um papel fundamental no controle do extravasamento do corpo hídrico e na profundidade da inundação.
  
- Uso e ocupação do solo: Vários processos hidrológicos como escoamento superficial, taxa de infiltração e evapotranspiração, bem como a inter-relação entre águas superficiais e subterrâneas são significativamente determinados pelo padrão de uso e ocupação do solo de uma região (KARYMBALIS et al., 2021). As regiões vegetadas apresentam baixo potencial de inundação devido à capacidade de reter a água por mais tempo e aumentar a infiltração, enquanto as áreas urbanas, que são em sua maioria constituídas por superfícies impermeáveis, e solos expostos tendem a aumentar o escoamento superficial e reduzir a taxa de infiltração (OLII et al., 2021; RAHMATI et al., 2016).
  
- Pedologia: O tipo de solo é um fator significativo na determinação das características de infiltração e escoamento superficial da água de uma área, conseqüentemente, intervindo na suscetibilidade a inundações e alagamentos (CABRERA e LEE, 2019; CAMPIOLI e VIEIRA, 2019). Isso significa que áreas compostas por solos argilosos, bem como os solos compactados superficialmente, produzem maior escoamento superficial, enquanto áreas de solos arenosos são propícias à infiltração e percolação (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; WAQAS et al., 2021).
  
- Distância entre corpos hídricos: Eventos extremos de precipitação, muitas vezes, causam um rápido aumento do nível do corpo hídrico, levando a um transbordamento da água e conseqüentes inundações das áreas ribeirinhas (KARYMBALIS et al., 2021). Assim, as áreas mais afetadas durante as inundações são aquelas próximas aos corpos hídricos (ABIDINE e ABDELMANSOUR, 2018; RAHMATI et al., 2016; WAQAS et al., 2021).
  
- Índices de precipitação: Segundo Rincón et al. (2018), a precipitação é a principal causa das cheias dos rios, uma vez que eventos extremos acarretam inundações quando os canais não têm mais a capacidade de transportar a água em excesso. Além disso, uma maior intensidade de chuva pode resultar numa maior quantidade de escoamento, porque o solo não consegue

absorver rapidamente a água (CABRERA e LEE, 2019). Portanto, maiores índices de precipitação levam a maior suscetibilidade a inundações e alagamentos (AMAYA et al., 2021; WAQAS et al., 2021).

- Densidade urbana: De acordo com Rudniak et al. (2019), áreas com maiores níveis de urbanização, conseqüentemente mais impermeabilizadas, tendem a acumular mais água na superfície, aumentando a suscetibilidade a inundações e alagamentos. Essas considerações fazem da densidade urbana um fator importante na identificação das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos (DANUMAH et al., 2016; GOULART e MATSUOKA, 2021; LUU e VON MEDING, 2018).

### 3.1.2 Coleta e tratamento dos dados espaciais

Os dados espaciais utilizados na elaboração dos mapas dos fatores condicionantes à suscetibilidade a inundações e alagamentos foram adquiridos junto a órgãos oficiais, de maneira presencial ou por meio de suas respectivas plataformas virtuais. Os mesmos foram manipulados no *software* QGIS (versão 3.10.9), em coordenadas UTM (Fuso 25 S) e no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

- Mapa de declividade: Produzido em formato matricial (*raster*), por meio de MDE, com resolução espacial de 30 metros, proveniente do programa PE3D. As declividades apresentadas no mapa foram expressas em porcentagem e agrupadas em seis classes, conforme classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Essa classificação pode ser conferida por meio do Quadro 6.

Quadro 6 – Classes temáticas de declividade propostas pela EMBRAPA.

<b>Classe de declividade</b>	<b>Limite percentual (%)</b>
Plano	0 - 3
Suave Ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 20
Forte Ondulado	20 - 45
Montanhoso	45 - 75
Escarpado	> 75

Fonte: EMBRAPA (1979).

- Mapa hipsométrico: Adquirido por meio de material de aula (CIRILO, 2021) oriundo do programa PE3D, na forma matricial (*raster*) e com uma resolução espacial de 30 metros. As cotas altimétricas, representadas em metro, apresentadas no mapa foram agrupadas em dez classes. Para isso, foi utilizada a função “Reclassificar por tabela” da caixa de ferramentas do QGIS (versão 3.10.9).

- Mapa de uso e ocupação do solo: Obtido pela plataforma virtual do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias). O arquivo foi oriundo da Coleção 6, no formato *raster* e com resolução espacial de 30 metros. As classes de uso e ocupação do solo utilizadas foram: área agrícola, área artificial, corpo hídrico, mangue, vegetação campestre e vegetação florestal.

- Mapa pedológico: Foi realizado o *download* da distribuição espacial dos solos do estado do Pernambuco através da plataforma virtual da EMPRAPA, no formato vetorial (*shapefile*) e na escala 1:100.000. Em seguida, foi efetuado o recorte nessa camada sob o polígono de delimitação do município de Jaboatão dos Guararapes.

- Mapa de distância entre os corpos hídricos: Os dados espaciais relativos à hidrografia foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal do Jaboatão dos Guararapes (PMJG) no formato vetorial. A partir dessa camada, foram gerados *buffer's*, obedecendo os afastamentos determinados na etapa de reclassificação desse parâmetro.

- Mapa de variabilidade espacial da precipitação: Foram utilizados dados mensais de chuva, provenientes de 15 estações pluviométricas e correspondentes ao período de 1º de janeiro de 2004 a 31 de dezembro de 2021, sendo as informações de quatro dessas estações disponíveis na plataforma da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e as demais, na do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como descreve o Quadro 7.

Diante dessa série histórica, foi verificado que algumas estações pluviométricas apresentavam dados completos, enquanto outras traziam lacunas. Para o complemento da ausência desses dados, foi adotado o método da ponderação regional. A partir do processamento dessas informações para obtenção, pelo método de Thiessen, da precipitação média anual de cada estação, foi utilizada a ferramenta “Interpolação IDW”, no QGIS (versão 3.10.9), para

elaborar o mapa da variabilidade espacial da precipitação do município de Jaboatão dos Guararapes.

Quadro 7 – Informações sobre as estações pluviométricas utilizadas neste trabalho.

Estação		Localização			Instituição
Código	Nome	Longitude (m) (25 S)	Latitude (m) (25 S)	Altitude (m)	
202	Jab. dos Guararapes	288.155,9125	9.097.110,9395	9,038	APAC
205	Moreno	268.562,2599	9.102.699,4434	109,987	APAC
268	Bar. Duas Unas	275.352,8671	9.104.946,5212	53,919	APAC
604	Cidade da Copa	280.955,3949	9.106.755,2092	52,536	APAC
260290205A	Pte. dos Carvalhos	281.999,5698	9.089.404,2046	2,751	Cemaden
260790101A	Muribeca	283.170,5801	9.097.816,9729	6,190	Cemaden
260790102A	Cavaleiro II	282.914,1187	9.105.227,1295	10,926	Cemaden
260790103A	Cavaleiro	282.807,0963	9.104.562,9038	55,121	Cemaden
260790104A	Prazeres	284.840,4864	9.094.395,9516	7,993	Cemaden
260790106A	Piedade	289.120,7640	9.098.177,4281	10,170	Cemaden
260790107A	Centro	277.965,4146	9.102.769,2411	43,974	Cemaden
260790108A	Curado IV	279.932,2479	9.106.318,7925	27,597	Cemaden
260790109A	Barra de Jangada	287.171,9198	9.090.867,5031	3,026	Cemaden
260790110A	Cajueiro Seco	287.585,1220	9.096.621,5067	8,966	Cemaden
261160615A	Ibura	284.584,7167	9.101.695,4437	78,618	Cemaden

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados oriundos da APAC (2022a) e Cemaden (2022).

- Mapa de densidade urbana: Disponibilizado pela PMJG, no formato vetorial.

### 3.1.3 Reclassificação dos fatores quanto à suscetibilidade a inundações e alagamentos

Para realização dessa etapa, os dados espaciais quanto aos fatores condicionantes a inundações e alagamentos foram reclassificados segundo um processo distinto de atribuição de notas para a aplicação do AHP. As notas atribuídas, oriundas de revisão bibliográfica, variaram numa escala entre 1 e 10, em que o valor 1 representa as áreas menos suscetíveis, ou seja, isentas à ocorrência de inundações e alagamentos e 10, as mais suscetíveis.

Para efetuar essa reclassificação, foi utilizada a ferramenta “Reclassificar por tabela” da caixa de ferramentas do QGIS (versão 3.10.9). Vale ressaltar que os dados espaciais na representação vetorial foram convertidos para a matricial para que fosse possível realizar a reclassificação. O Quadro 8 apresenta os critérios (classes ou distâncias) dos fatores reclassificados quanto às notas atribuídas às condições de suscetibilidade a inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes.

Quadro 8 – Reclassificação dos critérios dos fatores, conforme a suscetibilidade a inundações e alagamentos.

<b>Fatores</b>	<b>Classes / Distâncias</b>	<b>Notas</b>
Declividade (%)	0 - 3	10
	3 - 8	8
	8 - 20	4
	20 - 45	2
	45 - 75	1
	> 75	1
Hipsometria (m)	0 - 5	10
	5 - 10	9
	10 - 15	8
	15 - 20	7
	20 - 35	6
	35 - 50	5
	50 - 75	4
	75 - 100	3
	100 - 175	2
	175 - 250	1
Uso e ocupação do solo	Área artificial	10
	Corpo hídrico	10
	Mangue	9
	Área agrícola	7
	Vegetação campestre	3
	Vegetação florestal	1
Pedologia	Área Urbana	10
	Água	10
	Solos de mangue	9
	Gleissolos	7
	Argissolos	7
	Espodossolos	7
	Neossolos	4
Latossolos	1	
Corpos hídricos (m)	0 - 150	10
	150 - 300	8
	300 - 500	3
	500 - 1.000	2
	> 1.000	1
Precipitação média anual (mm)	1550 - 1600	1
	1600 - 1700	3
	1700 - 1800	5
	1800 - 1900	7
	1900 - 2000	9
	1900 - 2100	10
Densidade urbana	Ocupação urbana	10
	Demais áreas	1

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de revisão de literatura.

### 3.1.4 Aplicação do AHP

Para aplicação do AHP, inicialmente, é gerada uma escala de importância por meio de pesos atribuídos aos fatores avaliados, pois cada um deles possui relativa importância quanto à ocorrência de inundações e alagamentos. O procedimento de atribuição de pesos relativos foi realizado conforme os critérios de importância da Escala Fundamental de Números Absolutos proposta por Saaty (1977), onde cada fator foi comparado aos pares. Em seguida, os respectivos pesos foram estruturados numa Matriz de Comparação Pareada, como apresenta o Quadro 9.

Quadro 9 - Matriz de Comparação Pareada

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o preenchimento da Matriz de Comparação Pareada, foram obtidos os valores do auto-vetor e o vetor de pesos associados a essa matriz, como mostra o Quadro 10. Em que os resultados do auto-vetor são obtidos a partir da média geométrica dos valores estabelecidos em cada linha da matriz e cada elemento do vetor de pesos indica a importância relativa de cada parâmetro quando comparado aos demais.

Quadro 10 - Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada

Fator	fator 1	...	fator p	...	fator m	auto-vetor	Pesos
fator 1	1	...	$a_{1p}$	...	$a_{1m}$	$\bar{g}_1 = \sqrt[m]{a_{11} * \dots * a_{1p} * \dots * a_{1m}}$	$\omega_1 = \frac{\bar{g}_1}{S}$
...	...	...	...	...	...	...	...
fator p	$a_{p1}$	...	1	...	$a_{pm}$	$\bar{g}_p = \sqrt[m]{a_{p1} * \dots * a_{pp} * \dots * a_{pm}}$	$\omega_p = \frac{\bar{g}_p}{S}$
...	...	...	...	...	...	...	...
fator m	$a_{m1}$	...	$a_{mp}$	...	1	$\bar{g}_m = \sqrt[m]{a_{m1} * \dots * a_{mp} * \dots * a_{mm}}$	$\omega_m = \frac{\bar{g}_m}{S}$
Soma ( $\omega S$ )	$\sum_{p=1}^m a_{p1}$	...	$\sum_{p=1}^m a_{pp}$	...	$\sum_{p=1}^m a_{pm}$	$S = \sum_{p=1}^m \bar{g}_p$	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo em seguida, foi necessário realizar a verificação de consistências dos resultados obtidos, conforme critérios estabelecidos por Saaty (1977). Essa etapa é feita por meio do cálculo do IC e da RC, em que o IC avalia o grau de inconsistência da matriz de julgamentos paritários e a RC permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz de julgamentos. Para o cálculo do IC foi utilizada a Equação 1.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - m}{m - 1} \quad (1)$$

Onde  $m$  é o número de fatores utilizados na Matriz de Comparação Pareada e  $\lambda_{\text{máx}}$  é o Autovalor máximo, que é obtido conforme a Equação 2.

$$\lambda_{\text{máx}} = \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{p=1}^m \frac{\omega S_p}{\omega_p} \quad (2)$$

Onde  $\sum_{p=1}^m \frac{\omega S_p}{\omega_p}$  é o vetor coerência (C),  $\omega_p$  é o coeficiente de ponderação (peso) e  $\omega S_p$  é o vetor soma, ambos obtidos de acordo com o Quadro 11.

Por fim, para a realização do cálculo da RC (Equação 3) foi preciso usar o valor do Índice Randômico (IR), que varia com a quantidade “ $m$ ” de parâmetros estabelecidos na Matriz de Comparação Pareada. Saaty (1987) propõe uma tabela com os IR’s de matrizes de ordem 1 a 10, calculados em laboratório, conforme exibido na Tabela 1. Para este estudo, que foram utilizados 7 fatores, o valor do IR será de 1,32. A RC é obtida pela razão entre IC e o IR correspondente. Segundo Saaty (1987), caso a RC seja menor ou igual a 10% os julgamentos obtidos são consistentes.

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

Sendo: RC - Razão de Consistência; IC - Índice de Consistência; IR - Índice Randômico.

Tabela 1 - Índices Randômicos (IR).

<b>m</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>IR</b>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Extraído de Saaty (1987).

### 3.1.5 Utilização da álgebra de mapas

Para essa etapa foram realizadas operações aritméticas utilizando a “Calculadora Raster” do QGIS (versão 3.10.9), onde foram associados os fatores de suscetibilidade a inundações e alagamentos reclassificados e representados por dados matriciais com os pesos estabelecidos na etapa anterior. Como subsídio para essa etapa, foi utilizado o modelo apresentado pela Equação 4.

$$M = \omega_D * D + \omega_H * H + \omega_O * O + \omega_S * S + \omega_A * A + \omega_P * P + \omega_U * U \quad (4)$$

Onde M representa o mapa de suscetibilidade a inundações e alagamentos, D é a declividade, H é a hipsometria, O é o uso e ocupação do solo, S é a pedologia, A é a distância dos corpos hídricos, P é a variabilidade espacial da precipitação e U é a densidade urbana e  $\omega$  é o peso do respectivo fator (obtido pelo AHP).

Por fim, o arquivo gerado a partir da álgebra de mapas foi reclassificado de modo que os *pixels* que detinham valores compreendidos entre zero e dois, dois e quatro, quatro e seis, seis e oito e oito e dez representavam, respectivamente, as áreas de suscetibilidade à ocorrência de inundações e alagamentos consideradas como muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

### 3.1.6 Validação do mapeamento de suscetibilidade a inundações e alagamentos

A fim de verificar a eficiência do AHP, o mapa de suscetibilidade à inundações e alagamentos foi validado a partir das seguintes comparações: com registros de ocorrências de inundações e alagamentos, comunicados à Superintendência de Defesa Civil de Jabotão dos Guararapes durante os meses de maio de junho de 2022; com mapeamento de suscetibilidade à inundações para o município de Jabotão dos Guararapes, elaborado a partir do *Height Above Nearest Drainage model* (modelo HAND); e com registros fotográficos desses desastres hidrológicos ocorridos na região estudada, levantados por meio de visitas *in loco* e a partir de informações adquiridas junto à redes sociais, *sites* de notícias e a Superintendência de Defesa Civil.

As ocorrências de inundações e alagamentos comunicadas à Superintendência de Defesa Civil de Jabotão dos Guararapes durante os meses de maio de junho de 2022 foram adquiridas por

meio da PMJG, a partir de um arquivo vetorial, no formato *shapefile*, do tipo ponto. Foram constatados 326 pontos, em que cada um correspondia a uma ocorrência de inundação ou alagamento no município de Jaboaão dos Guararapes. Vale salientar que a produção desse arquivo vetorial só foi possível através do processo de geocodificação das ocorrências. O período supracitado foi escolhido para realizar esta comparação por compreender um dos maiores eventos críticos ocorridos no município de Jaboaão dos Guararapes.

Para a realização desse tipo de validação, inicialmente, no ambiente do QGIS (versão 3.10.9), os pontos das ocorrências foram sobrepostos no mapeamento de suscetibilidade de inundações e alagamentos, produzido pelo AHP. Em seguida, o *plugin* AcATaMa foi utilizado para que fosse possível verificar em qual tipo de classe de suscetibilidade o ponto se encontrava. Caso, o ponto coincidissem de estar localizado numa região de alta ou muito alta suscetibilidade à inundação e alagamento, seria considerado um acerto, mas se o ponto não se encontrasse em alguma região dessas classes, seria identificada uma inconsistência no mapeamento. Ao fim dessas conferências, foi gerada uma Matriz de Confusão, a qual verificou o grau de exatidão (acurácia) do AHP.

Também foi realizada uma comparação entre o mapeamento gerado pelo AHP e outro um mapeamento de suscetibilidade à inundações gerado pelo modelo HAND. Conforme Martins e Ribas (2021), o modelo HAND é um modelo hidrológico que representa um terreno suscetível à inundação de acordo com a distância vertical e horizontal do canal de drenagem mais próximo. Goerl et al. (2017) afirmam que quanto mais próximo de um canal um local estiver, bem como quanto menor a variação altimétrica entre o canal e este local, maior será a suscetibilidade do mesmo às inundações. O referido modelo, bem como as suas bases físicas e hidrológicas, foi introduzido por Renno et al. (2008) e Nobre et al. (2011).

De acordo com Melo (2021), a obtenção do HAND está diretamente relacionada à execução de técnicas de geoprocessamento sobre o MDT seguindo aspectos matemáticos e hidrológicos. O HAND é consolidado, inicialmente, através de correções sobre o MDT, as quais são responsáveis por remover incoerências dos *pixels* na matriz topográfica, determinando, consequentemente, as direções de escoamento e delimitando o canal de drenagem (MELO, 2021). Após a obtenção dos produtos processados nessa etapa, as alturas HAND são determinadas (GOERL et al., 2017). Dessa forma, o MDT é reclassificado a partir da

diferença entre a cota do canal mais próximo e as cotas da planície de inundação e/ou das encostas adjacentes a este canal.

Para avaliar o desempenho do AHP em função do modelo HAND, na previsão da extensão de áreas inundadas, foram consideradas as áreas de acerto, de omissão e de comissão, bem como a acurácia geral. As áreas de acerto foram classificadas como as áreas de alta a muita alta suscetibilidade à inundações e alagamentos simultaneamente pelo AHP e pelo modelo HAND. O acerto foi obtido pela interseção entre os mapas ( $HAND \cap AHP$ ). As áreas de omissão foram aquelas verificadas como inundáveis pelo modelo HAND, entretanto o AHP não as classificaram como áreas propensas à inundações ou alagamentos. A omissão foi obtida pelo modelo matemático representado pela Equação 5.

$$(HAND - HAND \cap AHP) \quad (5)$$

As áreas de comissão se estabeleceram como as que não foram observadas como áreas de inundação no modelo HAND, mas que foram classificadas pelo AHP como sendo áreas inundáveis. A comissão foi obtida pela Equação 6. Por fim, foi determinada a acurácia geral, a qual representa a relação entre a área de acerto e a área de inundação considerada pelo modelo HAND. Este parâmetro, conforme Momo et al. (2016), tem valor zero quando não há sobreposição e 100 quando as áreas coincidem perfeitamente. A acurácia geral é expressa pelo modelo representado pela Equação 7.

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

$$\text{Acurácia geral} = \frac{HAND \cap AHP}{HAND} \times 100 \quad (7)$$

Nas Equações 5, 6 e 7 “HAND” representa o mapeamento de suscetibilidade à inundações elaborado pelo modelo HAND e “AHP” representa o mapeamento de suscetibilidade à inundações e alagamentos elaborado pelo AHP.

Por fim, o terceiro tipo de comparação foi realizado por meio de um levantamento de registros fotográficos de episódios de alagamentos e inundações no município de Jaboaão dos Guararapes por meio de redes sociais, *sites* de notícias, da Superintendência de Defesa Civil e

visitas *in loco*. Ao todo, foram elencados 34 registros, compreendidos entre os anos de 2013 e 2022, os quais foram georreferenciados e verificados se estão situados em locais de alta a muito alta suscetibilidade à inundações ou alagamentos, conforme o AHP.

### **3.2 Proposição de implantação de técnica compensatória para mitigação de episódios de inundações e alagamentos**

Após a identificação das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos, cabe avaliar a implantação de técnicas compensatórias que visem mitigar os impactos que esses tipos de desastres venham causar no município de Jaboatão dos Guararapes. Para isso, foram analisadas soluções que objetivam reduzir o pico de vazão e o volume total de escoamento. Assim, considerando os Artigos 60 e 61 da Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo (LUOS) (Lei nº 972/2013) e os Artigos de 180 a 182 do Código de Obras (Lei nº 973/2013) do município de Jaboatão dos Guararapes (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2013a, 2013b), foi definido para este trabalho, como técnica para atenuação dos impactos gerados por inundações e alagamentos, o reservatório de retenção no interior do lote.

Esse sistema tem como objetivo armazenar a água precipitada por um determinado período após o fim da chuva, devolvendo-a ao sistema de microdrenagem, reduzindo dessa maneira os picos de vazão e os problemas de inundação ou alagamento localizados. Conforme abrange a LUOS, será exigido esse tipo de sistema no município de Jaboatão dos Guararapes em empreendimentos multifamiliares e não habitacionais com área de terreno igual ou superior a 1.000,00m<sup>2</sup> e com área impermeabilizada maior que 500m<sup>2</sup> situados nas Zonas de Adensamento Construtivo Alto (ZAA), de Adensamento Construtivo Médio (ZAM) e de Adensamento Construtivo Baixo (ZAB), bem como em todos os empreendimentos com área impermeabilizada superior a 500m<sup>2</sup> situados nas Zonas de Interesse Produtivo (ZIP), de Adensamento Restrito (ZAR), de Expansão Urbana (ZEU) e de Processamento de Exportação (ZPE).

Acerca da destinação da água precipitada, além da possibilidade de ser devolvida à rede pública de drenagem após uma hora do fim do evento de precipitação, o Código de Obras do município de Jaboatão dos Guararapes permite que a mesma seja infiltrada no solo ou conduzida a outro reservatório a fim de ser utilizada para finalidades não potáveis. Essas alternativas para destinação da água precipitada objetivam, respectivamente, a recarga dos

lençóis freáticos e o uso doméstico em atividades que não requerem muita exigência nos padrões de qualidade, tais como rega de plantas, abastecimento de caixas de descargas, lavagem de pisos, entre outras, visando reduzir o consumo de água tratada, minimizando o problema da crise hídrica.

### ***3.2.1 Definição de microbacia urbana***

A partir da identificação das regiões de elevadas suscetibilidade a inundações e alagamentos no município de Jaboaão dos Guararapes, foi definida uma microbacia numa área de adensamento urbano para implantação da técnica compensatória do reservatório de detenção no interior do lote para mitigação desse tipo de desastre. Essa bacia foi delimitada no QGIS (versão 3.10.9) por meio do MDT da região. Esses dados de elevação foram disponibilizados pela PMJG numa resolução espacial de 0,10m, os quais foram produzidos a partir de levantamento a laser aerotransportado (LiDAR).

O referido serviço engenharia, ou seja, o levantamento a laser aerotransportado foi contratado e fiscalizado pela PMJG e realizado pela empresa Engefoto Engenharia e Aerolevantamentos S. A. no ano de 2016 com o objetivo de elaborar uma base cartográfica e atualizar as informações imobiliárias cadastrais do município de Jaboaão dos Guararapes. Além desse serviço, foram realizadas cobertura aerofotogramétrica, restituição estereofotogramétrica e estruturação de cadastro imobiliário (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2016).

Através da utilização da função *r.watershed* foram definidas as direções de fluxo e de declividade da região e, em seguida, por meio da função *r.water.outlet* e a partir do exutório, foi determinada a microbacia. Como camada da bacia foi gerada em um arquivo *raster*, foi necessário realizar a sua conversão para um arquivo no formato vetorial do tipo polígono, para que fosse possível a extração de valores geométricos, como a área. Essa conversão foi realizada por meio da função *r.to.vect*. Após essa etapa, a área da microbacia foi calculada de forma automatizada, com auxílio da calculadora de campo, disponibilizada pela tabela de atributos da camada.

### ***3.2.2 Dimensionamento dos reservatórios de retenção no interior do lote***

Após a definição da microbacia, foram identificados os lotes e as edificações localizadas no interior da mesma. Para o dimensionamento do reservatório de retenção de cada lote contido nessa bacia foi utilizado o método apresentado no Art. 181 do Código de Obras do município de Jaboatão dos Guararapes (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2013b). Nesse método, retratado pela Equação 8, são considerados o coeficiente de abatimento, correspondente a 0,15, a área impermeabilizada e o índice pluviométrico correspondente a 0,06.

$$V = K \times A_i \times IP \quad (8)$$

Onde  $V$  é o volume de água no reservatório, em metros cúbicos,  $K$  é o coeficiente de abatimento,  $A_i$  é a área impermeabilizada, em metros quadrados, e  $IP$  é o índice pluviométrico, em metros.

Para este trabalho, as áreas impermeabilizadas foram definidas como as coberturas e os pisos externos das edificações localizadas na microbacia, em que as áreas puderam ser precisamente determinadas, em plataforma SIG, a partir de restituição estereofotogramétrica que foi disponibilizada pela PMJG. Para captação das águas precipitadas, foram realizados a identificação da direção dos panos das coberturas e o dimensionamento dos elementos condutores das águas pluviais ao reservatório a partir da interpretação de ortoimagens de alta resolução, na escala de 1:1.000, também disponibilizadas pela PMJG.

A finalidade dos reservatórios considerados nesse trabalho será a de ser despejada na rede pública de drenagem após uma hora do evento de precipitação para que o sistema não fosse onerado. Caso fosse considerada a finalidade do aproveitamento da água precipitada para usos não potáveis, deveria ser dimensionado um reservatório complementar para armazenamento da água para esse objetivo. Vale salientar que para a realização do dimensionamento desse reservatório pode ser considerada a NBR 15.527/2019, que dispõe do aproveitamento de água de chuvas de coberturas para fins não potáveis e apresenta um método de cálculo para o dimensionamento do volume disponível anual que depende da precipitação, da área de captação, do coeficiente de escoamento superficial da cobertura e da eficiência do sistema de tratamento.

### 3.2.3 Eficiência do sistema quanto à mitigação a impactos ao sistema de drenagem

Conforme Teston (2015), o volume de chuva escoado representa todo o volume de água proveniente do escoamento superficial de pisos, calçadas, ruas internas e áreas permeáveis. Ainda de acordo com a autora, esse é o volume de chuva que a NBR 15.527/2007 sugere que não seja aproveitado, pois é carregado de poluição difusa e necessitaria de maior tratamento para obter a qualidade de água necessária para as demandas especificadas. Esse volume é obtido por meio da Equação 9.

$$V_e = P_{ef} \times A_c \quad (9)$$

Onde  $V_e$  é o volume escoado, em metros cúbicos,  $P_{ef}$  é a precipitação efetiva, no instante  $t$ , dada em milímetros, e  $A_c$  é a área da microbacia, em metros quadrados. A precipitação efetiva é calculada utilizando o método SCS (*Soil Conservation Service*) (Equação 10). Esse modelo tem como principal parâmetro o CN (*Curve Number*), que é o valor de deflúvio e depende da classificação hidrológica do solo, das condições antecedentes de umidade e da cobertura do solo.

$$P_{ef} = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S}, \text{ se } P > 0,2S \quad (10)$$

Onde  $P$  representa a precipitação total acumulada no instante  $t$ , em milímetros, e  $S$  representa a retenção potencial do solo, isto é, a sua capacidade de armazenar água, que é determinado pelo modelo expresso na Equação 11. Para este estudo, o parâmetro  $S$  foi designado a partir do *plugin* “CalcularS”, localizado no QGIS (versão 2.18.0), o qual considera a pedologia e as condições de uso e ocupação do solo da região.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (11)$$

A precipitação total acumulada foi determinada por meio do produto entre a intensidade de precipitação e o tempo de duração do evento (Equação 12). Para definição dessa intensidade, foi utilizada a equação de intensidade – duração – frequência (IDF) para o município de Jabotão dos Guararapes, apresentada pela Equação 13, determinada pelo Atlas Pluviométrico

do Brasil (CPRM, 2014), a qual foi baseada em dados históricos relativos ao período compreendido entre 1968 e 2007, totalizando 40 anos.

$$P = \frac{i \times t}{60} \quad (12)$$

$$i = \frac{1423,97 \times Tr^{0,1124}}{(t+21)^{0,7721}} \quad (13)$$

Onde P é a precipitação total acumulada, em milímetros, i é a intensidade de precipitação, em milímetros por hora, Tr é o tempo de retorno, em anos, e t é a duração do evento, em minutos. Por se tratar de uma microdrenagem e de uma zona de uso predominantemente residencial, foi considerado um tempo de retorno de cinco anos e uma duração de chuva de 15 minutos, valores estes adotados em obras de microdrenagem (MELO et al., 2014).

Por meio do cálculo do volume de chuva escoado, foi possível determinar a quantidade de água de chuva que é gerado na bacia durante o evento de precipitação. Para determinar a eficiência do sistema, esse volume escoado foi subtraído do volume de água de chuva que é retido pelos reservatórios. Assim, foi possível determinar a redução do impacto ao sistema de drenagem do local estudado.

#### ***3.2.4 Levantamento de custos da implantação do sistema***

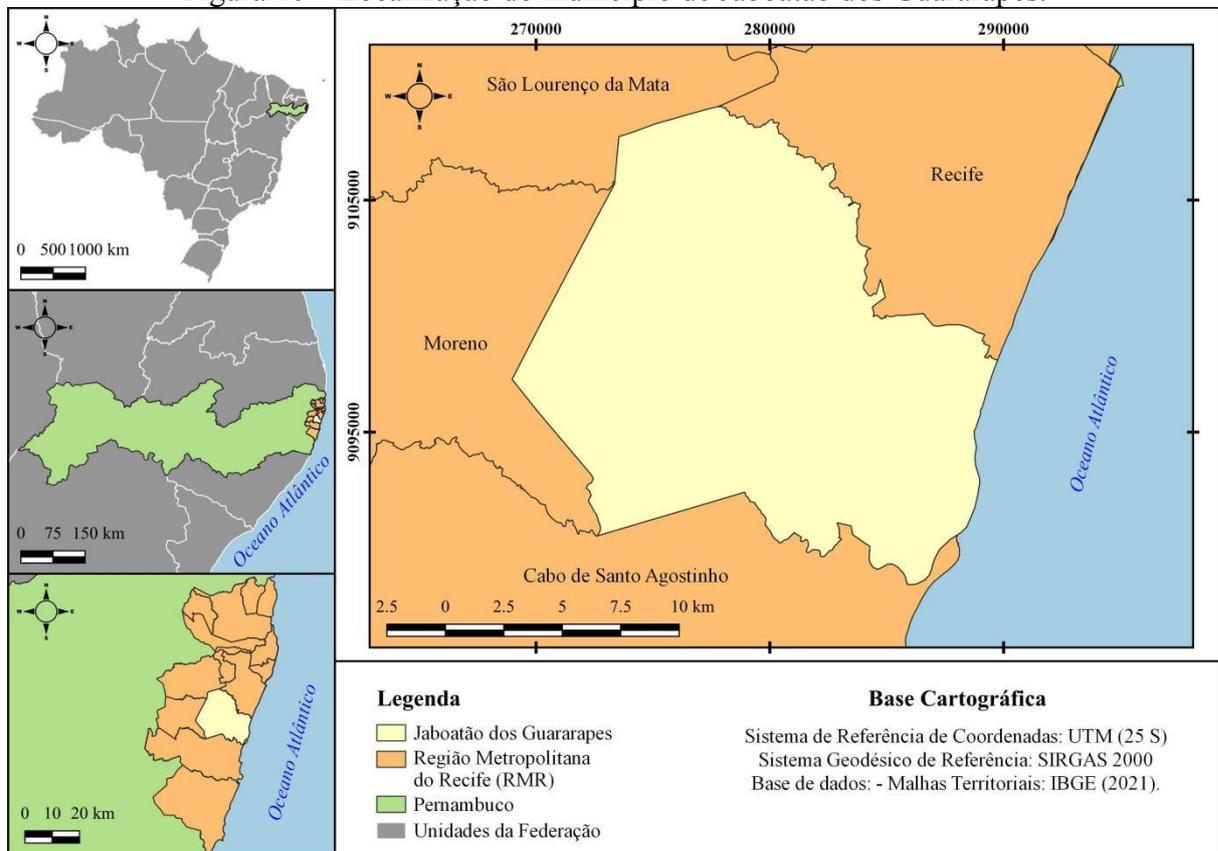
Considerando a implantação do sistema de reservatórios de detenção no lote na região de estudo, foram realizadas as quantificações dos custos dos materiais e mão de obra necessários. Para isso, foi utilizada a tabela de preços de insumos do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) para o Estado de Pernambuco, cujo mês de referência foi agosto de 2022.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

### 4.1 Localização do município de Jaboatão dos Guararapes

O município de Jaboatão dos Guararapes está situado na região litorânea do estado de Pernambuco e faz parte da Região Metropolitana do Recife (RMR), estando definido entre as coordenadas UTM 289.903,952mE e 267.017,111mE, e 9.110.053,672mN e 9.088.338,009mN, como mostra a Figura 10. Limita-se com Recife ao norte, Moreno a oeste, São Lourenço da Mata a noroeste, Cabo de Santo Agostinho ao sul e com o Oceano Atlântico a leste, ocupando uma área de, aproximadamente, 257,00 km<sup>2</sup> conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022). O município comporta uma população estimada de 711.330 habitantes, resultando numa densidade demográfica de 2.750 hab/km<sup>2</sup>. Está a 16,10 km da capital pernambucana, Recife, e suas principais vias de acesso são as rodovias BR-101, BR-232, BR-408, PE-007 e PE-008.

Figura 10 – Localização do município de Jaboatão dos Guararapes.



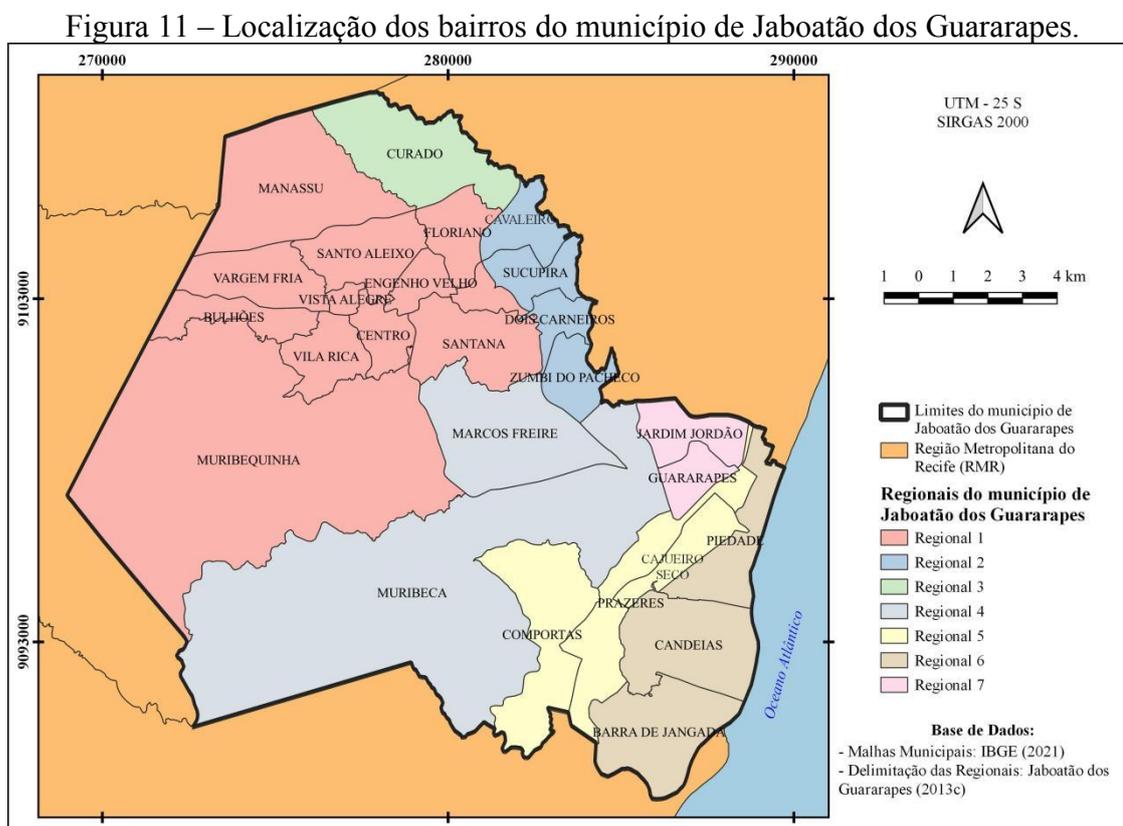
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à administração municipal, o Plano Plurianual do município (Lei nº 974/2013) divide Jaboatão dos Guararapes em sete regiões político-administrativa, sendo denominadas como: Regional 1 - Jaboatão Centro; Regional 2 - Cavaleiro; Regional 3 - Curado; Regional 4 - Muribeca; Regional 5 - Prazeres; Regional 6 - Praias; Regional 7 - Guararapes (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2013c). No Quadro 11 e na Figura 11 é possível observar a relação dos bairros inseridos em cada região político-administrativa do município e a localização dos mesmos, respectivamente.

Quadro 11 – Regiões político-administrativas do município de Jaboatão dos Guararapes e seus respectivos bairros.

Regionais	Bairros			
1 - Jaboatão Centro	Bulhões Manassu Socorro	Centro Muribequinha Vargem Fria	Engenho Velho Santana Vila Rica	Floriano Santo Aleixo Vista Alegre
2 - Cavaleiro	Cavaleiro	Dois Carneiros	Sucupira	Zumbi do Pacheco
3 - Curado	Curado			
4 - Muribeca	Marcos Freire	Muribeca		
5 - Prazeres	Cajueiro Seco	Comportas	Prazeres	
6 - Praias	Barra de Jangada	Candeias	Piedade	
7 - Guararapes	Guararapes	Jardim Jordão		

Fonte: Jaboatão dos Guararapes (2013c).



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de Jaboatão dos Guararapes (2013c).

## 4.2 O processo de urbanização do município de Jaboatão dos Guararapes

A ocupação do município data desde a época colonial, onde o mesmo teve suas terras cultivadas pela cana de açúcar, importante para a economia da então Colônia (NOGUEIRA, 2015). Jaboatão nasceu com o engenho São João Batista e tem como data simbólica de fundação 4 de maio de 1593. Segundo Nogueira (2015), nesta data foi lavrada e assinada a escritura de compra do engenho por Bento Luiz Figuerôa, que, junto aos usufrutuários de suas terras, continuaram durante os três séculos seguintes aforando as mesmas, possibilitando cada vez mais o crescimento e o desenvolvimento da cidade.

De acordo com a LUOS, a divisão territorial do município de Jaboatão dos Guararapes é determinada pelas Macrozonas Rural e Urbana, onde esta corresponde à porção urbanizada do território que dispõe de infraestrutura, equipamentos públicos e serviços urbanos e aquela à porção do município com características rurais e onde também incide fortemente as restrições ambientais, cabendo predominantemente à prática de atividades do setor primário e turismo rural e ecológico (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2013a).

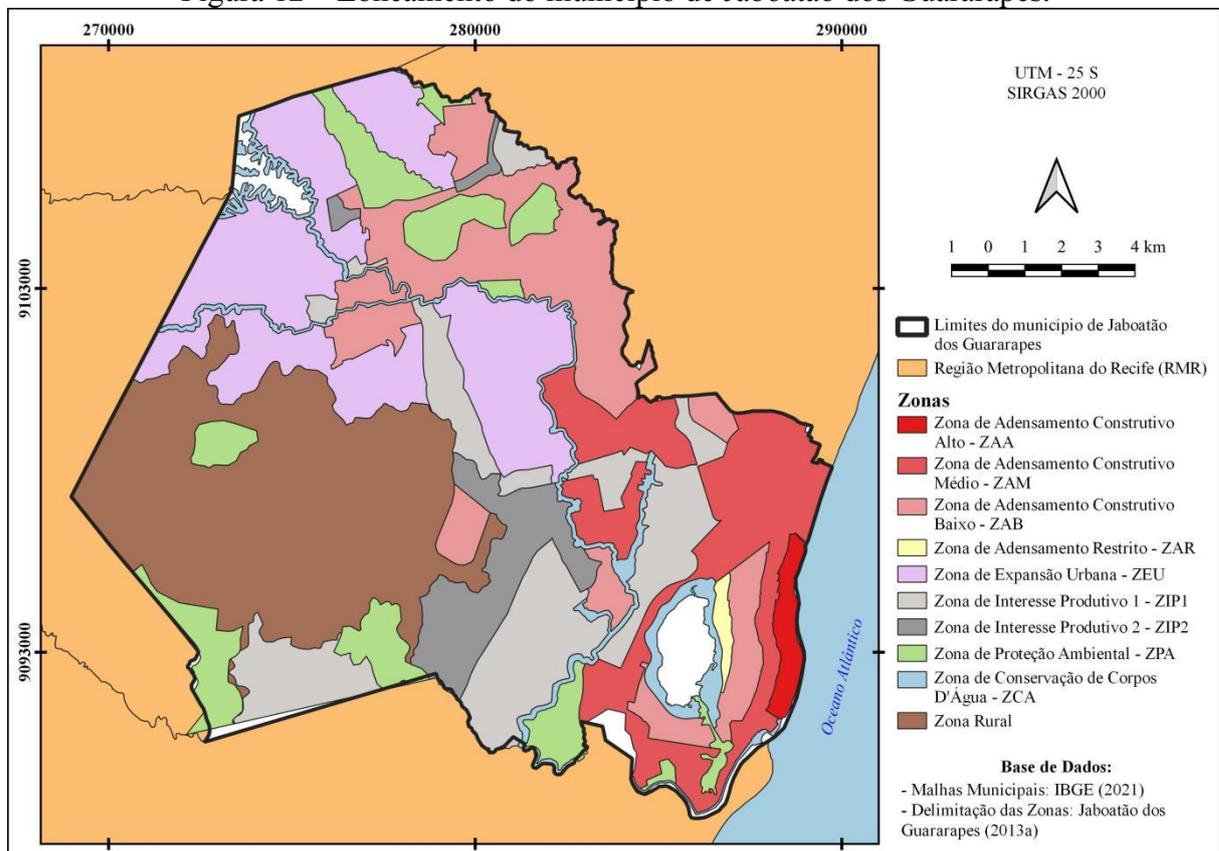
Especificamente, em relação à Macrozona Urbana, a referida lei a divide em seis zonas, que recebem as seguintes denominações: Zona de Adensamento Construtivo Alto (ZAA), Zona de Adensamento Construtivo Médio (ZAM), Zona de Adensamento Construtivo Baixo (ZAB), Zona de Adensamento Restrito (ZAR), Zona de Expansão Urbana (ZEU) e Zona de Interesse Produtivo 1 e 2 (ZIP1 e ZIP2). Essas zonas possuem as seguintes características:

- ZAA: caracterizada pelo seu potencial construtivo de média e alta densidade, sobretudo na faixa litorânea do município. Atua como fator de incremento ao desenvolvimento das atividades turísticas e habitacionais.
- ZAM: caracteriza-se por apresentar ocupação de baixa densidade dispondo de lotes com capacidade de ocupação mais verticalizada, tem a finalidade de compatibilizar o crescimento urbano com a necessidade de conservação da qualidade ambiental da cidade e de valorização da paisagem local.
- ZAB: corresponde aos assentamentos situados em áreas alagáveis e em morros, com extensas ocupações irregulares.

- ZAR: é aquela onde predominam ocupações irregulares em áreas alagáveis em condição crítica de risco ambiental e social e destina-se ao reordenamento da ocupação atual, condicionado-se sua urbanização às restrições de drenagem e oferta de infraestruturas.
- ZEU: caracterizada pela ocupação rarefeita com presença de grandes vazios, correspondendo à área entre o rio Jaboatão e o Eixo de Integração (PE-017) e pela existência de amenidades naturais, correspondente às áreas entre o rio Jaboatão e a BR-232 e às áreas adjacentes à Mata de Manassú.
- ZIP 1 e 2: têm importância estratégica pela sua localização e extensão. Concentram empreendimentos industriais, de logística e grandes equipamentos institucionais e de apoio à produção.

Também vale destacar as Zonas Especiais, que são distribuídas nas macrozonas em que se divide o território municipal. Compreendem áreas que podem se sobrepôr às zonas estabelecidas no zoneamento municipal por exigirem tratamento especial na definição de parâmetros reguladores de uso e ocupação do solo. O zoneamento do município de Jaboatão dos Guararapes pode ser verificado por meio da Figura 12.

Figura 12 – Zoneamento do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Jaboatão dos Guararapes detém o título de segundo município mais populoso do estado de Pernambuco, sendo a quantidade de habitantes superada apenas pela capital pernambucana, Recife. O município teve um incremento populacional bastante acelerado, como pode ser observado na Tabela 2 e na Figura 13, onde em um período que compreende seis décadas obteve um aumento de, aproximadamente, 254,00%. De acordo com o IBGE (2022), para os anos de 1991, 2000 e 2010 a população urbana já se distanciava consideravelmente da rural, sendo representada por 88,30%, 97,73% e 97,82% dos habitantes, respectivamente.

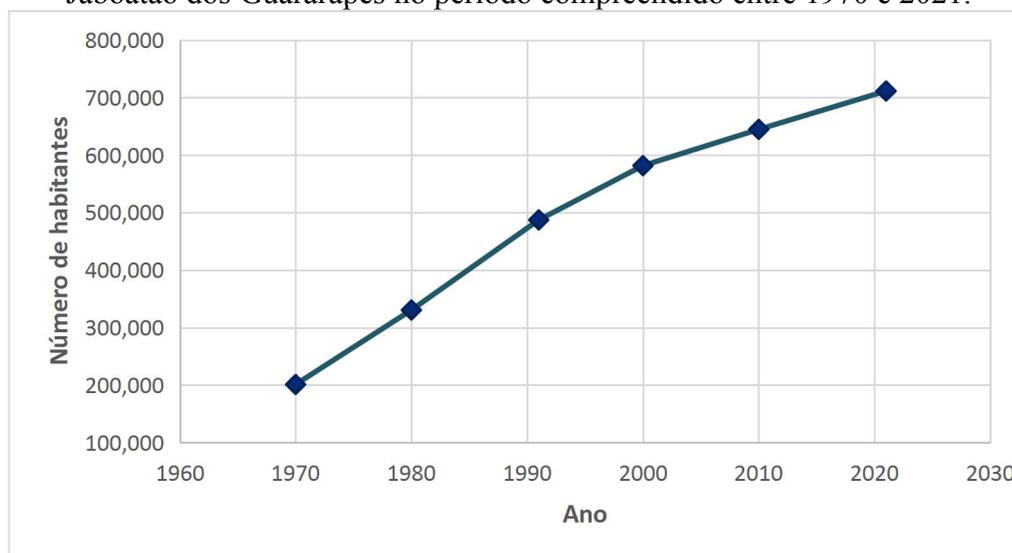
Conforme França et al. (2016), grande parte da população urbana ocupa a faixa litorânea do município por meio de residências e comércios, definindo o uso misto para o local. Além dessa região, os referidos autores enfatizam uma significativa ocupação urbana nas áreas que margeiam três grandes corredores viários que interceptam o município, são eles: a BR-101, a PE-007 e a PE-017. A área rural do município é caracterizada pelo cultivo, sobretudo de cana-de-açúcar, e agricultura de subsistência.

Tabela 2 – Evolução da quantidade de habitantes do município de Jaboatão dos Guararapes no período compreendido entre 1970 e 2010.

Ano	1970	1980	1991	2000	2010	2021 (estimada)
<b>Habitantes</b>	200.975	330.414	487.119	581.556	644.620	711.330

Fonte: Elaborado pelo autor, por meio de dados oriundos do IBGE (2022).

Figura 13 – Representação gráfica da evolução da quantidade de habitantes do município de Jaboatão dos Guararapes no período compreendido entre 1970 e 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio de dados oriundos do IBGE (2022).

Este acentuado crescimento populacional está relacionado, principalmente, a fatores econômicos apoiados pela infraestrutura viária do município e incentivos fiscais do Governo Federal e Estadual para atrair, sobretudo, as indústrias a partir da década de 1970 (NOGUEIRA, 2015). Assim, conforme Moura et al. (2012), desde o final do século XX o município passou por profundas transformações, implicando no processo de expansão da malha urbana, passando a se interligar com alguns bairros de Recife, e aceleração da industrialização.

Entre os anos de 2002 e 2014, o desenvolvimento econômico da região trazido pela nova fase de expansão do Complexo Industrial e Portuário Suape, através de investimentos do Poder Público, foi responsável por incrementar a população do município, que adensou, principalmente, os bairros situados ao sul em busca de oportunidades (GUMIERO, 2018; NOGUEIRA, 2015).

Atualmente, a cidade se apresenta com uma estrutura urbana compartimentada com mais de um centro propulsor de crescimento, formados pelos distritos de Jaboatão, Cavaleiro, Muribeca dos Guararapes, Curado e Jardim Jordão, considerados pelo Plano Diretor do município (Lei nº 002/2008) (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2008). Os referidos distritos possuem hierarquia funcional entre si, diferenciando-se de outras cidades onde é comum existir um núcleo central com seus bairros periféricos.

Vale ressaltar que esse processo de urbanização resultou em uma mudança gradativa do cenário espacial do município. Essas transformações podem ser observadas na evolução espaço-temporal de algumas regiões do município, especificamente, nos bairros Barra de Jangada (Figura 14) e Zumbi do Pacheco (Figura 15), onde é possível verificar que para o ano de 1974, evidencia-se no bairro Barra de Jangada a presença majoritária de solo natural e vegetação. Indicando que, durante esse período, a região passava por esporádicas intervenções antrópicas, sendo considerada por Silva (2010) como área rural.

Em relação ao bairro Zumbi do Pacheco, o mesmo já apresentava intervenções antrópicas no período de 1974, sobretudo através da construção de edificações populares para uso residencial da Companhia de Habitação Popular do Estado de Pernambuco (COHAB-PE), bem como a determinação da rede viária. As superfícies a noroeste das habitações já

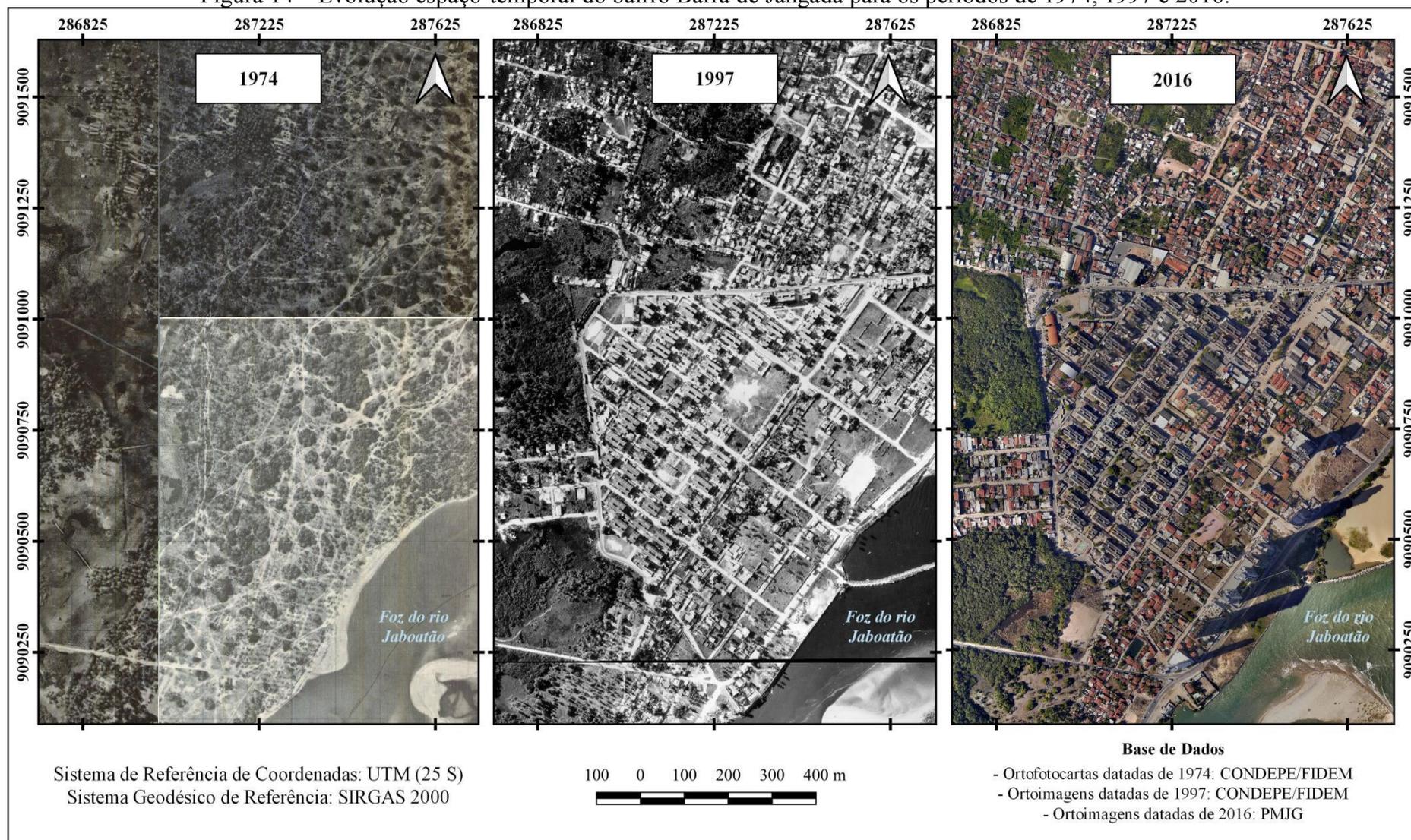
edificadas apresentavam-se como possíveis quadras, indicando uma zona de preparação para o processo de urbanização.

Quando analisado o mapa referente ao cenário do período de 1997, o bairro Barra de Jangada apresenta o surgimento de uma considerável quantidade de edificações, além da extensão do eixo viário. Mediante a essa observação, o estudo de Araújo (2017) afirma que nesse período o aumento da mancha urbanizada configurou-se no sentido norte-sul, acompanhando a faixa da praia, definindo uma continuidade da expansão urbana do bairro vizinho, Candeias, que apresentou um crescimento maior em relação a Barra de Jangada.

Para o período de 2016, é exibido como a expansão urbana se intensificou em ambas regiões do município. Além da nova fase de expansão do Complexo Industrial e Portuário Suape, houve, nessa época, uma grande especulação imobiliária no litoral de Jaboatão dos Guararapes, resultando na instalação de grandes indústrias e empreendimentos imobiliários, empresariais e hoteleiros que funcionaram como grandes imãs para atrair mão-de-obra de vários locais do país e do mundo (ARAÚJO, 2017).

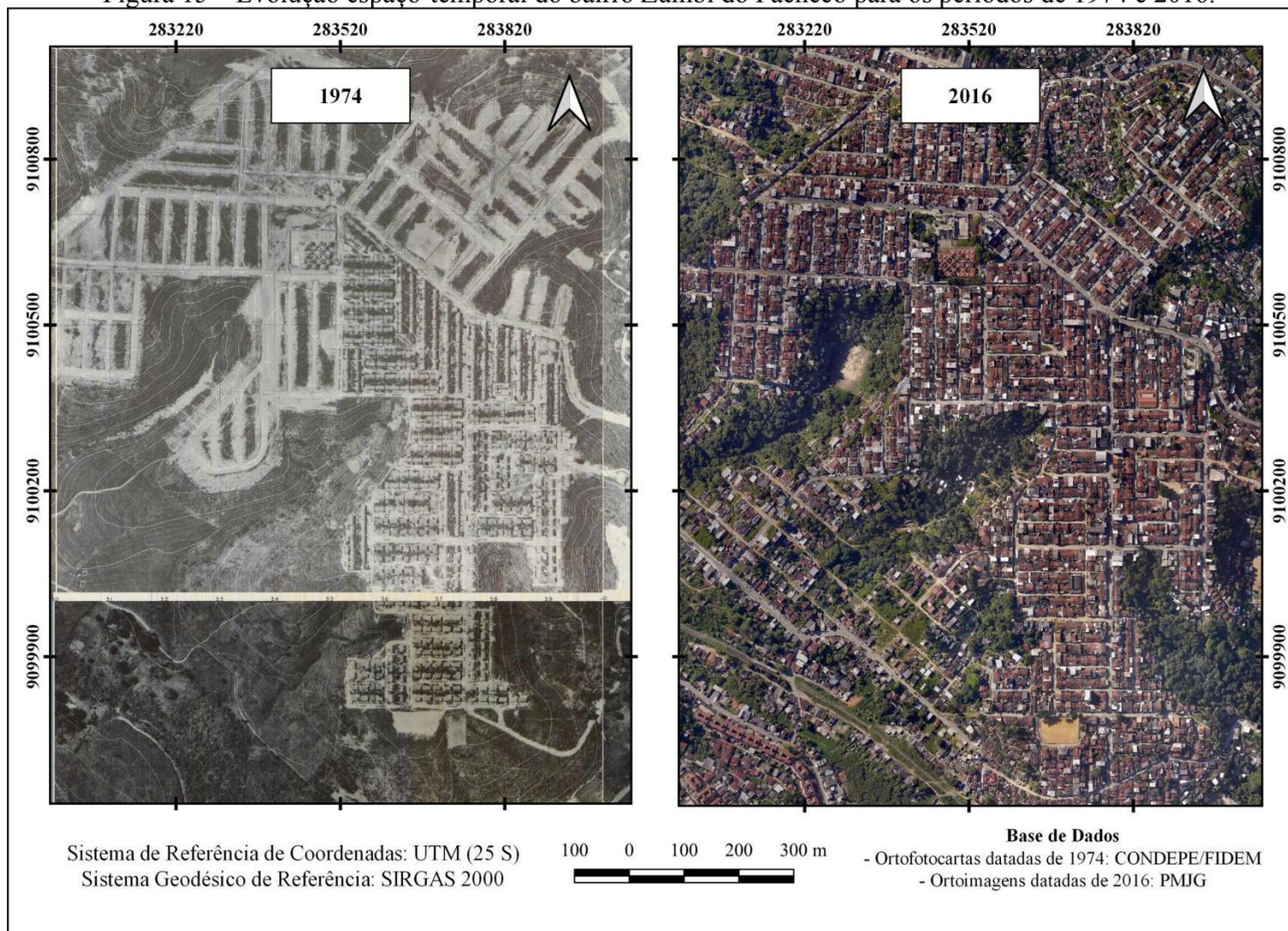
Vale salientar que o intenso processo de urbanização apresentado no município de Jaboatão dos Guararapes ocorreu de modo desordenado, sem o suporte e fiscalização do Poder Público (PEREIRA e FERREIRA, 2013). Conforme os autores, problemas, em vários aspectos, como os de controle da disposição de resíduos sólidos e ocupação de moradias em áreas inapropriadas se acentuaram, o que pode ser verificado na Figura 16. Outros problemas decorrentes desse processo são as inundações urbanas e alagamentos, que se agravam durante eventos de precipitação extrema.

Figura 14 – Evolução espaço-temporal do bairro Barra de Jangada para os períodos de 1974, 1997 e 2016.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 – Evolução espaço-temporal do bairro Zumbi do Pacheco para os períodos de 1974 e 2016.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 – Disposição de resíduos sólidos e ocupação de moradias em áreas inapropriadas. Disposição de resíduos sólidos nas margens do canal Olho D'Água (A), nas proximidades do açude Jangadinha (B), nas proximidades do rio Jaboatão (C) e diretamente na calha do canal Jangadeiro (D); Ocupação irregular de moradias na planície de inundação do riacho Manassu (E), do rio Duas Unas (F), do rio Jaboatão (G) e do canal Jangadeiro (H).



Fonte: O autor.

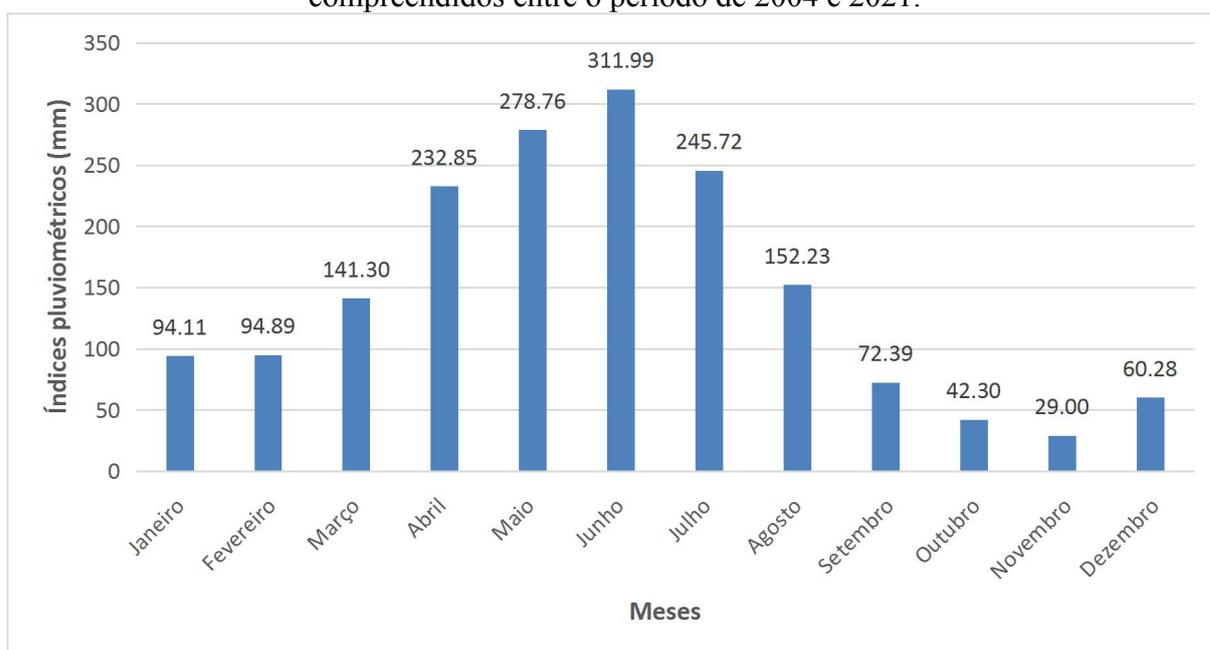
Por meio de levantamento em *sites* de pesquisa da *internet* é bastante comum encontrar diversas reportagens exibidas pela mídia, apresentando os transtornos que os munícipes enfrentam nos períodos chuvosos. Assim, buscando medidas e soluções que minimizem os transtornos advindos pelos alagamentos e inundações, o Código de Obras do município de Jaboatão dos Guararapes exige a construção de reservatório para retenção de águas pluviais no interior do lote do empreendimento, em casos previstos nos artigos 60 e 61 da LUOS (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2013b).

### 4.3 Características físico-naturais do município de Jaboaão dos Guararapes

O município de Jaboaão dos Guararapes está localizado numa região que, segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima tropical úmido (AMS'), possuindo temperatura média anual de 26 °C, mínima de 18 °C e máxima de 32 °C (COSTA, 2019; NÓBREGA e FARIAS, 2016). Conforme dados históricos de precipitação disponibilizados por meio de 15 estações pluviométricas monitoradas pela APAC (quatro estações) e pelo Cemaden (11 estações), o município apresentou índices pluviométricos médios máximo e mínimo mensais de 311,99 mm e 29,00 mm, respectivamente, e média anual de 1.754,84 mm para um período de 18 anos, compreendido entre 1º de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2021, como apresentam as Figuras 17 e 18.

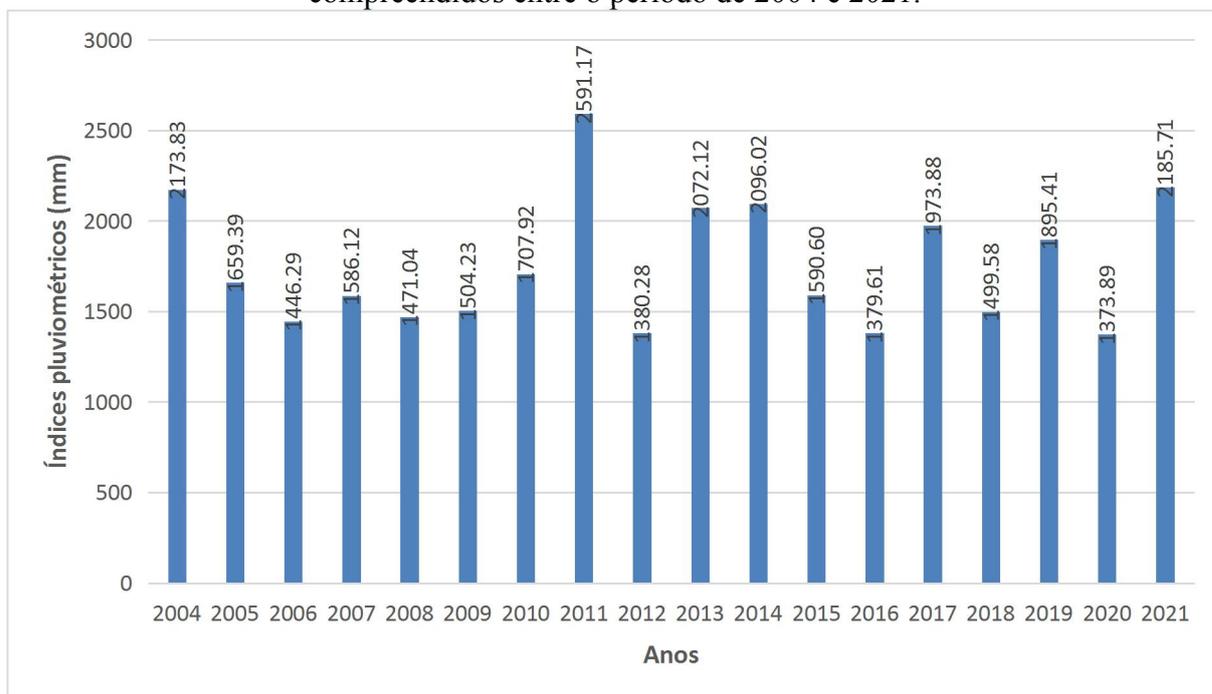
Em Jaboaão dos Guararapes, a precipitação máxima mensal ocorre durante o período de inverno, geralmente, ao longo do mês de junho, podendo atingir, sobretudo em eventos críticos, valores acima do índice pluviométrico médio máximo. Conforme Nóbrega e Farias (2016), o fato de a média máxima mensal de precipitação ocorrer nesse período é devido a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os ventos úmidos dos alísios de sudeste, com gênese na alta pressão semipermanente do Atlântico Sul.

Figura 17 – Índices pluviométricos médios mensais do município de Jaboaão dos Guararapes compreendidos entre o período de 2004 e 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio de dados extraídos da APAC (2022a) e Cemaden (2022).

Figura 18 – Índices pluviométricos médios anuais do município de Jaboatão dos Guararapes compreendidos entre o período de 2004 e 2021.



Fonte: Elaborado pelo autor, por meio de dados extraídos da APAC (2022a) e Cemaden (2022).

A cobertura vegetal nativa está restrita a poucas áreas, sendo representada por fragmentos da antiga Mata Atlântica (menos de 3% do município) (COSTA, 2019). O autor complementa que podem ser encontrados pelo município resquícios dessa vegetação, sendo representada pelos tipos designados como: capoeira, capoeirinha densa, capoeirinha rala, vegetação higrófila e vegetação de manguezal.

Quanto à geomorfologia (Figura 19), Jaboatão dos Guararapes possui três unidades de relevo: planície costeira, onde são encontrados vários trechos, periódica ou permanentemente, inundados; terraços marinhos, com altitudes variando de 1 a 8 metros, aproximadamente; e por colinas, que apresentam uma área com altitudes mais elevadas, podendo atingir até 100 metros, constituída por rochas cristalinas recobertas ou não por sedimentos tércio-quadernários da Formação Barreiras, ou sedimentos cretácicos da Formação Cabo (FARIAS, 2015).

Figura 19 – Amostras de colinas localizadas no município de Jaboatão dos Guararapes e terraço marinho (ao fundo da imagem).

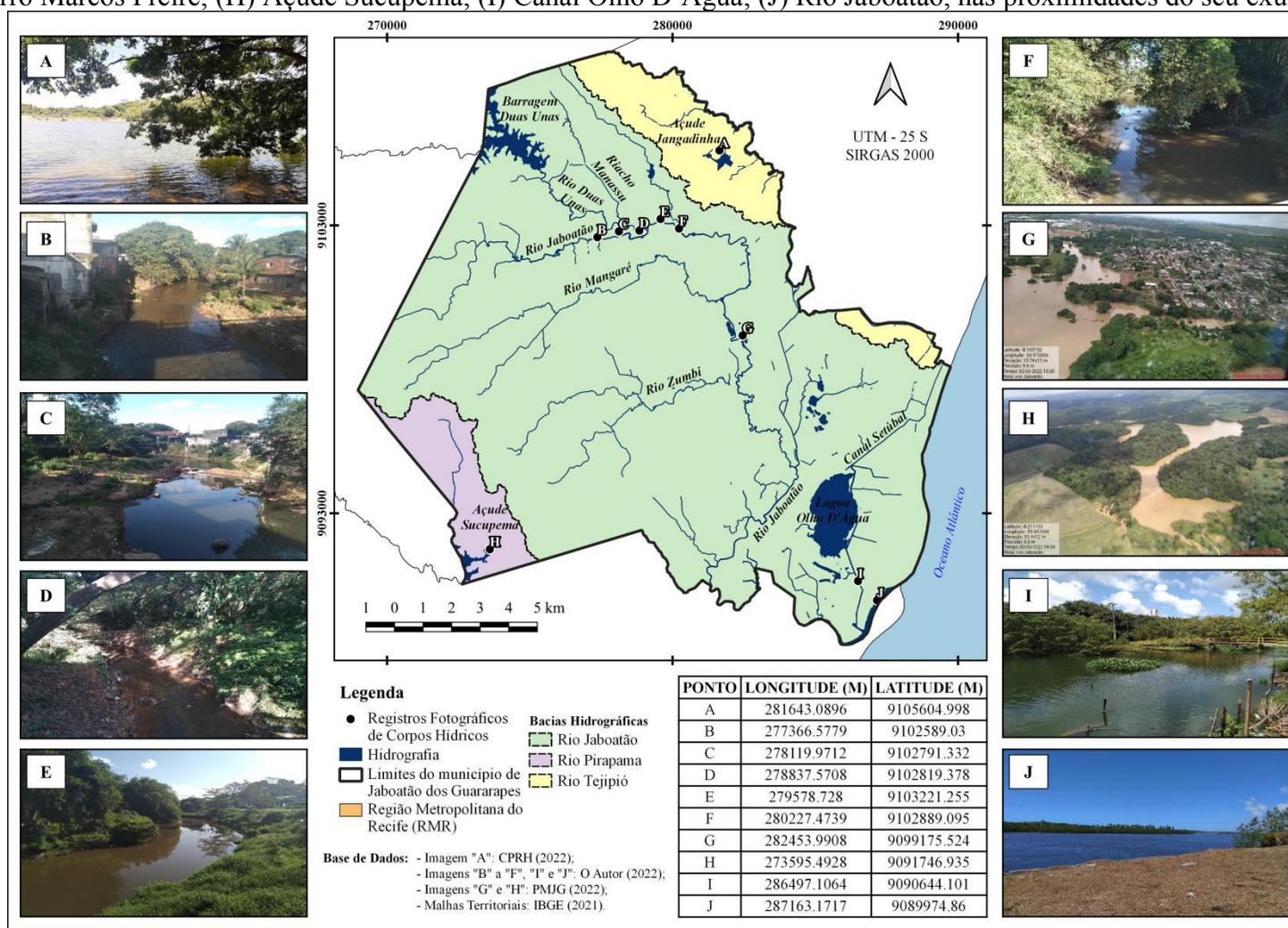


Fonte: PMJG (2022).

Por fim, sobre a hidrografia do município, Jaboatão dos Guararapes é interceptado por dois importantes rios pernambucanos, o Jaboatão e o Duas Unas, sendo este o principal afluente do rio Jaboatão e detentor de uma barragem homônima, cujo manancial abastece parte da RMR. O município compreende as bacias dos rios Jaboatão, Pirapama, Tejipió e Jordão (Figura 20), que integram o Grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 2 – GL2.

A bacia do rio Jaboatão, que representa a principal do município, é constituída do canal principal, o rio Jaboatão, com 75,00 km de extensão e pelos seus afluentes, representados pelos: rio Duas Unas, com 29,00 km; rio Mussaíba, com 13,50 km; rio Macaco, com 9,20 km; rio Pixaó, com 11,60 km; rio Mangaré, com 14,90 km; e o riacho do Arroz, com 11,50 km (SILVA e GIRÃO, 2020). A referida bacia também conta com uma área drenada pela lagoa Olho d'Água, sistema lagunar com 3,7 km<sup>2</sup> de área, que apresenta ligação com os canais de Setúbal, ao norte, e o Olho d'Água, ao sul, que alimenta a lagoa pelas águas do rio Jaboatão.

Figura 20 – Hidrografia do município de Jaboatão dos Guararapes. (A) Açude Jangadinha; (B) Rio Jaboatão, nas proximidades da comunidade Moenda de Bronze; (C) Rio Duas Unas, nas proximidades da confluência com o rio Jaboatão; (D) Riacho Manassu, no bairro Engenho Velho; (E) Rio Jaboatão, nas proximidades da Curva do Carangueijo; (F) Rio Jaboatão, nas proximidades da comunidade Vila Piedade; (G) Rio Jaboatão, no bairro Marcos Freire; (H) Açude Sucupema; (I) Canal Olho D'Água; (J) Rio Jaboatão, nas proximidades do seu exutório.

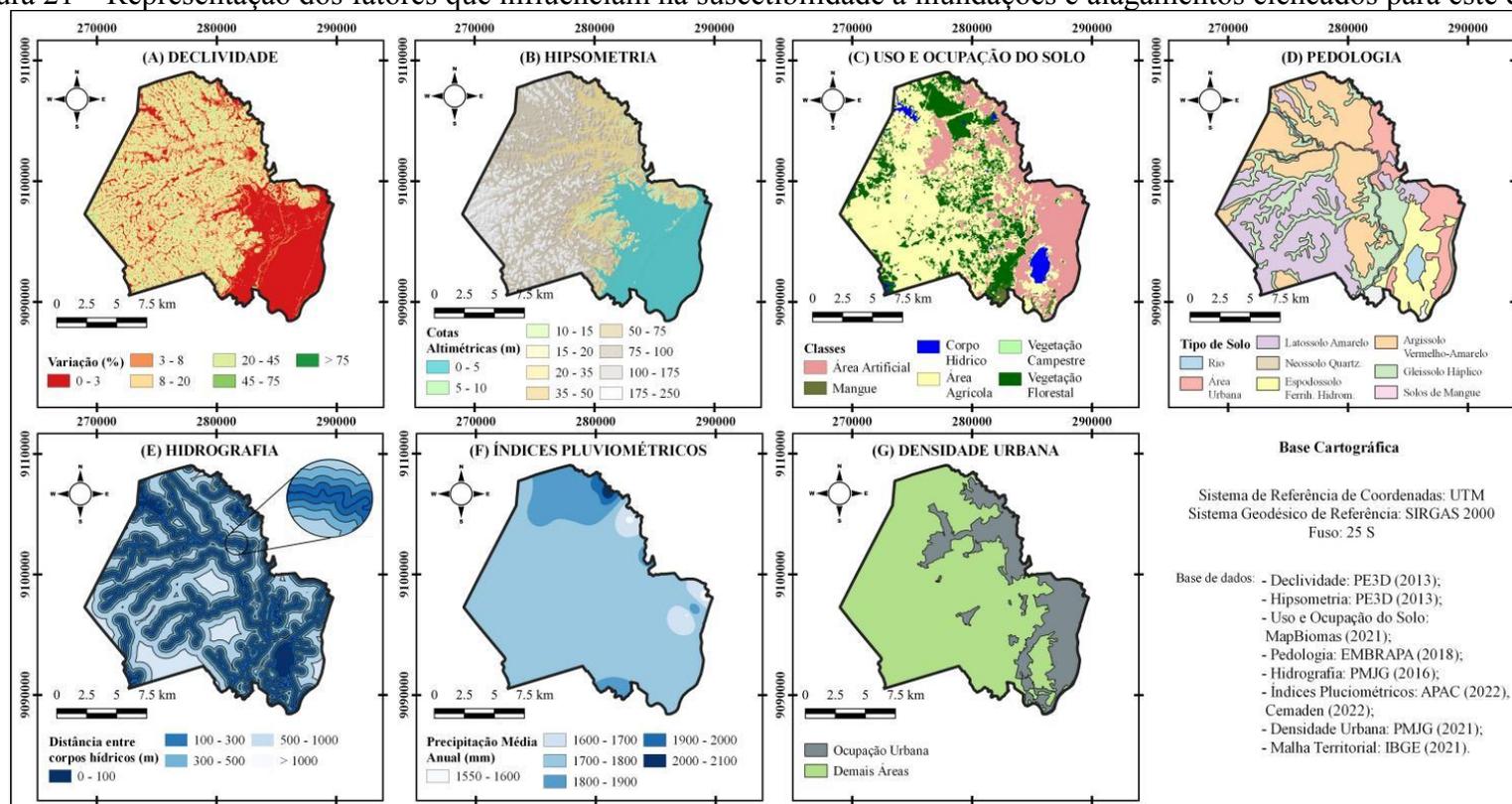


Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da utilização do SIG foi possível estabelecer os mapas que representam o comportamento do município de Jaboatão dos Guararapes quanto aos parâmetros de suscetibilidade a inundações e alagamentos elencados neste estudo, como apresenta a Figura 21. São eles: declividade (A), hipsometria (B), uso e ocupação do solo (C), pedologia (D), hidrografia (E), índices pluviométricos (F) e densidade urbana (G).

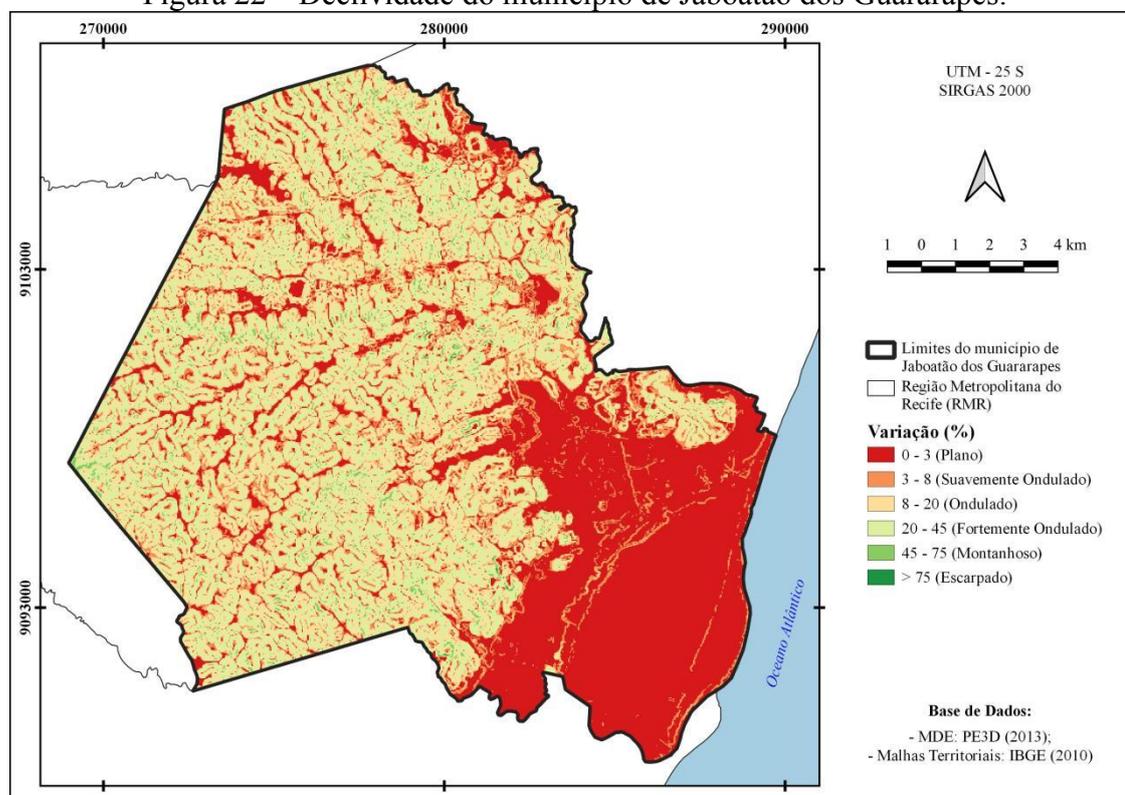
Figura 21 – Representação dos fatores que influenciam na suscetibilidade a inundações e alagamentos elencados para este estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à topografia do município, há um predomínio de declividades baixas na região costeira, como mostra a Figura 22. No entanto, na porção oeste é possível constatar formações de relevos ondulados de forma representativa. A Tabela 3 mostra que maior parte do território municipal é constituído por áreas planas, representando 30,20% da região, ao passo que as regiões montanhosas e escarpadas abrangem 1,60% e 0,81%, respectivamente, constituindo pequena parte do município.

Figura 22 – Declividade do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

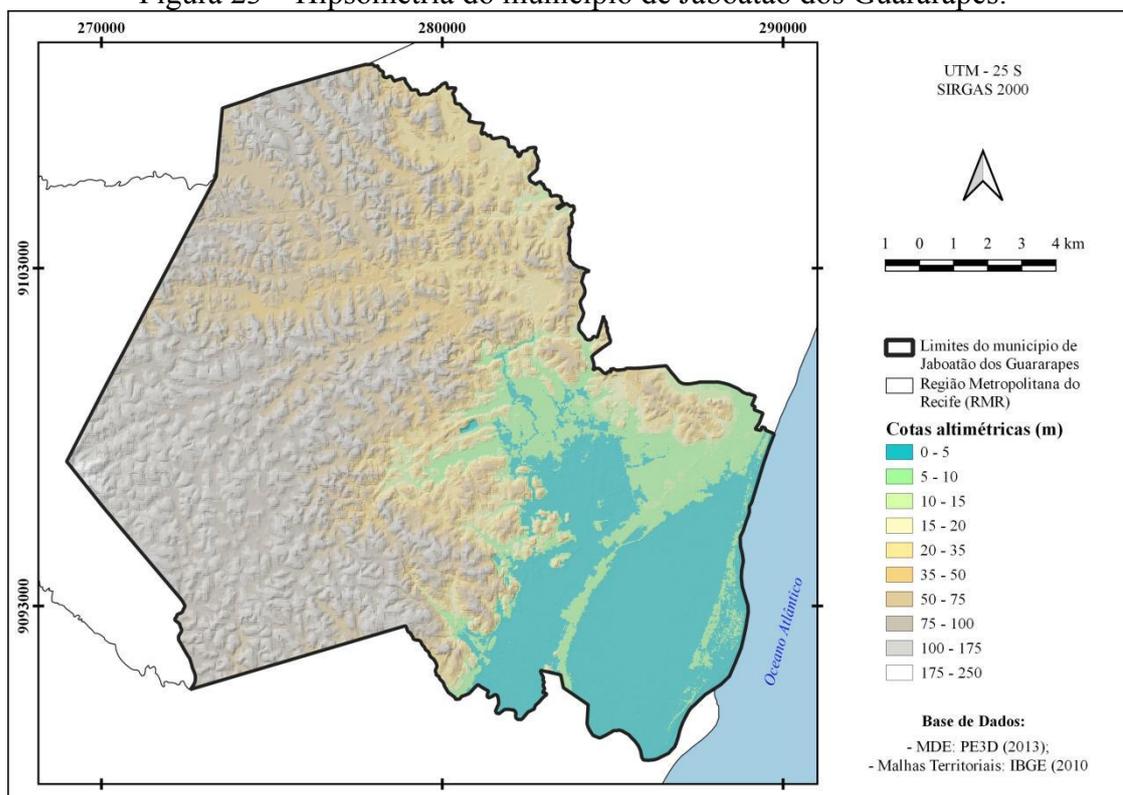
Tabela 3 – Representação das classes do fator declividade para o município de Jaboatão dos Guararapes.

Varição (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
0 - 3	77,64	30,20
3 - 8	32,38	12,60
8 - 20	68,77	26,75
20 - 45	72,07	28,04
45 - 75	4,10	1,60
> 75	2,10	0,81
<b>Total</b>	<b>257,06</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação à hipsometria, assim como a declividade, as baixas cotas altimétricas prevalecem na parte costeira do município, como pode ser observado na Figura 23. No entanto, esses valores vão se elevando gradativamente em direção a oeste, onde é há a presença de colinas. De acordo com a Tabela 4, as cotas altimétricas mais baixas, compreendidas entre 0,00 e 5,00 metros, representam 17,98% da área e as cotas que variam entre 100,00 e 250,00 metros, consideradas as mais elevadas da região, estão presentes em 18,46% do município.

Figura 23 – Hipsometria do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

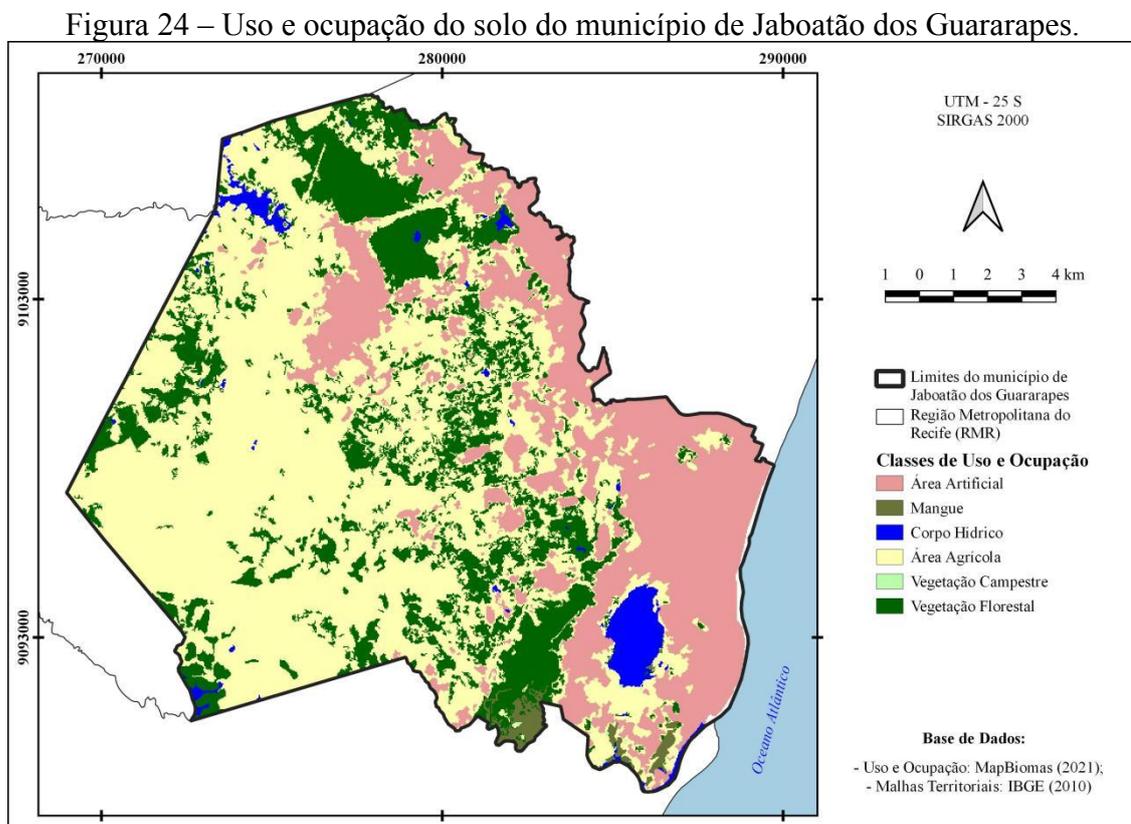
Tabela 4 – Representação das classes do fator hipsometria para o município de Jaboatão dos Guararapes.

Cotas altimétricas (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)	Cotas altimétricas (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
0 - 5	46,23	17,98	35 - 50	19,87	7,73
5 - 10	20,10	7,82	50 - 75	43,71	17,00
10 - 15	5,94	2,31	75 - 100	48,52	18,88
15 - 20	4,88	1,90	100 - 175	46,81	18,21
20 - 35	20,37	7,92	175 - 250	0,63	0,25
Total				257,06	100,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 24 e a Tabela 5 trazem informações acerca do uso e ocupação do solo do município de Jaboatão dos Guararapes. É possível visualizar que as áreas de ocupação urbana prevalecem na parte leste de Jaboatão dos Guararapes, sobretudo na região litorânea. Também é possível constatar essa classe de uso do solo na parte centro-norte, onde se localiza a região da antiga cidade-sede do município, como também na parte nordeste, que representa áreas conurbadas com bairros da cidade do Recife. De modo geral, a classe que representa as áreas urbanas está presente em 24,2960% do território municipal.

As áreas a oeste e a sudoeste são, em sua maioria, representadas por áreas agrícolas, sobretudo por pastagem e plantações de cana-de-açúcar, abrangendo 52,23% da área total estudada. A vegetação florestal pode ser constatada em 20,16% do município, sobretudo pelas Reserva Ecológica de Manassu e Matas de Mussaíba e Jangadinha, ao norte, pela Reserva Natural Fazenda Santa Beatriz do Carnijó, a oeste, pela Reserva Ecológica do Sistema Gurjaú, a sudoeste, e por vegetações ripárias do entorno do rio Jaboatão, ao sul. As áreas de mangue, encontradas próximas à foz do rio Jaboatão, representam 0,90% da região.



Fonte: Elaborado pelo autor.

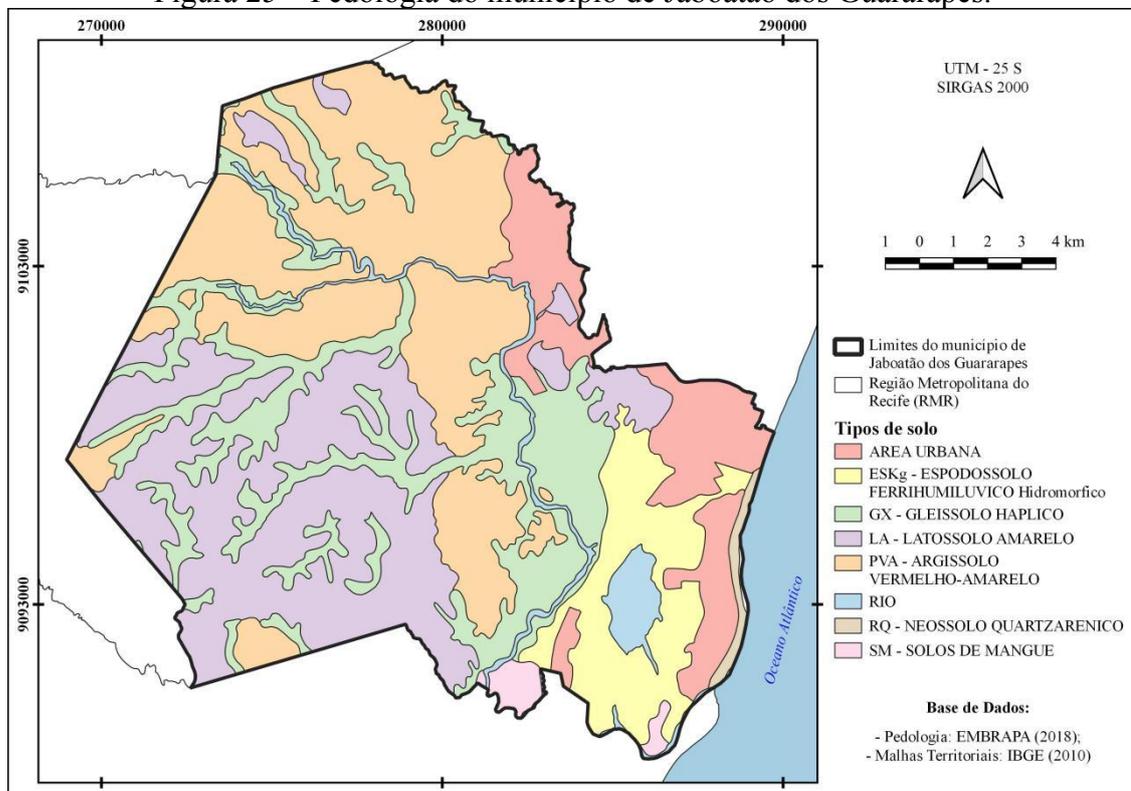
Tabela 5 – Representação das classes do fator uso e ocupação do solo para o município de Jaboatão dos Guararapes.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Área Artificial	62,46	24,30
Mangue	2,31	0,90
Corpo Hídrico	6,09	2,37
Área Agrícola	134,28	52,23
Vegetação Campestre	0,10	0,04
Vegetação Florestal	51,82	20,16
<b>Total</b>	<b>257,06</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Acerca da pedologia, os solos argilosos, que são mais impermeáveis, são os que mais estão presentes no município, enquanto os mais permeáveis são identificados em menor quantidade, sobretudo na parte sudoeste da região. De acordo com a Figura 25 e a Tabela 6, são observados os seguintes tipos de solo no município: Gleissolos, Latossolos Amarelos, Solos mangue, Argissolo Vermelho-Amarelos, Neossolos Quartzarênicos e Espodossolo Hidromórficos, incluindo a Área urbana.

Figura 25 – Pedologia do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

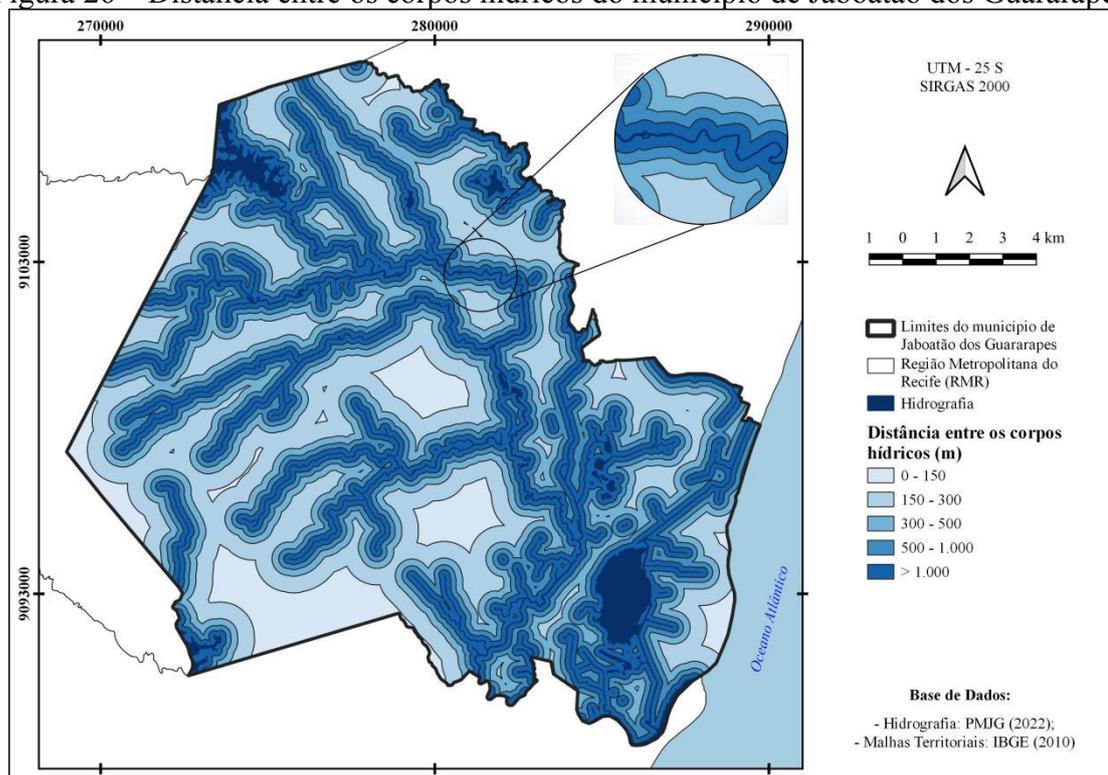
Tabela 6 – Representação das classes do fator pedologia para o município de Jaboatão dos Guararapes.

Tipo de solo	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Área Urbana	27,08	10,53
Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico	22,48	8,75
Gleissolo Háptico	51,94	20,21
Latossolo Amarelo	67,19	26,14
Argissolo Vermelho-Amarelo	75,82	29,49
Rio	8,17	3,18
Neossolo Quartzarênico	1,73	0,67
Solos de Mangue	2,65	1,03
<b>Total</b>	<b>257,06</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como mostra a Figura 26, os corpos hídricos estão presentes em grande parte de Jaboatão dos Guararapes, com destaque para o rio Jaboatão, que começa a integrar o município na sua parte oeste e tem seu exutório na parte sul, especificamente na praia de Barra de Jangada. Há também um destaque para a presença da lagoa Olho D'Água, que se situa numa região predominantemente urbana, e para a barragem Duas Unas. Conforme é apresentado na Tabela 7, 13,80% do território municipal se encontra numa faixa de até 150 metros de distância de corpos hídricos, enquanto 32,30% está afastado mais de 1.000 metros.

Figura 26 – Distância entre os corpos hídricos do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

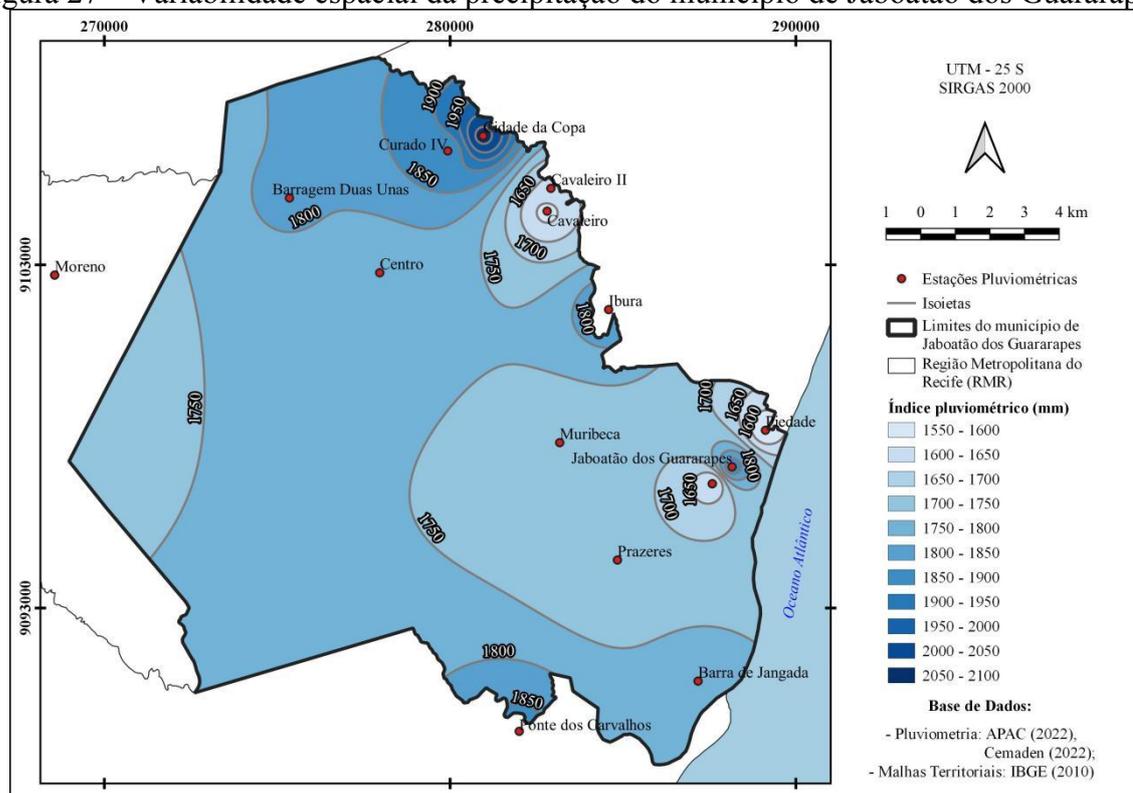
Tabela 7 – Representação das classes do fator distância entre os corpos hídricos para o município de Jaboatão dos Guararapes.

Distância (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
0 - 150	35,49	13,80
150 - 300	35,56	13,83
300 - 500	48,60	18,91
500 - 1.000	54,39	21,16
> 1.000	83,02	32,30
Total	257,06	100,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

Acerca da variabilidade da precipitação anual, os índices pluviométricos compreendidos entre 1.700 mm e 1.800 mm são os mais incidentes no município, abrangendo-o em todas as regiões, representando 82,53% da área total, como indicam as informações presentes na Figura 27 e tabela 8. Os índices acima dos 1.800 mm englobam 12,93% do município e estão presentes, em grande parte, nas regiões de altitudes mais elevadas e que estão próximas à reservatórios, como a barragem Duas Unas e o açude Jangadinha, e à formações florestais, como a Reserva Ecológica de Manassu e a Mata de Mussaíba.

Figura 27 – Variabilidade espacial da precipitação do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

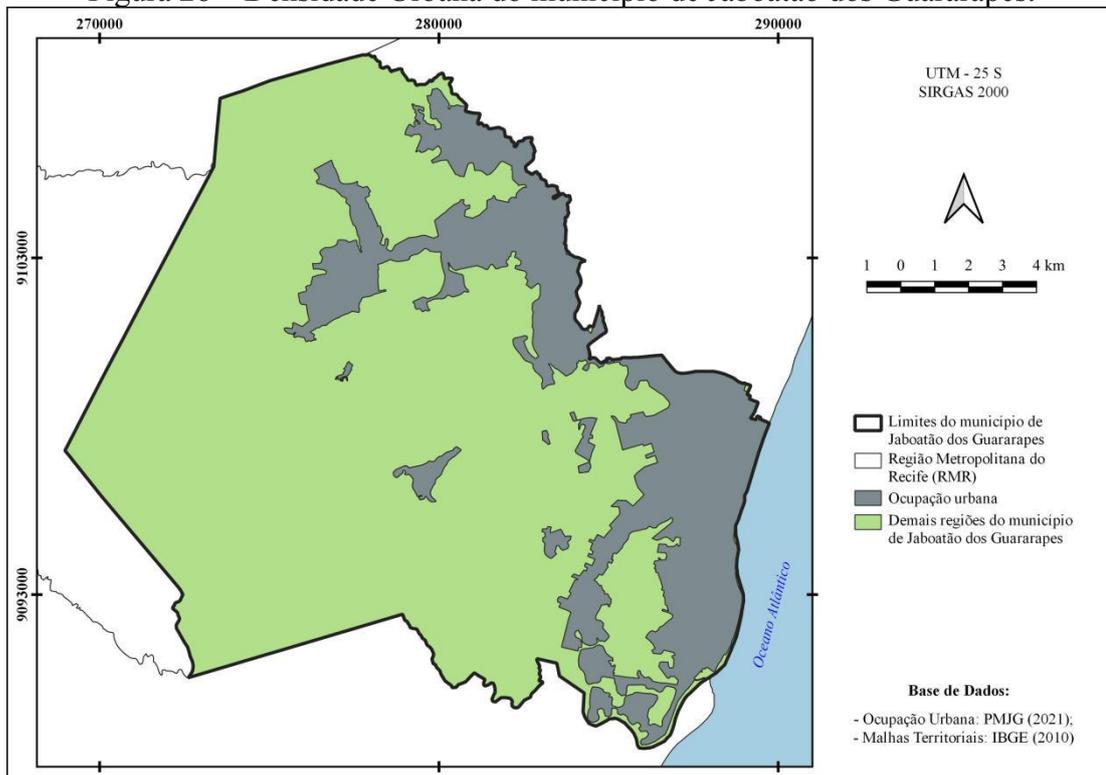
Tabela 8 – Representação das classes do fator índices pluviométricos para o município de Jaboatão dos Guararapes.

Índices pluviométricos (mm)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
1.550 - 1.600	0,91	0,35
1.600 - 1.650	3,49	1,36
1.650 - 1.700	7,27	2,83
1.700 - 1.750	81,87	31,85
1.750 - 1.800	130,27	50,68
1.800 - 1.850	23,52	9,15
1.850 - 1.900	6,66	2,59
1.900 - 1.950	1,61	0,63
1.950 - 2.000	0,71	0,27
2.000 - 2.050	0,57	0,22
2.050 - 2.100	0,18	0,07
<b>Total</b>	<b>257,06</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

As regiões de adensamento urbano do município de Jaboatão dos Guararapes são constituídas pelos distritos de Jaboatão, Cavaleiro, Muribeca dos Guararapes, Curado e Jardim Jordão, os quais estabelecem uma estrutura que pode ser conferida através da Figura 28. De acordo com a Tabela 9, 23,18% do território municipal está urbanizado, com destaque na região costeira e nas áreas conurbadas com outros bairros da cidade do Recife.

Figura 28 – Densidade Urbana do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 – Representação das classes do fator densidade urbana para o município de Jaboaão dos Guararapes.

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Ocupação Urbana	59,60	23,18
Demais regiões	197,46	76,82
Total	257,06	100,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Matriz de Comparação Pareada desenvolvida para o estudo do mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos no município de Jaboaão dos Guararapes foi construída de acordo com o que se apresenta no Quadro 12. Analisando a referida matriz, foi constatado que, de acordo com os valores dos pesos, o indicador referente a distância entre corpos hídricos foi definido como o mais importante e a pedologia como o menos importante.

Quadro 12 - Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada dos parâmetros que influenciam na suscetibilidade a inundações e alagamentos elencados para este estudo

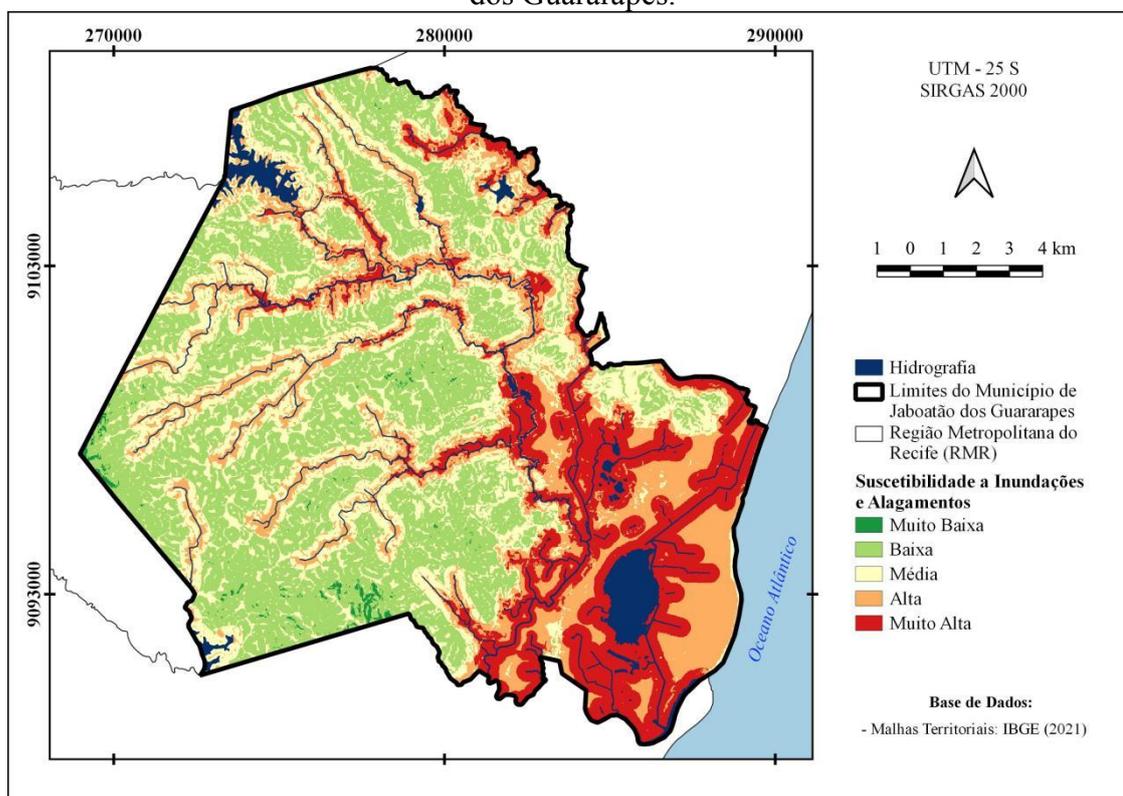
Parâmetro	A	B	C	D	E	F	G	Pesos
<b>Declividade (A)</b>	1	3	5	7	1/2	5	5	0,2762
<b>Hipsometria (B)</b>	1/3	1	3	6	1/4	4	3	0,1496
<b>Uso e ocupação do solo (C)</b>	1/5	1/3	1	3	1/5	1/3	2	0,0590
<b>Pedologia (D)</b>	1/7	1/6	1/3	1	1/8	1/3	1/3	0,0269
<b>Dist. de corpos hídricos (E)</b>	2	4	5	8	1	5	5	0,3575
<b>Índices pluviométricos (F)</b>	1/5	1/4	3	3	1/5	1	3	0,0821
<b>Densidade urbana (G)</b>	1/5	1/3	1/2	3	1/5	1/3	1	0,0484

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a obtenção dos valores ponderados na Matriz de Comparação Pareada e do cálculo dos pesos para cada parâmetro, foi preciso verificar a consistência desses resultados. Nessa análise, foi obtido um IC igual 0,0847 e uma RC igual a 6,4185%. Pelo valor da RC ser abaixo de 10%, as comparações realizadas foram coerentes e produziram resultados confiáveis, conforme Saaty (1987).

Por fim, foi possível elaborar o modelo matemático para a produção do mapa de suscetibilidade a inundações e alagamentos no município do Jaboaão dos Guararapes, que se apresenta a seguir:  $M = 0,2762 * D + 0,1496 * H + 0,0590 * O + 0,0269 * S + 0,3575 * A + 0,0821 * P + 0,0484 * U$ , o qual foi submetido à álgebra de mapas no ambiente SIG, onde foi gerado o mapa representado pela Figura 29.

Figura 29 – Mapa de suscetibilidade à inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda com auxílio do SIG, foi possível classificar, em termos percentuais, a proporção das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes, o que pode ser verificado na Tabela 10.

Tabela 10 – Proporção das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos do município de Jaboatão dos Guararapes.

Suscetibilidade	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa percentual (%)
Muito Baixa	1,58	0,61
Baixa	84,38	32,83
Média	65,66	25,54
Alta	55,00	21,40
Muito Alta	50,44	19,62
<b>Total</b>	<b>257,06</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Analisando a região mapeada, pode ser observado que as áreas mais suscetíveis, ou seja, as de alta e muito alta propensão a inundações e alagamentos configuram parte significativa do município de Jaboatão dos Guararapes, sendo dominantes na região costeira e nas porções nordeste e centro-norte, somando uma área de 105,44 km<sup>2</sup>, que representa 41,02% da região

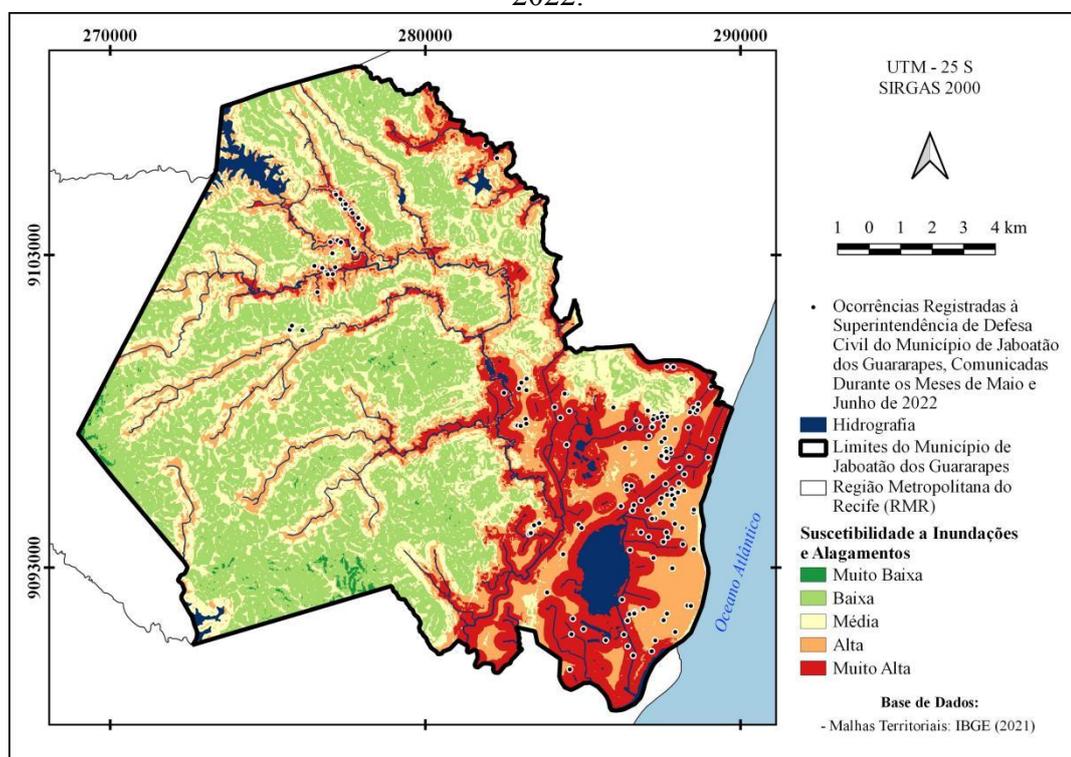
do estudo. Isso se deve, principalmente, por essas regiões abrangerem os corpos hídricos e centros urbanos, além de apresentarem declividades menores ou iguais a 3,00%. Também foi verificado que as áreas menos suscetíveis a inundações e alagamentos representam 33,44% da área total da área mapeada e estão localizadas na porção sudoeste da região do estudo, coincidindo com a zona rural do município. Essas áreas se encontram distantes de corpos hídricos, como também apresentam áreas agrícolas, elevadas cotas altimétricas e declividades entre 3,00% e 45,00%.

Estudos análogos, relacionados ao mapeamento de suscetibilidade à inundações e alagamentos utilizando o AHP, indicaram resultados similares aos deste trabalho. Seejata et al. (2018) verificaram que as áreas de maiores risco de inundação na província de Sukhothai, na Tailândia, são as consideravelmente planas e de baixa elevação e as que estão nas proximidades de dois afluentes do rio Yom, principal corpo hídrico da região. Para a bacia hidrográfica do rio Megalo Rema, na Grécia, Karymbalys et al. (2021) constataram que as zonas de alta e muito alta suscetibilidade à inundações são as caracterizadas por apresentar baixas declividades ( $< 3,50\%$ ), por estarem situadas nas áreas ribeirinhas do rio Megalo Rema ou de seus afluentes e em áreas urbanas.

O trabalho realizado por Campioli e Vieira (2019) revelou que as zonas com grau de risco de inundação muito alto ocorrem nas regiões de menor altitude e declividade da bacia do rio Cubatão do Norte, localizadas em área urbanas adensadas. Para o município de Juazeiro do Norte, no Ceará, Palácio et al. (2021) evidenciaram que 17,00% do território apresenta alta propensão a alagamentos, sobretudo a área urbana do município e as pequenas porções rurais de baixa declividade, que em alguns espaços são acumuladas massas d'água. Por outro lado, alguns estudos mostraram que a pluviometria (AMAYA et al., 2021; CABRERA; LEE, 2019) foi o fator de maior contribuição para a suscetibilidade à inundação e alagamentos.

Corroborando com este estudo, as constatações de suscetibilidade à inundações e alagamentos alta e muito alta, definidas pelo AHP, puderam ser validadas por meio do mapeamento das ocorrências de inundação ou alagamento (Figura 30), as quais foram realizadas durante os meses de maio e junho de 2022 em comunicação à Superintendência de Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes. Vale salientar que das 326 ocorrências registradas, 317 coincidem estar localizadas em áreas de alta ou muito alta suscetibilidade, como mostra a Tabela 11. Essa verificação atribui uma acurácia de 97,24% ao AHP.

Figura 30 – Ocorrências de inundações e alagamentos registradas à Superintendência de Defesa Civil do município de Jaboatão dos Guararapes durante os meses de maio e junho de 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 11 – Nível de exatidão do mapeamento das áreas suscetíveis à inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, conforme as ocorrências registradas à Superintendência de Defesa Civil durante os meses de maio e junho de 2022.

Suscetibilidade à inundações e alagamentos definidas pelo AHP	Número de ocorrências
Muito Baixa a Baixa	02
Média	07
Alta a Muito Alta	317
<b>Total</b>	<b>326</b>
<b>Acurácia</b>	<b>97,24%</b>

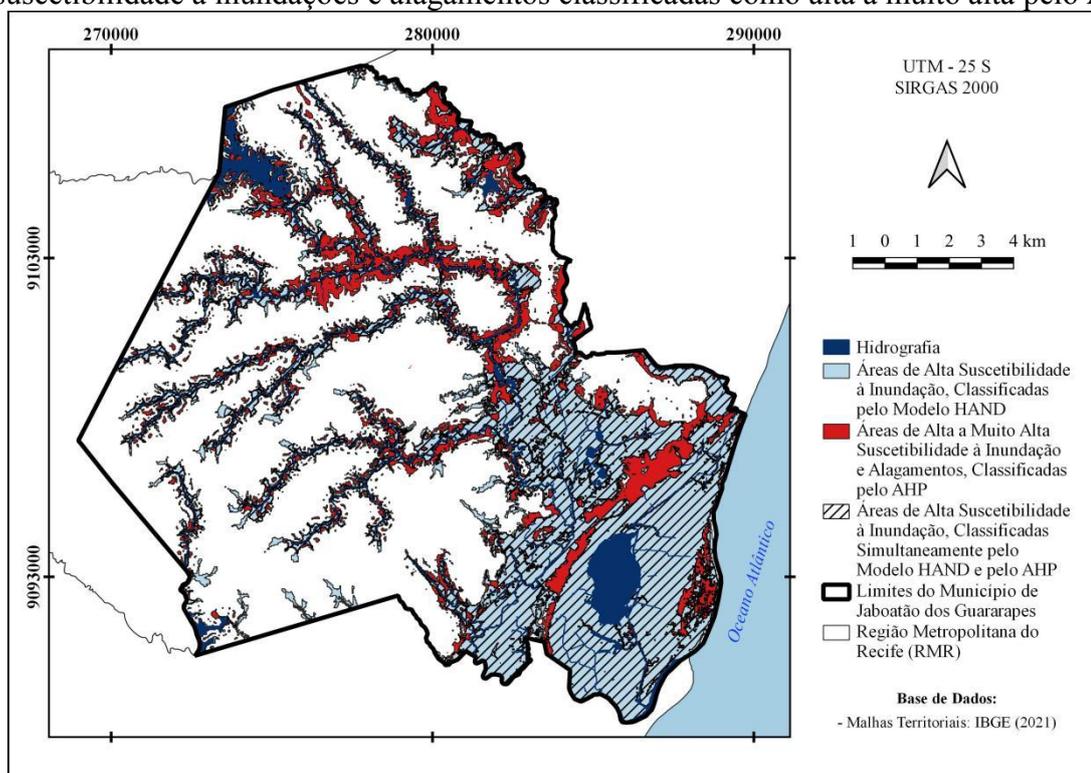
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Vale salientar que os meses supracitados, os quais as ocorrências foram registradas, foram marcados por chuvas intensas, acima da média prevista para os respectivos períodos, que fizeram o município de Jaboatão dos Guararapes declarar situação de emergência (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2022). Conforme monitoramento pluviométrico da APAC, durante o mês de maio, para o município de Jaboatão dos Guararapes, obtiveram-se totais acumulados de 675,00 mm e 788,40 mm, observados nas estações Barragem Duas Unas e Cidade da Copa - PCD, respectivamente, os quais representaram, para cada estação, 218,00% e 254,00% do previsto para o mês (APAC, 2022b).

Apenas no dia 28 de maio de 2022, no município de Jaboatão dos Guararapes, foram registrados pelas estações Barragem Duas Unas e Cidade da Copa - PCD índices pluviométricos respectivos a 172,20 mm e 252,40 mm (respectivamente 55,53% e 81,39% previstos para todo o mês) (APAC, 2022a). Esse evento extremo foi codificado pelo Cobrade como 1.3.2.1.4, classificando-o como Tempestade Local/Convectiva - Chuvas Intensas (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2022).

Ainda buscando asseverar o mapeamento de suscetibilidade à inundações e alagamentos elaborado a partir do AHP, foi realizada uma comparação entre os resultados alcançados por esse método com um mapeamento das áreas inundáveis do município de Jaboatão dos Guararapes produzido através do modelo HAND, considerando uma cota de 4,81 m, a qual foi atribuída pela Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes para o evento extremo de 28 de maio de 2022. A Figura 31 apresenta a sobreposição das manchas de inundação geradas pelo modelo HAND nas áreas de suscetibilidade à inundações e alagamentos classificadas como alta a muito alta pelo AHP.

Figura 31 – Sobreposição das manchas de inundação geradas pelo modelo HAND nas áreas de suscetibilidade à inundações e alagamentos classificadas como alta a muito alta pelo AHP.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio da comparação entre os mapeamentos de alta a muito alta suscetibilidade à inundações e alagamentos, gerado pelo AHP, e de alta suscetibilidade à inundações, gerado pelo modelo HAND, foi possível estabelecer as áreas de acerto, omissão e comissão, bem como a acurácia do método AHP. Conforme a Tabela 12, foi observado que as áreas consideradas altamente inundáveis por ambos mapeamentos foi de 70,31 km<sup>2</sup>, o que conferiu uma acurácia de 89,34% ao AHP. Também foi verificado que, em comparação com o modelo HAND, o AHP deixou de classificar e superestimou, respectivamente, áreas de 8,39 km<sup>2</sup> e 35,14 km<sup>2</sup> como superfícies propensas à inundação.

Tabela 12 – Parâmetros de comparação entre os mapeamentos de alta a muito alta suscetibilidade à inundações e alagamentos, gerado pelo AHP, e de alta suscetibilidade à inundações, gerado pelo modelo HAND.

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultados</b>
Área de Alta a Muita Alta Suscetibilidade à Inundações e Alagamentos, Classificadas pelo AHP (km <sup>2</sup> )	105,45
Área de Alta Suscetibilidade à Inundações, Classificadas pelo Modelo HAND (km <sup>2</sup> )	78,69
Área de Acerto (km <sup>2</sup> )	70,31
Área de Omissão (km <sup>2</sup> )	8,39
Área de Comissão (km <sup>2</sup> )	35,14
Acurácia (%)	89,34

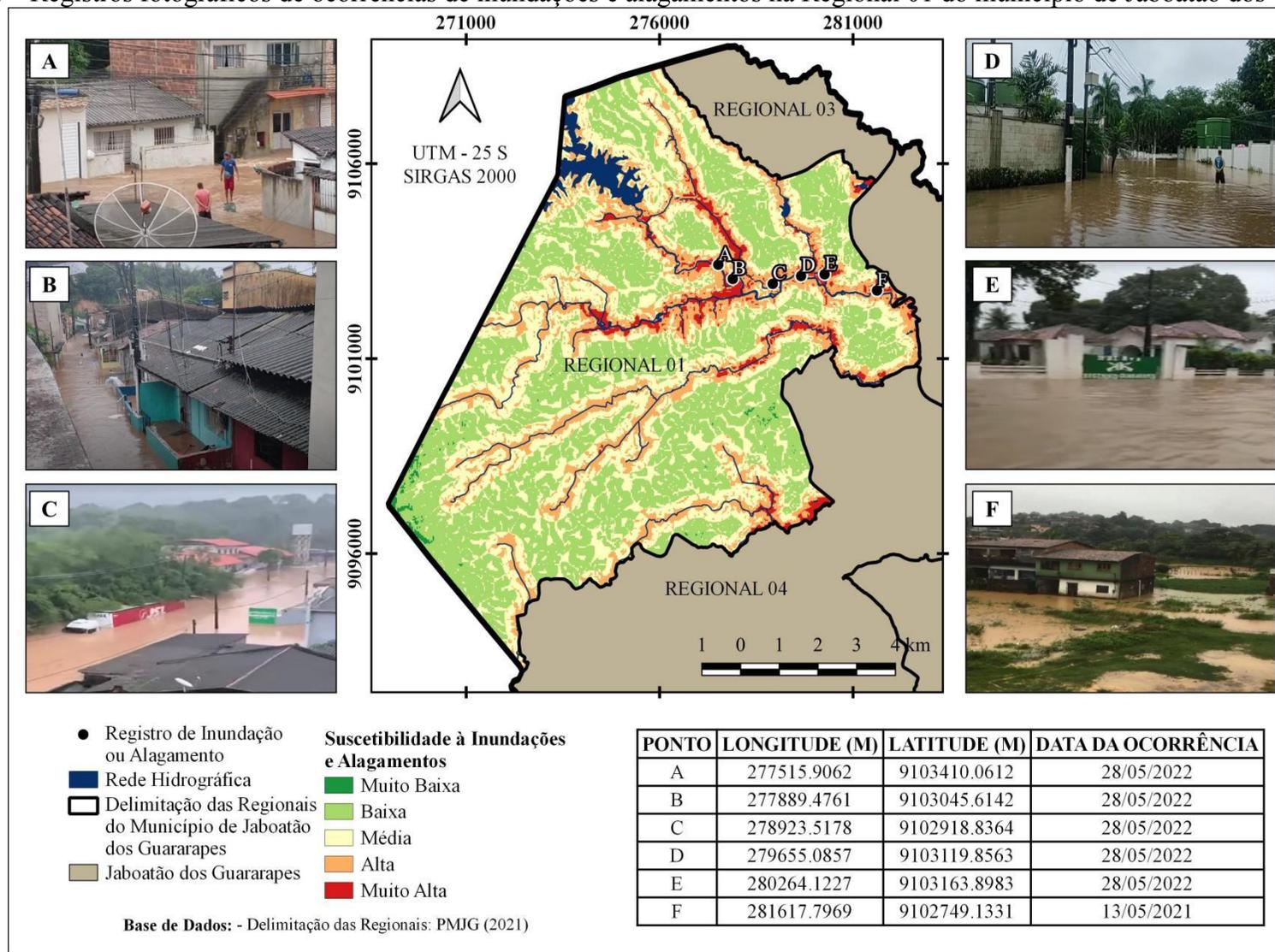
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Concomitantemente às constatações apresentadas, foi realizado um levantamento de registros fotográficos sobre alagamentos e inundações no município de Jaboatão dos Guararapes junto à redes sociais, *sites* de notícias, a Superintendência de Defesa Civil e por meio de visitas *in loco*. No total, foram encontrados 34 registros, abrangendo o período de 2013 a 2022, os quais representam episódios de inundações ou alagamentos ocorridos nas áreas de maior suscetibilidade, conforme o mapeamento realizado neste estudo. Esses registros foram elencados em função das sete Regionais do município de Jaboatão dos Guararapes, em que as Figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38 representam os episódios de inundação ou alagamento ocorridos nas Regionais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente. Todas essas verificações endossam a eficácia do AHP, demonstrando o nível de precisão desse método.

Conforme Karymbalys et al. (2021), outra alternativa para validação de um mapeamento quanto ao risco de inundação é a partir da sobreposição de resultados produzidos pela aplicação do modelo hidrodinâmico HEC-RAS, sendo estes comparados às áreas classificadas como de alta e muito alta suscetibilidade à inundação. Nessa perspectiva, Rahmati et al. (2016)

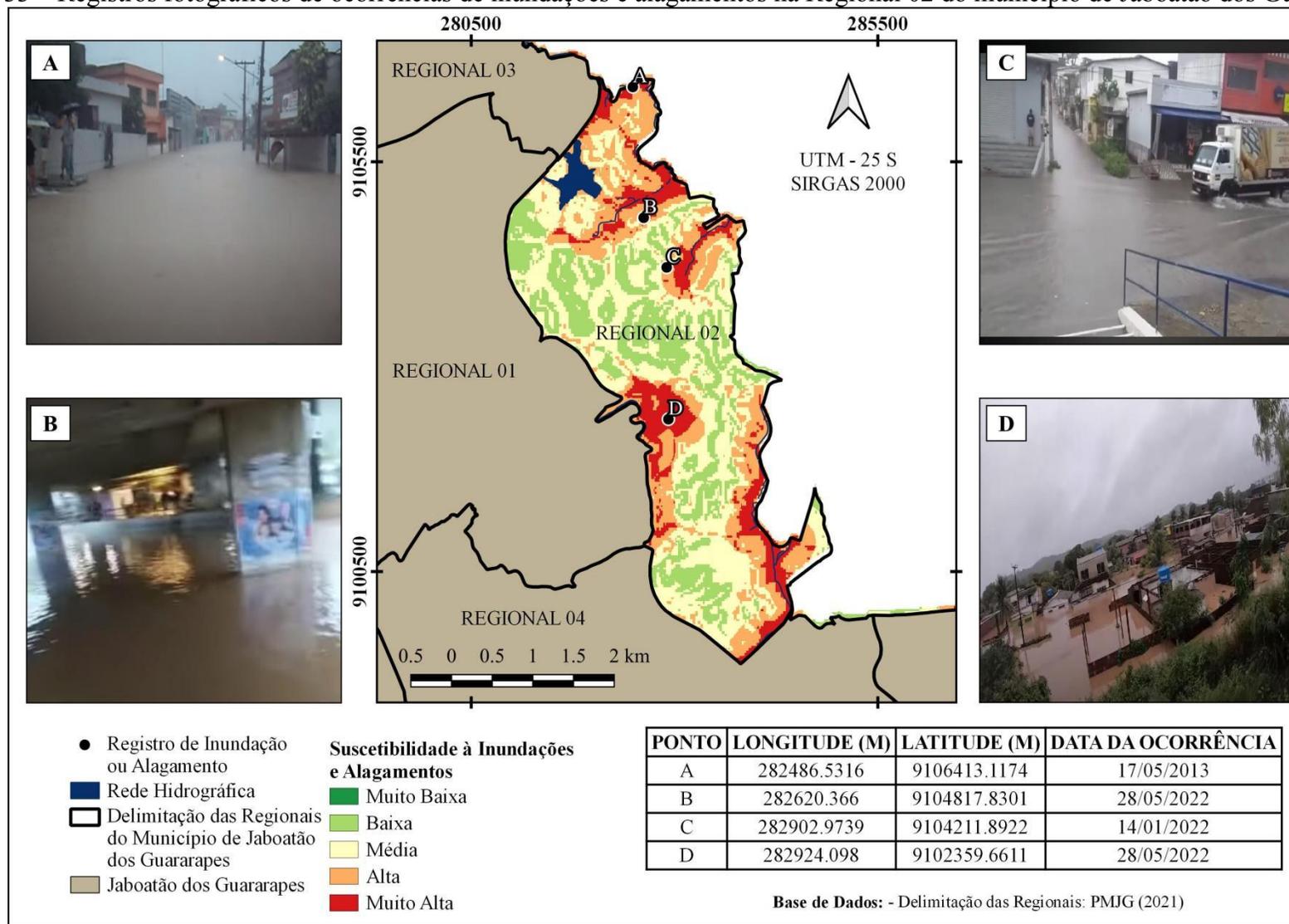
identificaram, utilizando o AHP, as zonas de risco de inundações do rio Yasooj, em Ysuj, cidade do Irã, e compararam os resultados com uma simulação de inundação (em extensão e profundidade), produzida a partir do modelo HEC-RAS. Após a validação dos resultados, os autores mostraram que a técnica AHP é promissora para fazer previsões precisas e confiáveis para a extensão das inundações.

Figura 32 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 01 do município de Jaboatão dos Guararapes.



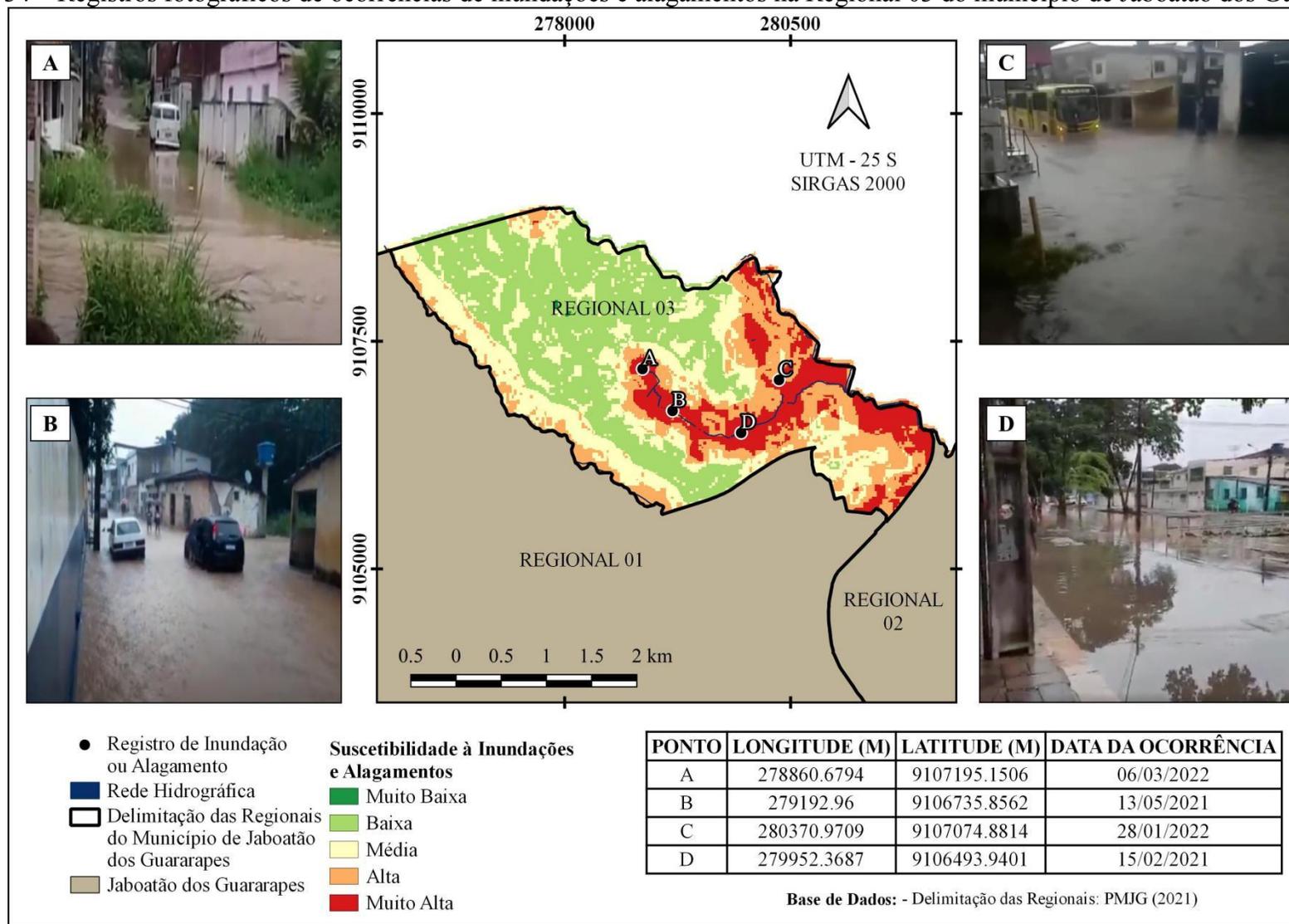
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 02 do município de Jaboatão dos Guararapes.



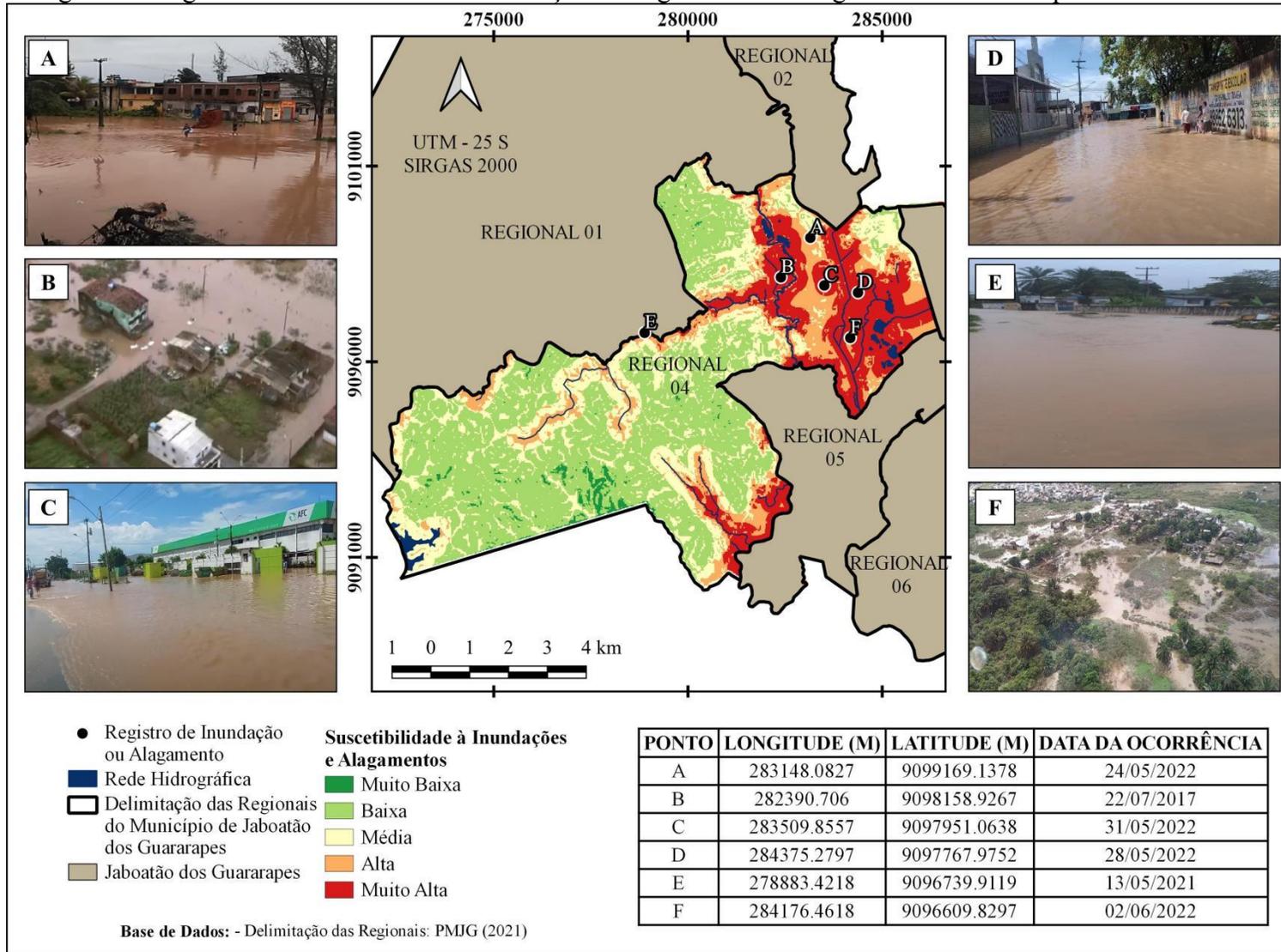
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 03 do município de Jaboatão dos Guararapes.



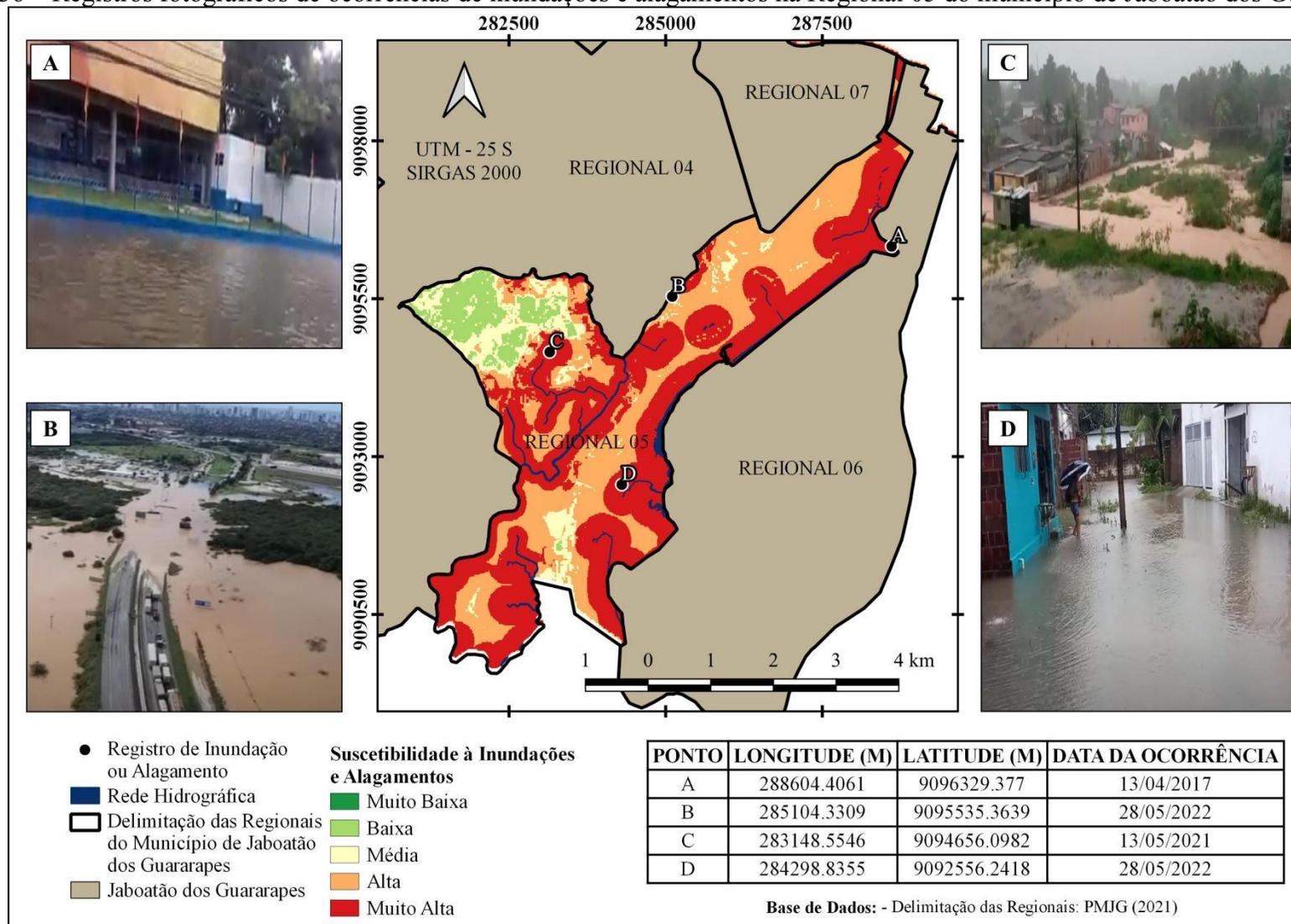
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 04 do município de Jaboatão dos Guararapes.



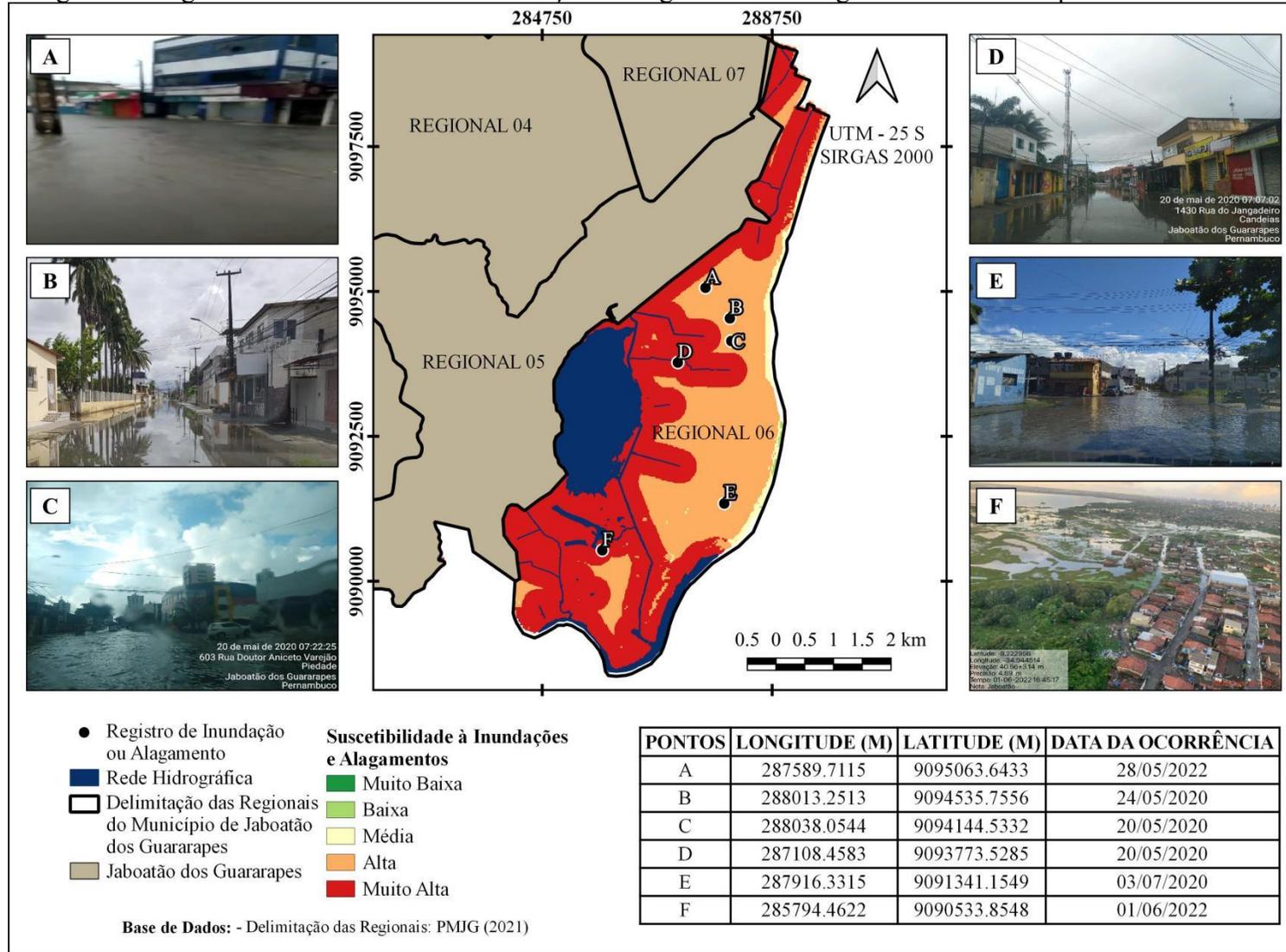
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 36 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 05 do município de Jaboatão dos Guararapes.



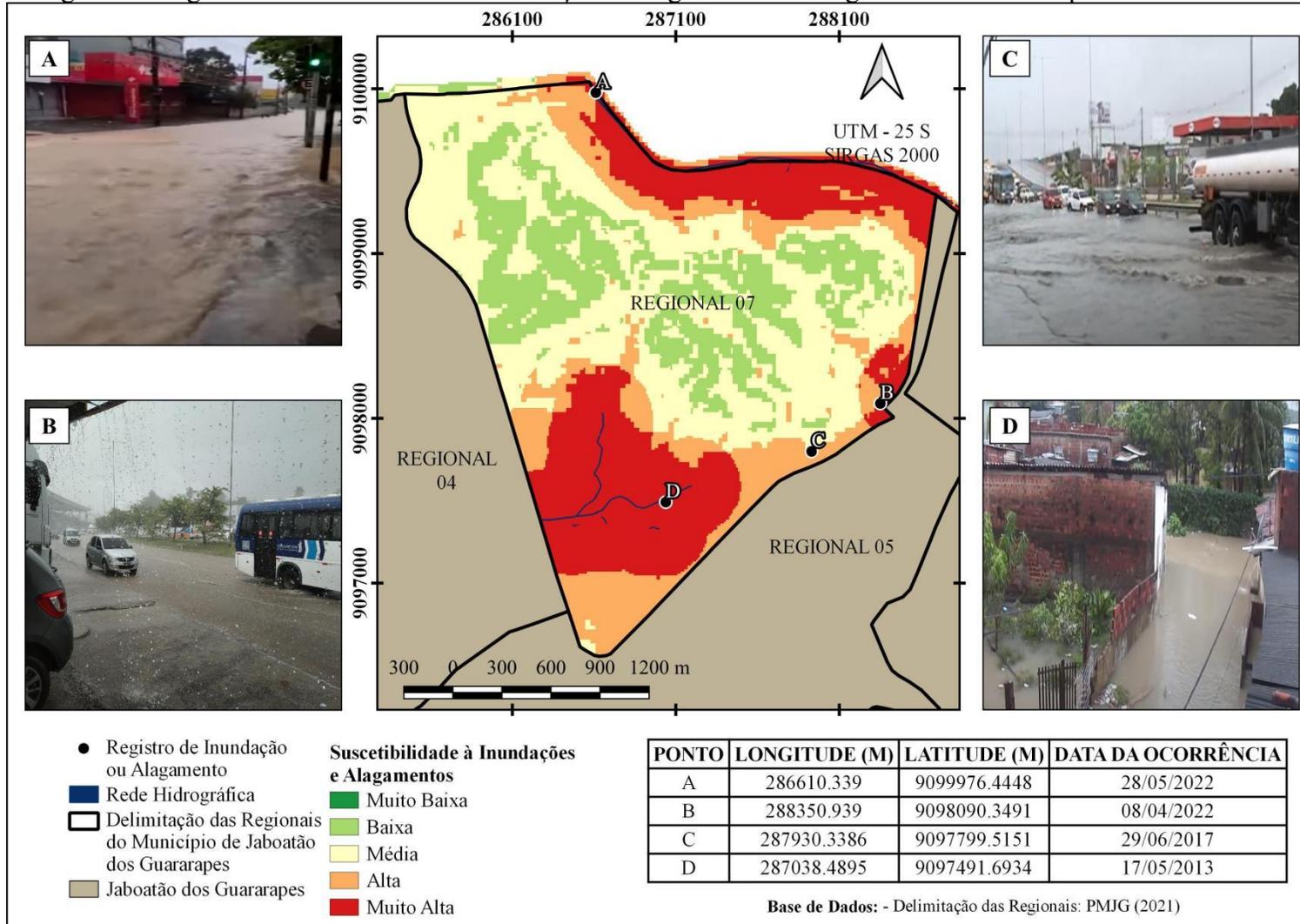
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 06 do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

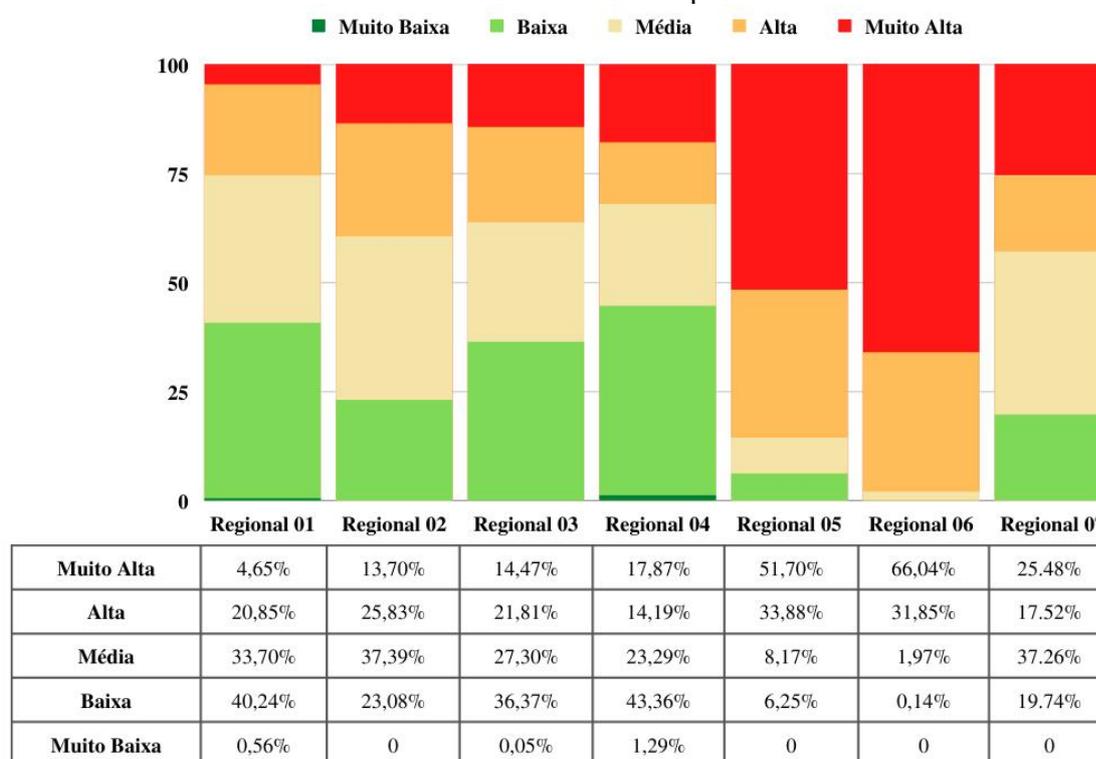
Figura 38 – Registros fotográficos de ocorrências de inundações e alagamentos na Regional 07 do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da confrontação do mapeamento de suscetibilidade à inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes com os registros das ocorrências desses desastres por Regional, foi verificado que a Regional 06 apresenta maior propensão à inundações e alagamentos, enquanto a Regional 01 é a que apresenta menores índices de suscetibilidade. Analisando a Figura 39, pode-se observar que a Regional 06 apresentou 97,89% de sua área sendo representada pelas categorias de suscetibilidade à inundações e alagamentos alta e muito alta, seguida, respectivamente, das Regionais 05 (85,58%), 07 (43,00%), 02 (39,53%), 03 (36,28%), 04 (32,06%) e 01 (25,50%).

Figura 39 – Percentuais de área por grau de suscetibilidade nas Regionais do município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a definição das áreas suscetíveis à inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, torna-se possível estabelecer os locais que são essenciais à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana. Verificou-se que a região mais afetada propensa à episódios de inundações e alagamentos no município é a Regional 06, a qual contempla a região costeira. Isso se deve às suas características físicos-naturais e ao seu elevado grau de urbanização.

Nessa região, destaca-se a recorrência de inundações e alagamentos no bairro Barra de Jangada, como mostram os registros da Figura 40. Esse bairro retrata uma significativa importância para o município de Jaboatão dos Guararapes, uma vez que apresenta uma grande especulação imobiliária no litoral da região, contribuindo na instalação de grandes empreendimentos imobiliários, empresariais e hoteleiros que funcionam como grandes ímãs para atrair mão-de-obra de vários locais do país e do mundo (ARAÚJO, 2017). Portanto, nesse bairro foi definido uma região para implantação da técnica de reservatórios em lotes, a fim de reduzir o pico de vazão e o volume total de escoamento.

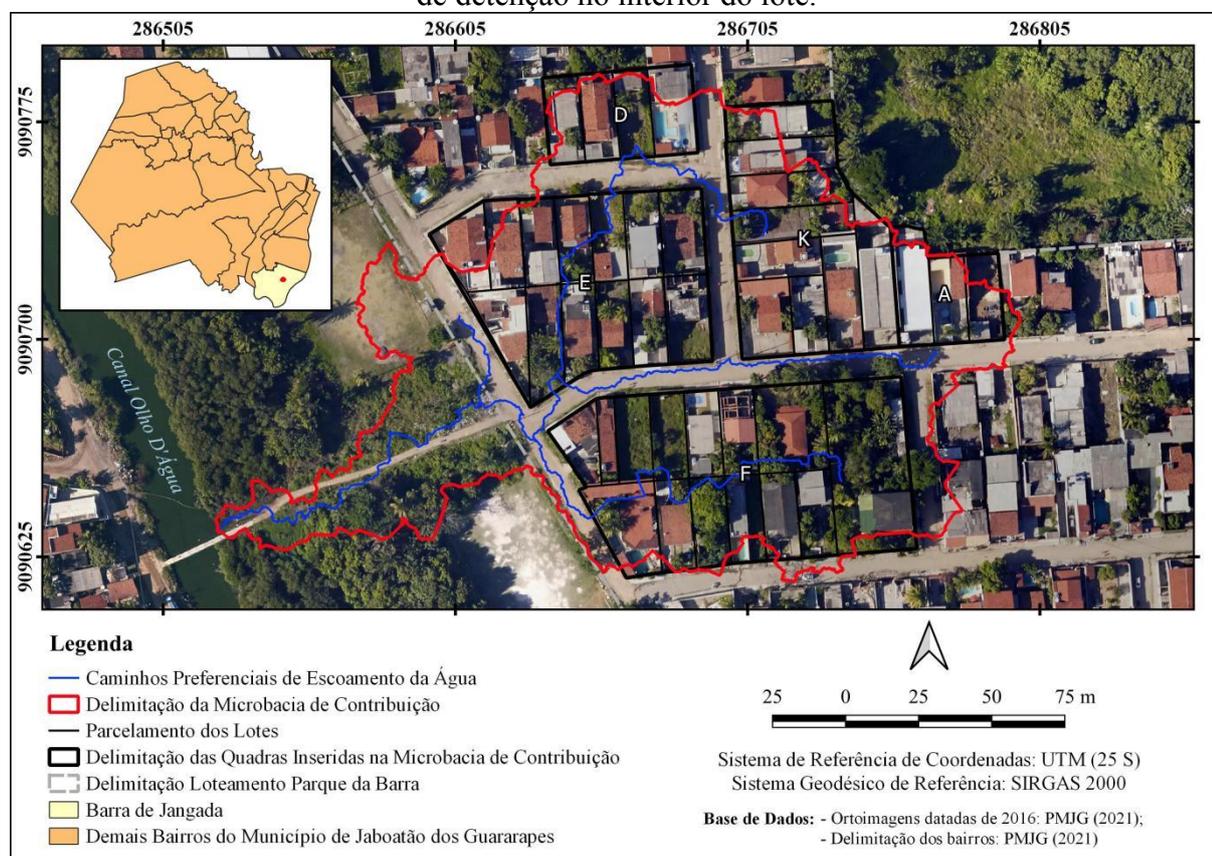
Figura 40 – Registros fotográficos de inundações e alagamentos ocorridos no bairro Barra de Jangada ocorridos nos dias 03 de julho de 2020 (A), 16 de abril de 2021 (B) e 1º de junho de 2022 (C), (D), (E) e (F).



Fonte: O autor (Imagens A e B) e PMJG (Imagens C a F).

A região do bairro Barra de Jangada escolhida para implantação do reservatório de retenção no interior do lote se constitui por uma microbacia de, aproximadamente, 2,60 ha, localizada no loteamento Parque da Barra, como apresenta a Figura 41. Essa região se caracteriza por estar situada nas proximidades do canal Olho D'Água, o qual se configura como um dos principais alimentadores da lagoa Olho d'Água, interligando-a ao estuário do rio Jaboatão. A microbacia abrange as quadras "E", "F" e parte das quadras "A", "D" e "K" do referido loteamento e apresenta sua seção de controle no canal Olho D'Água.

Figura 41 – Localização da microbacia escolhida para implantação do sistema de reservatório de retenção no interior do lote.



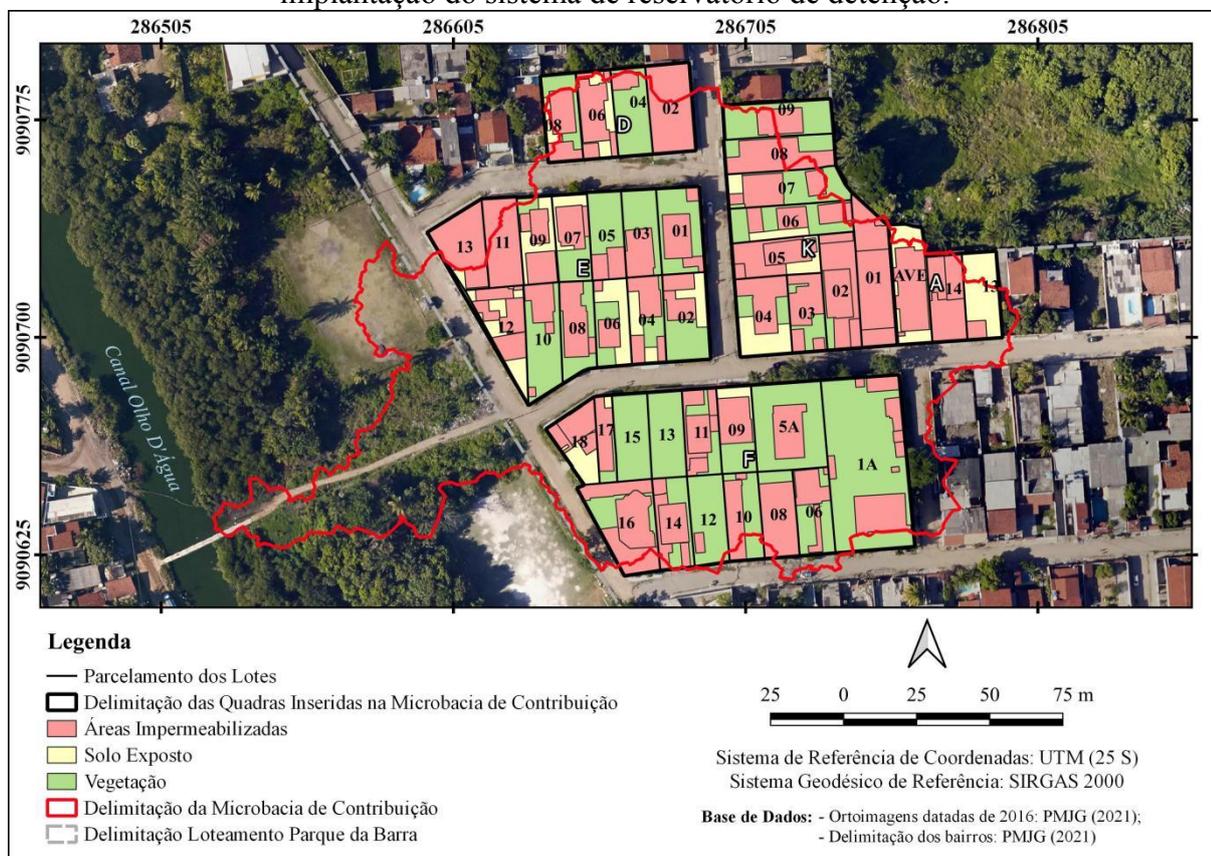
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os reservatórios de retenção no lote foram dimensionados a partir do modelo matemático descrito no Código de Obras do município de Jaboatão dos Guararapes, o qual considera os valores do coeficiente de abatimento, da área impermeabilizada no lote e do índice pluviométrico. Como os valores do coeficiente de abatimento e do índice pluviométrico,

segundo o Código de Obras municipal, são constantes e correspondentes a 0,15 e 0,06, respectivamente, foi necessário identificar as áreas impermeabilizadas no interior de cada lote.

Essa análise foi realizada a partir de uma foto interpretação, baseada numa restituição estereofotogramétrica, em que possível definir as áreas impermeáveis, representadas pelas coberturas das edificações e pisos exteriores revestidos, e as áreas permeáveis, caracterizadas pela presença de solo exposto e vegetação. As representações e as quantificações dessas áreas estão apresentadas na Figura 42 e na Tabela 13, respectivamente.

Figura 42 – Identificação das áreas, quanto à permeabilidade, nos lotes considerados para implantação do sistema de reservatório de detenção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 – Quantificação das áreas, quanto à permeabilidade, nos lotes considerados para implantação do sistema de reservatório de detenção.

Quadra	Lote	Área		Área Total (m <sup>2</sup> )
		Impermeável (m <sup>2</sup> )	Permeável (m <sup>2</sup> )	
A	13	43,64	314,11	357,75
	14	363,28	0,00	363,28
	AVE	292,78	199,42	492,20
D	02	456,11	0,00	456,11
	04	51,11	309,77	360,88
	06	252,23	109,58	361,81
	08	191,51	173,49	365,00
	01	195,83	244,80	440,63
	02	145,45	305,81	451,26
	03	153,73	209,91	363,64
	04	193,37	166,66	360,03
	05	116,17	238,40	354,57
	06	81,86	272,30	354,16
E	07	147,97	208,39	356,36
	08	228,16	149,76	377,92
	09	203,69	158,00	361,69
	10	134,85	325,61	460,46
	11	368,98	0,00	368,98
	12	269,01	147,79	416,80
	13	367,52	22,06	389,58
	1A	400,75	1211,26	1612,01
	5A	189,54	533,84	723,38
	6	159,94	205,74	365,68
	8	308,97	50,82	359,79
	9	175,08	184,21	359,29
	10	173,84	187,74	361,58
F	11	260,63	97,57	358,20
	12	22,08	350,21	372,29
	13	0,00	358,00	358,00
	14	247,18	127,02	374,20
	15	0,00	357,76	357,76
	16	488,66	132,95	621,61
	17	134,52	49,36	183,88
	18	196,34	116,72	313,06
K	01	568,82	0,00	568,82
	02	440,79	43,05	483,84
	03	236,07	86,38	322,45
	04	221,07	264,42	485,49
	05	311,42	68,15	379,57
	06	191,01	287,79	478,80
	07	224,87	252,24	477,11
	08	328,87	114,67	443,54
	09	136,70	312,12	448,82

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A partir da definição dos valores das áreas impermeáveis (AI) de cada lote e com os valores, previamente definidos, do coeficiente de abatimento (K) e do índice pluviométrico (IP), foi possível dimensionar o volume dos reservatórios de detenção (V), como apresenta a Tabela 14. Conforme os dimensionamentos apresentados, foi verificado que, dos 45 lotes em estudo, apenas dois, ou seja, o 13 e o 15 da quadra “F”, não necessitaram da utilização do reservatório por não apresentar nenhum tipo de construção em seu interior. Ainda de acordo com os dimensionamentos, foi possível constatar que os volumes dos reservatórios variaram de 0,20 m<sup>3</sup> até 5,12 m<sup>3</sup>, sendo o de menor volume referente ao lote 12 da quadra “F” e o de maior volume, ao lote 01 da quadra “K”.

Tabela 14 – Dimensionamento dos volumes dos reservatórios de detenção no lote considerados para a região do estudo.

(continua)

Quadra	Lote	K	AI (m <sup>2</sup> )	IP	Volume do Reservatório (m <sup>3</sup> )	Reservatório Comercial (L)
A	13	0,15	43,64	0,06	0,39	500
	14	0,15	363,28	0,06	3,27	2.000 + 1.500
	AVE	0,15	292,78	0,06	2,64	1.500 + 1.500
D	02	0,15	456,11	0,06	4,10	2 x 2.000 + 500
	04	0,15	51,11	0,06	0,46	500
	06	0,15	252,23	0,06	2,27	2.000 + 500
	08	0,15	191,51	0,06	1,72	2.000
	01	0,15	195,83	0,06	1,76	2.000
	02	0,15	145,45	0,06	1,31	1.500
	03	0,15	153,73	0,06	1,38	1.500
	04	0,15	193,37	0,06	1,74	2.000
	05	0,15	116,17	0,06	1,05	1.000 + 500
	06	0,15	81,86	0,06	0,74	1.000
E	07	0,15	147,97	0,06	1,33	1.000 + 500
	08	0,15	228,16	0,06	2,05	2.000 + 500
	09	0,15	203,69	0,06	1,83	2.000
	10	0,15	134,85	0,06	1,21	1.500
	11	0,15	368,98	0,06	3,32	2.000 + 1.500
	12	0,15	269,01	0,06	2,42	2.000 + 500
	13	0,15	367,52	0,06	3,31	2.000 + 1.500

Tabela 14 – Dimensionamento dos volumes dos reservatórios de detenção no lote considerados para a região do estudo.

(conclusão)							
Quadra	Lote	K	AI (m <sup>2</sup> )	IP	Volume do Reservatório (m <sup>3</sup> )	Reservatório Comercial (L)	
F	1A	0,15	400,75	0,06	3,61	2 x 2.000	
	5A	0,15	189,54	0,06	1,71	2.000	
	6	0,15	159,94	0,06	1,44	1.500	
	8	0,15	308,97	0,06	2,78	2.000 + 1.000	
	9	0,15	175,08	0,06	1,58	2.000	
	10	0,15	173,84	0,06	1,56	2.000	
	11	0,15	260,63	0,06	2,35	2.000 + 500	
	12	0,15	22,08	0,06	0,20	500	
	13	0,15	0,00	0,06	0,00	-	
	14	0,15	247,18	0,06	2,22	2.000 + 500	
	15	0,15	0,00	0,06	0,00	-	
	16	0,15	488,66	0,06	4,40	5.000	
	17	0,15	134,52	0,06	1,21	1.500	
	18	0,15	196,34	0,06	1,77	2.000	
	K	01	0,15	568,82	0,06	5,12	5.000 + 500
		02	0,15	440,79	0,06	3,97	2 x 2.000
		03	0,15	236,07	0,06	2,12	2.000 + 500
		04	0,15	221,07	0,06	1,99	2.000
05		0,15	311,42	0,06	2,80	2.000 + 1.000	
06		0,15	191,01	0,06	1,72	2.000	
07		0,15	224,87	0,06	2,02	2.000 + 500	
08		0,15	328,87	0,06	2,96	2.000 + 1.000	
09		0,15	136,70	0,06	1,23	1.500	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Devido à condição de os lotes já estarem ocupados por edificações, foram adotados reservatórios em polietileno ou em fibra de vidro, conforme apresenta o modelo da Figura 43. Como consta na Tabela 14, esses reservatórios foram selecionados em razão da disponibilidade no comércio, de modo que suas capacidades fossem maiores ou iguais aos valores dos volumes dimensionados a partir do modelo matemático disposto no Código de Obras do município de Jabotão dos Guararapes. Vale ressaltar que em alguns casos foi necessário associar mais de um reservatório para que o volume calculado fosse alcançado ou superado.

Com a implantação do sistema, para um evento chuvoso de 15 minutos de duração e de cinco anos de tempo de recorrência, deixarão de ser lançados 87,07 m<sup>3</sup> de águas precipitadas na microbacia considerada pelo estudo, valor que pode ser verificado a partir do somatório dos

volumes de cada reservatório dimensionado. Levando em conta os parâmetros elencados na Tabela 15, pode-se verificar que um evento chuvoso com as referidas características de duração e tempo de recorrência produz 238,57 m<sup>3</sup> de volume escoado. Portanto, considerando o volume que deixará de ser lançado e o volume escoado para as referidas condições, o sistema concederá uma eficiência de, aproximadamente, 36,50%, reduzindo os danos causados por alagamentos ou inundações.

Figura 43 – Modelo de reservatório de detenção no lote considerado para implantação do sistema.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15 – Parâmetros considerados para o cálculo do volume escoado.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Duração do evento (t)	15 minutos
Tempo de recorrência (Tr)	5 anos
Intensidade de precipitação (i)	107,2615 mm/h
Precipitação acumulada no instante “t” (P)	26,8154 mm
<i>Curve Number</i> (CN)	90
Retenção potencial do solo (S)	28,2222
Precipitação efetiva (Pef)	9,0750 mm
Área da microbacia (Ac)	26.289,1891 m <sup>2</sup>
Volume escoado (Ve)	238,5744 m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Caso o sistema seja considerado, deverá custar R\$ 102.519,78, como mostra a Tabela 16. Sendo este valor composto por R\$ 97.178,97, referente aos materiais, e R\$ 5.340,81, à mão de

obra. Os itens considerados neste orçamento foram extraídos da tabela de insumos do SINAPI, tendo como referência o período de agosto de 2022 e o estado de Pernambuco, os quais são compostos pela Caixa Econômica Federal em função de cada Unidade da Federação.

Tabela 16 – Planilha orçamentária considerando a implantação dos reservatórios de detenção nos lotes da região do estudo.

(continua)

Item	Código	Discriminação	Unid.	Quant.	Valor (R\$)	
					Unit.	Total
<b>MATERIAIS</b>						
01	00012618	Calha pluvial de PVC, diâmetro entre 119 e 170 mm, comprimento de 3 m, para drenagem predial.	UND	191,00	54,45	10.399,95
02	00012614	Bocal PVC, para calha pluvial, diâmetro da saída entre 80 e 100 mm, para drenagem predial.	UND	43,00	22,83	981,69
03	00012615	Abraçadeira PVC, para calha pluvial, diâmetro entre 80 e 100 mm, para drenagem predial.	UND	123,00	4,91	603,93
04	00012616	Cabeceira direita ou esquerda, PVC, para calha pluvial, diâmetro entre 119 e 170 mm, para drenagem predial.	UND	82,00	6,77	555,14
05	00012623	Condutor pluvial, PVC, circular, diâmetro entre 80 e 100 mm, para drenagem predial.	M	123,00	14,18	1.744,14
06	00012624	Emenda para calha pluvial, PVC, diâmetro entre 119 e 170 mm, para drenagem predial.	UND	150,00	13,62	2.043,00
07	00012627	Vedação de calha, em borracha cor preta, medida entre 119 e 170 mm, para drenagem pluvial predial.	UND	82,00	0,54	44,28
08	00012628	Joelho PVC, 60 graus, diâmetro entre 80 e 100 mm, para drenagem pluvial predial.	UND	110,00	8,57	942,70
09	00012629	Joelho PVC, 90 graus, diâmetro entre 80 e 100 mm, para drenagem pluvial predial.	UND	55,00	9,30	511,50
10	00020059	Esquadro interno ou externo para calha pluvial, PVC, diâmetro entre 119 e 170 mm, para drenagem predial.	UND	13,00	19,32	251,16
11	00020061	Suporte de PVC para calha pluvial, diâmetro entre 119 e 170 mm, para drenagem predial.	UND	1047,00	3,90	4.083,30
12	00020062	Haste metálica para fixação de calha pluvial, zincada, dobrada 90 graus.	UND	82,00	16,91	1.386,62
13	00020063	Acoplamento de condutor pluvial, em PVC, diâmetro entre 80 e 100 mm, para drenagem predial.	UND	43,00	4,88	209,84

Tabela 16 – Planilha orçamentária considerando a implantação dos reservatórios de detenção nos lotes da região do estudo.

Item	Código	Discriminação	Unid.	Quant.	Valor (R\$)	
					Unit.	Total
(conclusão)						
<b>MATERIAIS</b>						
14	00007568	Bucha de nylon sem aba s10, com parafuso de 6,10 x 65 mm em aço zincado com rosca soberba, cabeça chata e fenda PHILLIPS.	UND	1170,00	1,10	1.287,00
15	00034637	Caixa d'água em polietileno 500 litros, com tampa.	UND	14,00	223,56	3.129,84
16	00034636	Caixa d'água em polietileno 1000 litros, com tampa.	UND	6,00	389,90	2.339,40
17	00034639	Caixa d'água em polietileno 1500 litros, com tampa.	UND	9,00	791,88	7.126,92
18	00034640	Caixa d'água em polietileno 2000 litros, com tampa	UND	24,00	889,49	21.347,76
19	00037105	Caixa d'água fibra de vidro para 5000 litros, com tampa.	UND	2,00	2.932,05	5.864,10
20	00000075	Adaptador PVC soldável, com flanges livres, 110 mm x 4", para caixa d' água.	UND	55,00	458,60	25.223,00
21	00000068	Adaptador PVC soldável, com flanges livres, 32 mm x 1", para caixa d'água.	UND	110,00	25,55	2.810,50
22	00011675	Registro de esfera, PVC, com volante, vs, soldável, DN 32 mm, com corpo dividido.	UND	55,00	38,72	2.129,60
23	00009869	Tubo PVC, soldável, DN 32 mm, água fria (NBR-5648).	M	110,00	11,11	1.222,10
24	00020080	Adesivo plástico para PVC, frasco com 175 gr.	UND	50,00	18,83	941,50
<b>Sub-Total</b>						<b>97.178,97</b>
<b>MÃO DE OBRA</b>						
01	00040928	Encanador ou bombeiro hidráulico (mensalista).	MES	0,75	2.844,82	2.133,62
02	00040927	Auxiliar de encanador ou bombeiro hidráulico (mensalista).	MES	1,50	2.138,13	3.207,20
<b>Sub-Total</b>						<b>5.340,81</b>
<b>Total Geral</b>						<b>102.519,78</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados oriundos do SINAPI (2022).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo realizar o mapeamento das áreas de suscetibilidade à inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco. A metodologia proposta para elaboração desse mapeamento foi baseada na tecnologia do SIG aliada ao AHP e levou em consideração diversos fatores condicionantes aos referidos desastres hidrológicos, como a declividade, a hipsometria, o uso e ocupação do solo, a pedologia, a distância entre corpos hídricos, os índices de precipitação e a densidade urbana.

Por meio dos resultados alcançados, foi possível demonstrar que as regiões que apresentam maiores propensões à inundações e alagamentos abrangem, aproximadamente, 105,50 km<sup>2</sup> do território municipal, o que corresponde a 41,00% da área total estudada. Essas regiões são as que possuem uma distinta combinação de fatores associados, sobretudo, a proximidade aos corpos hídricos, as baixas declividades e altitudes, fortes índices de urbanização e solos com baixa capacidade de infiltração.

Ainda de acordo com os resultados produzidos, 25,55%, 32,83% e 0,62% do município de Jaboatão dos Guararapes representam, respectivamente, as regiões de média, baixa e muito baixa suscetibilidade à inundações e alagamentos, sendo conferidas, principalmente, na Zona Rural do município, nas porções de maiores declividades e altitudes, como os morros, e nas regiões de vegetação florestal, como as Reservas Ecológicas ou Naturais e Matas, as quais representam fragmentos de Mata Atlântica.

Para avaliar o desempenho do referido mapeamento, foram realizadas validações perante a 326 registros de ocorrências de inundações e alagamentos, comunicados à Superintendência de Defesa Civil de Jaboatão dos Guararapes durante os meses de maio de junho de 2022, a um mapeamento de suscetibilidade à inundações para o município de Jaboatão dos Guararapes elaborado a partir do modelo HAND, em que foi considerada uma cota de 4,81 m, e com 34 registros fotográficos de desastres hidrológicos ocorridos no território municipal, levantados por meio de visitas *in loco*, redes sociais, *sites* de notícias e pela Superintendência de Defesa Civil para um período compreendido entre 2013 e 2022.

A partir da realização das validações para o mapeamento produzido por meio do AHP, foram conferidas acurácias de 97,24%, em relação à sobreposição dos registros de inundações e alagamentos comunicados à Defesa Civil, e de 89,34%, em comparação ao mapeamento de suscetibilidade à inundações elaborado através do modelo HAND. Acerca dos 34 registros fotográficos de episódios de inundações e alagamentos verificados no município de Jaboatão dos Guararapes, todos coincidiram em estar situados em áreas de alta ou muito alta suscetibilidade à inundação ou alagamento. Todas essas constatações endossaram a eficácia do AHP.

A partir do mapeamento, foi verificado que das sete Regionais que compõem o município de Jaboatão dos Guararapes, a Regional 06 apresenta maior propensão à inundações e alagamentos. Dessa forma, no loteamento Parque da Barra, situado no bairro Barra de Jangada, foi elegida uma microbacia de, aproximadamente, 2,60 ha para implantação da técnica compensatória de reservatórios de retenção em lotes, a fim de reduzir o pico de vazão e o volume total de escoamento. Caso o sistema fosse implantado, seria reduzida uma parcela de 36,50% do volume escoado na bacia, considerando um evento chuvoso de 15 minutos de duração e cinco anos de tempo de recorrência, e o investimento seria de R\$ 102.519,78.

De modo geral, a utilização do AHP aliado ao SIG quanto ao mapeamento de áreas suscetíveis à inundações e alagamentos se constitui como uma alternativa vantajosa quanto à aplicabilidade e viabilidade, permitindo tomadas de decisões por gestores e/ou profissionais da área. Essa vantagem se deve, sobretudo, ao baixo custo e à fácil manipulação dos dados, possibilitando uma grande variedade de aplicações em que outros fatores podem ser considerados, principalmente em locais em que o acesso é deficitário. Por fim, destaca-se a importância da elaboração de estudos geoambientais com o intuito de subsidiar um planejamento ambiental e urbano visando o uso ordenado da terra de forma a mitigar a ocorrência de desastres de natureza hidrológica ou de qualquer outra ordem.

## **7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Apesar da grande eficácia da metodologia aplicada neste estudo, sendo comprovada por meio de validação, recomenda-se algumas possibilidades para trabalhos futuros:

- Considerar outros fatores que não foram incluídos neste trabalho, tais como: a densidade de drenagem, a geologia, a hierarquia fluvial, o fluxo acumulado de água, o NDVI, o CN e entre outros.
- Considerar o desempenho do sistema de drenagem urbana, indicando as regiões em que é conferido o funcionamento adequado do sistema e as que não apresentam o desempenho suficiente.
- Expandir a implantação da técnica compensatória especificada neste estudo para toda porção urbana do município, a fim de reter parte das águas pluviais escoadas, reduzindo danos causados por alagamentos ou inundações.
- Avaliar a utilização de outros tipos de técnicas compensatórias para o manejo das águas pluviais urbanas, como jardins de chuva, telhados verdes, pavimentos permeáveis e entre outros, bem como a combinação das mesmas, verificando a eficiência quanto a redução do volume escoado.

## REFERÊNCIAS

- ABATTI, B. H.; TSCHOKE, G. V. Integração de medidas pontuais e distribuídas no controle de cheias na bacia do rio Itajaí do Sul. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. esp., p. 232-250, 2018.
- ABIDINE, R. Z.; ABDELMANSOUR, N. Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère et SIG : Cas de la wilaya d'Oran Nord-Ouest de l'Algérie. **Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement**, v. 3, n. 1., p. 67-73, 2018.
- ABREU, F. G.; ANGELINI SOBRINHA, L.; BRANDÃO, J. L. B. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 239-250, 2017.
- ALVES, P. B. R.; MELO FILHO, H.; TSUYUGUCHI, B. B.; RUFINO, I. A. A.; FEITOSA, P. H. C. Mapping of flood susceptibility in Campina Grande county – PB: A spatial multicriteria approach. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 24, n. 1, p. 28-43, 2018.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015. p. 39-52.
- AMAYA, A.; NTOUMBÉ, M.; DIGUIM, A. K.; KAH, E. Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée au Système d'Information Géographique (SIG): Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord, Cameroun). **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v. 33, n. 3., p. 491-501, 2021.
- ANDRADE, R. M. **Identificação de áreas de demanda por transporte público, baseado em análise multicritério**. 2013. 142 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento Pluviométrico**. 2022a. Disponível em: <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em: 30 de jan. de 2022.
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Acumulado mensal de precipitação maio/2022**. 2022b. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/uploads/MAIO-2022-.pdf>>. Acesso em: 30 de set. de 2022.
- ARAÚJO, D. C. **Metodologia para apoio à decisão na gestão das águas pluviais urbanas combinando métodos multicriterial e multidecisor**. 2016. 207 p. Tese (Doutorado) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- ARAÚJO, F. E. **Educação cartográfica: uso de imagens de sensoriamento remoto e mapas antigos no estudo da ocupação de Candeias e Barra de Jangada**. 2017. 140p.

Dissertação (Mestrado) - Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

ARCHER, N. A. L.; BELL, R. A.; AÇOUGUEIRO, A. S.; BRICKER, S. H. Infiltration efficiency and subsurface water processes of a sustainable drainage system and consequences to flood management. **Journal of Flood Risk Management**, v. 13, e12629, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 14. 2019.

AZEVEDO, J. P. L. **Aplicação do método multicritério AHP com objetivo de suporte a tomada de decisão em gerência de portfólios**. 2019. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Sistemas de Informação, Universidade Federal do Ceará, Quixadá, 2019.

BALAGUER, D. A.; ALVES, R. M. Análise multicritério e uso de SIG para projetos com uso de energia solar fotovoltaica: um estudo bibliométrico. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA, 3., 2021. **Anais....** Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 218–225.

BANDIM, C. G. A.; GALVÍNICO, J. D. Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: Estudo de caso avenida Caxangá. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 058-067, 2021.

BARBOSA, A. P.; SILVA, A. F.; ZIMBACK, C. R. L. Modelo numérico do terreno obtido por diferentes métodos em cartas planialtimétricas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 655-660, 2012.

BEGA, J. M. M.; RIBEIRO, N. U. F.; LIMA, C. G. R. Suscetibilidade a enchentes: estudo de caso na microbacia hidrográfica do Córrego da Onça em Três Lagoas - MS. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 3, p. 33-44, 2019.

BERTAHONE, P. B.; BRANDALISE, N. Uso do método Analytic Hierarchy Process (AHP) para escolha de fornecedor de farinha de trigo: Um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 18., 2017, Resende. **Anais...** Resende: Campus da Associação Educacional Dom Bosco, 2017. p. 01-13.

BEZERRA, P. E. S. **Modelagem espacial da vulnerabilidade à inundação no município de Marabá-PA com avaliação baseada em lógica fuzzy**. 2020. 80 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

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.

BRAGHIROLI, G. **Mapeamento 3D de áreas de risco a inundação a partir de dados Laser Escâner**. 2017. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Código Brasileiro de Desastres - Cobrade**. Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Cartilha de orientação à população no período de alerta de chuvas intensas**. Brasília, 2017.

BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A. Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 4, p. 805-819, 2015.

BOLSON, R. T.; TEIXEIRA, A. M. Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos no município de Caxias do Sul. **Revista CIATEC - UPF**, v. 12, n. 1, p. 1-20, 2020.

BORGES, F. O.; FERREIRA, V. O. Planícies de inundação e áreas inundáveis: análise comparativa dos conceitos mediante aplicação nas bacias hidrográficas do Ribeirão Bom Jardim e Rio das Pedras, Triângulo Mineiro. **Revista Cerrados**, v. 17, n. 1, p. 114-130, 2019.

CABRERA, J. S.; LEE, H. S. Flood-Prone Area Assessment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: A Case Study in Davao Oriental, Philippines. **Water**, v. 11, n. 11, 2203, 2019.

CAI, S.; FAN, J.; YANG, W. Flooding Risk Assessment and Analysis Based on GIS and the TFN-AHP Method: A Case Study of Chongqing, China. **Atmosphere**, v. 12, n. 5, 623, 2021.

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.

CAPRARIO, J. **Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas**. 2017. 223 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CARDOSO, T. A.; SANTOS, A. P. L. Métodos multicritério de apoio à decisão no planejamento de construções e reformas de edificações. **Revista ESPACIOS**, v. 37, n. 38, p. 12-31, 2017.

CARVALHO, C. B.; KORNOWSKI, M.; SOLANA-GONZÁLEZ, P.; VANTI, A. A. Aumento da capacidade de prestação de serviços por meio da escolha de fornecedores pelo método AHP. **Revista de Gestão Estratégica de Organizações**, v. 8, n. 1, p. 88-99, 2020.

CAVALCANTI, R. C.; TAVARES JUNIOR, J. R.; CANDEIAS, A. L. B. Simulação de mapeamento de riscos de inundações usando dados LiDAR: Estudo de caso da bacia do Rio Una - PE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 4, p. 703-716, 2013.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do Cemaden**. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>>. Acesso em: 30 de jan. de 2022.

CIRILO, J. A. **Geoprocessamento aplicado a recursos hídricos**. 12 abr. 2021. Google Classroom. Disponível em: <<https://classroom.google.com/u/7/c/MzA4Mjk5Mzg5OTg5/a/MzA5MjM3NzMxNTY0/details>>. Acesso em: 09 de mar. De 2022.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 755-763, 2014.

COELHO, A. L. N. SIG aplicado em inundações urbanas: Estudo de caso no município de Vitória - ES (Brasil). **Ciência Geográfica**, v. 20, n. 1, p. 33-43, 2016.

CORRÊA, C. V. S. A geotecnologia no monitoramento, alerta e prevenção de desastres - os desastres naturais e tecnológicos no cenário brasileiro e estudos de caso do emprego de geotecnologias como subsídio a sua mitigação. In: MAGNONI JÚNIOR, L. et al. (org.). **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. 2. ed. São Paulo: CPS, 2020. p. 390-417.

COSTA, H. B. **Perspectivas de rearranjo socioespacial a partir da produção imobiliária de alto padrão no bairro de Barra de Jangada – Jaboatão dos Guararapes – PE**. 2019. 114 p. Dissertação (Mestrado) - Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

COSTA, L. K. A. **Geotecnologias aplicadas ao estudo de alagamentos: Caso da Avenida Araguaia em Araguaia – TO**. 2021. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil de Infraestrutura, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

COSTA, S. B. **Identificação de áreas vulneráveis à inundação: Estudo de caso do município de Pimenta Bueno-RO**. 2019. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

COSTA, V. C.; RIBEIRO, M. F. O geoprocessamento na delimitação e na prevenção de áreas de risco e movimento de massas. In: CARDOSO, C. K.; SILVA, M. S.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Geografia e os riscos socioambientais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. p. 173-202.

COSTACHE, R.; BAO PHAM, Q.; CORODESCU-ROȘCA, E.; CÎMPIANU, C.; HONG, H.; THI THUY LINH, N.; MING FAI, C.; NAJAH AHMED, A.; VOJTEK, M.; MUHAMMED PANDHIANI, S.; MINEA, G.; CIBOTARU, N.; CRISTIAN POPA, M.; DIACONU, D.C.; THAI PHAM, B. Using GIS, Remote Sensing, and Machine Learning to Highlight the Correlation between the Land-Use/Land-Cover Changes and Flash-Flood Potential. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, 1422, 2020.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente. **Unidade de conservação - FURB Mata de Jangadinha**. 2022. Disponível em: <<http://www2.cprh.pe.gov.br/uc/furb-mata-de-jangadinha/>>. Acesso em: 30 de set. de 2022.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. Porto Alegre: CPRM, 2014. 10 p.

CRUVINEL, L.; MATSUOKA, J. V.; NETO, J. B. S.; SÁ, E. O. DE; RODRIGUES B. P.; ROFATTO, V. F., MATSUOKA, M. T. Elaboração e análise de modelo digital de terreno com dados de posicionamento GNSS-RTK e dois interpoladores. **GETEC**, v.10, n. 34, p. 45-63, 2021.

DALANHOL, I. **Identificação de áreas suscetíveis a inundações no perímetro urbano do município de Pato Branco/PR por meio da integração SIG e AHP**. 2020. 97 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.

DANUMAH, J. H., ODAI, S. N., SALEY, B. M. et al. Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (cote d'ivoire). **Geoenviron Disasters**, v. 3, n. 10, 2016.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Mapa de Solos do Brasil**. 2018. Disponível em [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104). Acesso em 17 set. 2022.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Análise da susceptibilidade à ocorrência de inundações por meio do uso de média ponderada e geoprocessamento em Dona Francisca – RS. **Revista TECNO-LÓGICA**, v. 25, n. 1, p. 47-58, 2021.

FARIAS, R. F. L. **Climatologia de ocorrência de eventos extremos pluviais no município de Jaboatão dos Guararapes/PE e a repercussão dos transtornos provocados na sociedade**. 2015. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

FERNANDES, V. J. M.; MARTINS, E. F. O.; POZ, A. P. D.; IMAI, N. N. Filtragem de nuvem laser para geração de MDT por krigagem. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 196-212, 2017.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FONSECA NETO, G. C.; SILVA JUNIOR, M. A. B.; RODRIGUES, A. B.; RIBEIRO NETO, A.; CABRAL, J. J. S. P. Modelagem bidimensional para a verificação hidráulica da canalização de um trecho do rio Fragoso em Olinda (Pernambuco, Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2963-2977, 2020.

FRANÇA, R. S.; GIRÃO, O.; MIRANDA, M. R. B.; RAFAEL, L. M. Identificação de áreas inundáveis no município de Jaboatão dos Guararapes – Região Metropolitana do Recife/PE. **OKARA: Geografia em debate**, v. 9, n. 3, p. 3-22, 2016.

FREIMAN, F. P.; CARVALHO, C. O. Modelagem espacial de áreas suscetíveis a inundações em um modelo multicritério híbrido e Sistema de Informação Geográfica: um estudo de caso aplicado a bacia do Rio Bengalas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1145-1161, 2020.

FREITAS, F. P.; FARIAS, H. S. Mapeamento participativo para identificação das áreas sob ameaça de inundação no bairro Parque Mambucaba, Angra dos Reis/RJ. **Continentes**, v. 8, n. 15, p. 4-27, 2019.

FRUTUOSO, G. K. C.; GRIGIO, A. M.; BARROS, T. C. A. N. Inundações urbanas: um olhar para o planejamento urbano na revisão do plano diretor de Assú – RN, Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 61, p. 118-134, 2020.

G1 PE. **Grande Recife registra pontos de alagamento após chuvas**. G1 PE, Recife, 22 de jul. de 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pernambuco/noticia/grande-recife-registra-pontos-de-alagamento-apos-chuvas.ghtml>>. Acesso em: 30 de jan. de 2022.

G1 PE. **Recife tem alagamentos e transtornos em diversos bairros após chuvas**. G1 PE, Recife, 01 de mar. de 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2021/03/01/recife-registra-alagamentos-em-diversos-bairros-apos-chuvas.ghtml>>. Acesso em: 30 de jan. de 2022.

G1 PE; TV GLOBO. **Mais de 1,6 mil pessoas deixam suas casas após as chuvas no Grande Recife e Zona da Mata**. G1 PE, Recife, 26 de jul. de 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2019/07/26/mais-de-16-mil-pessoas-deixam-suas-casas-apos-as-chuvas-no-grande-recife-e-zona-da-mata.ghtml>>. Acesso em: 30 de jan. de 2022.

GAIDA, W.; BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 229-248, 2020.

GARCIA-AYLLON, S.; RADKE, J. Geostatistical Analysis of the Spatial Correlation between Territorial Anthropization and Flooding Vulnerability: Application to the DANA Phenomenon in a Mediterranean Watershed. **Applied Sciences**, v. 11, n. 2, 809, 2021.

GLEASON, J. A. **Ciclo hidrológico natural y urbano**, 2017. Disponível em: <<https://agua.org.mx/actualidad/ciclo-del-agua/ciclo-hidrologico-natural-urbano/>>. Acesso em: 30 de jan. de 2022.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 1, p. 61-69, 2017.

GOMES, D. P. P.; CLEMENTINO, E. L.; SANTOS, R. E. C.; VERAS, S.; PAZ, D. H. F. Diagnóstico de áreas vulneráveis a inundações localizadas no Cabo de Santo Agostinho-PE (Brasil). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 96814-96824, 2020.

GOMES, J. V. P.; CUBAS, M. G. **Fundamentos do sensoriamento remoto**. Curitiba: Intersaberes, 2021.

GONÇALVES, L. M.; BAPTISTA, L. F. S.; RIBEIRO, R. A. O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 1, p. 92-106, 2016.

GOULART, L. P.; MATSUOKA, J. V. Análise das áreas suscetíveis à alagamentos e inundações na área urbana do município de Uberlândia – MG utilizando geoprocessamento e o Método de Análise Hierárquica AHP. **GETEC**, v.10, n. 34, p. 21-44, 2021.

GUEDES, F. L.; EL-DEIR, S. G.; JUCÁ, J. F. T.; LIMA, I. L. P. Multicritery analysis for prioritizing the energy use of urban solid waste as a fuel in Paulista-PE. **Production**, n. 31, e20210071, p. 1-13, 2021.

GUMIERO, R. G. Dimensões econômica e social dos impactos do PAC no Complexo Industrial Portuário de SUAPE-PE, em 2007-2015. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 14, n. 3, p. 101-123, 2018.

HERNANDEZ, L. C.; SZIGETHY, L. **Controle de enchentes: Exemplos do uso da tecnologia e inovação para o controle de enchentes**. 2020. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/231-controle-de-enchentes>>. Acesso em: 30 de jan. de 2022.

HOLANDA, M. A. C. R.; OLIVEIRA, D. B. C.; SOARES, W. A.; SILVA, S. R. Analysis of the viability of implementing sustainable proposals to reduce tunnel flooding in Recife, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1904-1913, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades: Jaboatão dos Guararapes**. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaboatao-dos-guararapes/panorama>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas territoriais**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em 17 set. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Downloads**. 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

IBRAHIN, F. I. D. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. São Paulo: Érica, 2014.

JABOATAO DOS GUARARAPES. Lei Municipal Nº 002, de 11 de janeiro de 2008. **Institui o Plano Diretor do município do Jaboatão dos Guararapes e estabelece as diretrizes para a sua implantação**. Jaboatão dos Guararapes, 2008.

JABOATAO DOS GUARARAPES. Lei Municipal Nº 972, de 16 de novembro de 2013. Estabelece a **Lei de Uso, Ocupação e Parcelamento do Solo do município do Jaboatão Dos Guararapes**. Jaboatão dos Guararapes, 2013a.

JABOATAO DOS GUARARAPES. Lei Municipal Nº 973, de 16 de novembro de 2013. **Regula as condições das Edificações e Instalações, no Município do Jaboatão dos Guararapes, e dá outras providências**. Jaboatão dos Guararapes, 2013b.

JABOATAO DOS GUARARAPES. Lei Municipal Nº 974, de 16 de novembro de 2013. **Dispõe sobre o Plano Plurianual do Município do Jaboatão dos Guararapes para o período 2014/2017**. Jaboatão dos Guararapes, 2013c.

JABOATÃO DOS GUARARAPES. Decreto nº 55, de 28 de maio de 2022. Declara Situação de Emergência no Município do Jaboatão dos Guararapes, afetado por chuvas intensas (COBRADE 1.3.2.1.4), com inundações, enxurradas, deslizamentos e alagamentos, e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Jaboatão dos Guararapes**, Jaboatão dos Guararapes, 28 maio. 2022. Disponível em: <<https://diariooficial.jaboatao.pe.gov.br/28-de-maio-de-2022-xxxi-no-100-a-jaboatao-dos-guararapes-edicao-extraordinaria/>>. Acesso em: 30 set. 2022.

KARYMBALIS, E.; ANDREOU, 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, 10232, 2021.

KURTZ, L.; CASTRO, A. S.; LEANDRO, D.; VIEIRA, D. S. Aplicação de ferramentas SIG em análise hidrológica: Estudo de caso – Avenida Saldanha Marinho, Pelotas, RS. In: LEANDRO, D. (org.). **Geotecnologias Aplicadas às Ciências Ambientais**. 1. ed. Pelotas: Laboratório de Geoprocessamento aplicado a Estudos Ambientais – LGEA, 2021. p. 22-41.

LEAL, F. C. B. S.; BARBOSA, I. M. B. R.; AQUINO, J. T. Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da análise multicritério: O caso da bacia hidrográfica do rio Una em Pernambuco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. esp, p. 20-40, 2020.

LEONARDI, I. R. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto para recursos hídricos**. Curitiba: Contentus, 2020.

LI, J.; ZHANG, B.; LI, Y.; LI, H. Simulation of Rain Garden Effects in Urbanized Area Based on Mike Flood. **Water**, v. 10, n. 7, 860, 2018.

LIMA, A. S.; BANDIM, C. G. A.; SOARES, G. A. S.; BARROS, J. P. F. G.; GALVÍNIO, J. D. O uso dos dados lidar para a compreensão da dinâmica de escoamento e acúmulo de águas em Recife – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 6, p. 3255-3278, 2021.

LIMA, D. F.; SOUSA JUNIOR, A. M.; LIMA JUNIOR, F. O.; QUEIROZ, J. H. M. Expansão urbana de São Miguel/RN: Análise no recorte temporal de 2000 a 2017. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 80, p. 182-200, 2021.

- LOPES, F. R. **Mapeamento de áreas susceptíveis a inundações com base em método de AHP e geoprocessamento - caso de estudo cidade de Quelimane**. 2019. 18 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais, Universidade Zambeze, Chimoio, 2019.
- LORENA, E. M. G.; SOBRAL, D. M.; LIRA, A. S.; MORAES, A. S.; ROLIM NETO, F. C.; HOLANDA, R. M. Modelo de diagnóstico de risco de inundações em área urbana na Zona da Mata de Pernambuco, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 2, p. 201-217, 2017.
- LUU, C.; VON MEDING, J. A Flood Risk Assessment of Quang Nam, Vietnam Using Spatial Multicriteria Decision Analysis. **Water**, v. 10, 461, 2018.
- LUZ, R. A.; RODRIGUES, C. O processo histórico de ocupação e de ocorrência de enchentes na planície fluvial do rio Pinheiros de 1930 até os dias atuais. **Geosp – Espaço e Tempo**, v. 24, n. 2, p. 340-360, 2020.
- MACÊDO, Y. M. Contribuições do Geoprocessamento para estudos de risco e vulnerabilidade socioambiental em Natal/RN, Brasil. **REGNE**, v. 4, n. 2, p. 44-62, 2018.
- MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá – SP utilizando Método de Análise Hierárquica. **Leopoldianum**, v. 45, n. 126, p. 69-85, 2019.
- MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. **Coleções MapBiomias**. 2021. Disponível em: <[https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR)>. Acesso em 17 set. 2022.
- MARION, F. A.; SANTOS, E. B.; HENDGES, E. R. Análise de modelos digitais de elevação para modelagem do relevo no município de Francisco Beltrão – PR. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 50-60, 2015.
- MARTINS, M. A. R.; MITISHITA, E. A. Geração de ortofotos com abordagem do georreferenciamento direto de imagens digitais aéreas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 88-113, 2018.
- MARTINS, M. O.; RIBAS, R. P. Identificação de áreas de suscetibilidade à inundação no sistema hidrográfico do rio Tavares em Florianópolis–SC. **Geosul**, v. 36, n. 79, p. 473-494, 2021.
- MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 147-165, 2014.
- MELO, V. B. **Aplicação de informações espaciais de alta resolução para estudo de vulnerabilidade a inundações urbanas**. 2021. 221 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

- MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2013.
- MIGUEZ, M. G.; GREGORIO, L. T.; VEROL, A. P. **Gestão de Risco de Desastres Hidrológicos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
- MOMO, M.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D.; CUARTAS, L.; NOBRE, A. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 200-208, 2016.
- MORA-MELIÀ, D.; LÓPEZ-ABURTO, C. S.; BALLESTEROS-PÉREZ, P.; MUÑOZ-VELASCO, P. Viability of Green Roofs as a Flood Mitigation Element in the Central Region of Chile. **Sustainability**, v. 10, n. 4, 1130, 2018.
- MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análises multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007, p. 2899-2906.
- MOURA, E. F. S.; SILVA, S. R. Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife. In: OTTONI, A. B. et al. (Orgs.). **Drenagem urbana: Soluções alternativas sustentáveis**. 1. ed. Tupã: ANAP, 2018. p. 31-42.
- MOURA, J. M. B.; GOMES, R. A.; MACIEL, C. F. Dinâmicas de desenvolvimento local e resistência no meio rural: o caso do município de Jaboatão dos Guararapes-PE. In: SEMINÁRIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIOLOGIA DA UFScar, 3., 2012, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2012. p. 01-18.
- NEVES, G. R.; GALHARDI, A. C.; LUCATO, W. C. Aplicação e comparação de métodos de apoio à decisão multicritério: AHP, TODIM e PROMETHEE II. **Exacta**, v. 20, n. 1, p. 218-233, 2022.
- NERIS, F. L. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. Criciúma: UNESC, 2011.
- NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M. G.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 404, n. 1, p. 13-29, 2011.
- NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L. Eventos extremos pluviais em Jaboatão dos Guararapes: Climatologia e estudo de caso. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, v. especial, p. 70-82, 2016.
- NOGUEIRA, N. L. M. **Exercício de compreensão das transformações socioambientais em áreas costeiras urbanas a luz da análise multitemporal em diferentes escalas: bairro Barra de Jangada, Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco**. 2015. 90p. Dissertação (Mestrado) - Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

NYLANDER, J. D. A.; BARROS, A. J. A.; MESQUITA, K. F. C.; BEZERRA, G. C. M.; PEREIRA, J. A. R. Análise das causas e consequências de inundações e alagamentos na bacia hidrográfica da tamandaré do município de Belém/PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 49335-49348, 2021.

ODA, R. D. **Classificação multicritério de distritos de vendas de agronegócio**. 2018. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia de Produção Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

OGAREKPE, N. M.; OBIO, E. A.; TENEBE, I. T.; EMENIKE, P. C.; NNAJI, C. C. Flood vulnerability assessment of the upper Cross River basin using morphometric analysis. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 11, n. 1, p. 1378-1403, 2020.

OLII, M. R.; OLII, A.; PAKAYA, R. The Integrated Spatial Assessment of The Flood Hazard Using AHP-GIS: The Case Study of Gorontalo Regency. **The Indonesian journal of geography**, v. 53, n. 1, p. 126-135, 2021.

OLIVEIRA, D. M.; PEREIRA, G. H. A.; GONÇALVES, J. E.; LEITE, E. A. Estimativa de áreas inundáveis com base em dados de elevação do rio em estação fluviométrica e topografia a laser (LiDAR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais...** Santos: Mendes Convention Center, 2019. p. 01-04.

OLIVEIRA, D. P.; BARCELLOS, P. C. L.; SILVA, J. C. Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Inundações na Cidade de Duque de Caxias. **Revista Internacional de Ciências**, v. 11, n. 3, p. 298-316, 2021.

OLIVEIRA, E. B. **SIG aplicado ao mapeamento da suscetibilidade à inundação no município de Serra/ES**. 2020. 18 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação) - Educação e Gestão Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo, Santa Teresa, 2020.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS**. 2010. 149 p. Dissertação (Mestrado) - Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, G. R. K.; GALO, M. Extração de Contornos de Telhados de Edificações através da Combinação de Dados Lidar e Imagens Aéreas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 4, p. 1378-1408, 2018.

OLIVEIRA, L. V.; NEGRI, R. G.; SANTOS, L. B. L. Análise de técnicas de detecção de mudança para mapeamento de desastres com uso de dados de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 1, p. 177-189, 2020.

OLIVEIRA, W. N. M.; REZENDE, R. G.; PIZZO, H. S. Telhados verdes e a drenagem urbana. **Revista Artigos.com**, v. 25, e6127, 2021.

PALÁCIO, O. D.; OLIVEIRA, C. W.; MEIRELES, A. C. M.; SOUZA JÚNIOR, T. G. Análise da suscetibilidade a alagamento em Juazeiro do Norte, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2204-2219, 2021.

PEREIRA, A.; FERREIRA, R. Educação ambiental e a importância da utilização dos resíduos urbanos no Município de Jaboatão dos Guararapes/PE. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 66-80, 2013.

PEREIRA, S. S. L.; LISTO, F. L. R. Uma análise preliminar das áreas de risco a inundação às margens do riacho Lava-Tripas, Olinda (PE). In: LISTO, F. L. R.; LISTO, D. G. S.; SILVA, R. G. (Orgs.). **Planejando cidades, mitigando riscos**. 1. ed. Recife: MapGeo, 2021. p. 309-320.

PIMENTA, L. B.; BELTRÃO, N. E. S.; GEMAQUE, A. M. S.; TAVARES, P. A. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **INTERAÇÕES**, v. 20, n. 2, p. 407-420, 2019.

RAHMATI, O.; ZEINIVAND, H.; BESHARAT, M. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, n. 3, p. 1000-1017, 2016.

RAMOS, J. R. L. **Lógica Fuzzy na identificação de lotes associados ao risco de inundação no município de Nova Lima/ MG**. 2018. 113 p. Dissertação (Mestrado) - Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

REIS, L. L. **Uso de equipamentos de precisão para elaboração de mapeamentos de risco: Um estudo de caso do bairro Cachoeirinha, Viçosa MG**. 2019. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Geografia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. O. Influência das condições de instalação do sistema predial de água pluvial nas soluções de drenagem na fonte. **Ambiente construído**, v. 19, n. 1, p. 129-141, 2019.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETTC, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOOC, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Eservier - Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V. Mapeamento de riscos a inundação na área urbana de Paracatu – MG. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org.). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. 1. ed. Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017. p. 4884-4896.

RIBEIRO, A. S.; MINCATO, R. L.; CURI, N.; KAWAKUBO, F. S. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 16-31, 2016.

RIBEIRO, J.; VIEIRA, R.; TÔMIO, D. Análise da percepção do risco de desastres naturais por meio da expressão gráfica de estudantes do Projeto Defesa Civil na Escola. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, p. 202-223, 2017.

- RINCÓN, D.; KHAN, U. T.; ARMENAKIS, C. Flood Risk Mapping Using GIS and Multi-Criteria Analysis: A Greater Toronto Area Case Study. **Geosciences**, v. 8, n. 8, 275, 2018.
- RODRIGUES, A. B. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de inundações na bacia do Fragoso – Olinda/PE**. 2021. 154 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.
- RODRIGUES, G. C.; SANTINI JUNIOR, M. A. Avaliação do emprego de técnicas compensatórias na sub-bacia urbana Ribeirão do Santa Rita do município de Fernandópolis, São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 231-237, 2021.
- RODRIGUES, M. R. **Análise da sucessão temporal dos desastres naturais de origem meteorológica (vendavais) ocorridos na cidade de Londrina-PR, no período de 2006 à 2016**. 2017. 112 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.
- RODRIGUES, P. R. S. **Análise espacial de suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Tucunduba-Belém-PA**. 2019. 82 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Ambiental e Energias Renováveis, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.
- RODRIGUEZ, C. A. M.; TEIXEIRA, B. A. N. Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 143-150, 2021.
- RUDNIAK, A.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; ANDRADE, A. R. Aplicação de técnicas de análise espacial para mapear áreas suscetíveis a enchentes urbanas. **GeoUERJ**, n. 35, e33292, 2019.
- SAMANTA, S.; KOLOA, C.; PAL, D. K.; PALSAMANTA, B. Flood Risk Analysis in Lower Part of Markham River Based on Multi-Criteria Decision Approach (MCDA). **Hydrology**, v. 3, n. 3, 29, 2016.
- SAMI, G.; HADDA, D.; MAHDI, K.; ABDELWAHHAB, F. A multi-criteria analytical hierarchy process (AHP) to flood vulnerability assessment in Batna watershed (Algeria). **Analele Universităţii din Oradea**, v. 30, n. 1, p. 41-47, 2020.
- SAATY, T. H. A scaling method form priorities in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.
- SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.
- SANTOS, C. V. B.; MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; CARVALHO, H. F. S.; MIRANDA, R. Q.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Comparação de imagens multiespectrais utilizando Satélites e VANT para a análise de mudanças estruturais em área de Floresta Seca. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 6, p. 2510-2522, 2021.

SANTOS, G. B. I. **Modelo de decisão para seleção de fornecedores considerando a otimização do retorno global da cadeia de suprimento para o arranjo produtivo local de laticínios de Pernambuco.** 2021. 72 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.

SANTOS, G. E. M. **Indicadores bibliométricos dos principais artigos sobre os métodos de auxílio multicritério à decisão.** 2017. 132 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Produção, Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, 2017.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017.

SANSEVERINO, A. M.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M.; OLIVEIRA, A. S. Multicritério e decisão: Uma análise quantitativa da produção científica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 18., 2016, Vitória. **Anais...** Vitória: Campus Universitário Alair Queiroz de Araújo (Goiabeiras) da Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. p. 01-12.

SEEJATA, K.; YODYING, A.; WONGTHADAM, T.; MAHAVIK, N.; TANTANEE, S. Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. **Procedia Eng**, n. 212, p. 340-347, 2018.

SILVA, C. S.; GIRÃO, O. Análise morfométrica e caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão (BHRJ) - Pernambuco. **Geosul**, v. 35, n. 75 p. 441-460, 2020.

SILVA, K. C. A.; FERREIRA, A. T. Comparação entre métodos de dimensionamento de reservatório propostos pela ABNT NBR 15527:2007 para sistemas de aproveitamento de águas pluviais em residência unifamiliar – Carapicuíba - SP. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 15, n. 2, p. 273 - 286, 2019.

SILVA, L. G. **Tipologia das dinâmicas de urbanização na franja rural-urbana em Jaboatão dos Guarapes - Região Metropolitana do Recife.** 2010. 90p. Dissertação (Mestrado) - Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SILVA, M. C. O. **Abordagem multicritério para análise de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário com auxílio de dados espaciais de alta resolução.** 2021. 127 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.

SILVA, O. C.; GOMES, L. S.; SILVA, L. G. H. R.; MATOS, A. B.; SILVA FILHO, P. A. Avaliação dos impactos causados pelas enchentes em regiões ribeirinhas na cidade de Boa Vista/RR. **RCT - Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 4, 2017.

SILVA, R. R.; PINHEIRO, L. S.; XIMENES NETO, A. R.; MORAIS, J. O. Mapeamento LiDAR nas falésias costeiras do leste cearense (Nordeste do Brasil). **Geociências**, v. 39, n. 2, p. 463-479, 2020.

SILVA, S. R.; SILVA JÚNIOR, M. A. B.; OLIVEIRA, R. L. M. Modelagem computacional de reservatório de detenção sob logradouro: uma alternativa para controle de alagamentos em área densamente urbanizada do Recife/PE. **Revista DAE**, v. 68, n. 226, p. 196-212, 2020.

SILVA JÚNIOR, M. A. B.; FONSECA NETO, G. C.; CABRAL, J. J. S. P. Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 1, p. 222-240, 2020.

SILVEIRA, K. S.; HIKICHI, S. E.; SALGADO, E. G. Utilização do AHP para priorização das práticas de TQM na indústria farmacêutica. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 2, p. 524-549, 2016.

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Referência de Preços e Custos**. Disponível em:<  
[https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria\\_653](https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_653)> Acesso em: 30 de set. de 2022.

SCHMIDT, M. A. R.; BARBOSA, G. Uso de redes neurais artificiais na ponderação inicial da técnica AHP em análises de vulnerabilidade de bacias hidrográficas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 3, p. 511-525, 2016.

SOARES, G. A. S.; GALVÍNCIO, J. D. Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe- PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 7, p. 3659-3674, 2020.

SOUSA, M. J. C.; SANTOS, F. A. Geoprocessamento aplicado à análise da vulnerabilidade socioespacial a inundações no bairro Colibri (Piracuruca - PI). **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 1, n. 3, p. 291-305, 2019.

SOUZA, R. C. C. **Análise da utilização de reservatórios de contenção de cheias em edificações e o seu impacto no sistema de drenagem urbana**. 2013. 117 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SUPERINTENDÊNCIA DE DEFESA CIVIL DO JABOATÃO DOS GUARARAPES. **Disponibilidade de dados solicitados no Ofício 008/2021 - UPE** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <agpn@poli.br> em 02 ago. 2021.

TEDESCO, A. M.; OLIVEIRA, G. A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 401-407, 2021.

TEIXEIRA, A. N.; RIBEIRO, M. B. P. A urbanização brasileira: Reflexões acerca da segregação socioespacial. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 18., 2016, São Luís. **Anais...** São Luís: Campus Universitário do Bacanga da Universidade Federal do Maranhão, 2016. p. 01-11.

TEIXEIRA, L. B. **Mortes pelas chuvas na Bahia chegam a 11; 220 mil pessoas foram afetadas**. UOL Notícias, São Paulo, 13 de dez. de 2021. Disponível em:

<<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2021/12/13/chuvas-sul-da-bahia-mortes-atualizacao-minas-gerais.htm>>. Acesso em: 30 de jan. de 2022.

TESTON, A. **Impacto do aproveitamento de água da chuva na drenagem: Estudo de caso de um condomínio horizontal em Curitiba/PR**. 2015. 141 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

TOMINAGA, L. K. Desastres Naturais: Por que ocorrem? In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015. p. 11-24.

TUCCI, C. E. M. **Programa de Drenagem Sustentável: apoio ao Desenvolvimento do Manejo das Águas Pluviais Urbanas – versão 2.0**. Ministério das Cidades: Brasília, 2005.

TV GLOBO. **Leptospirose: pesquisa da UFBA analisa o risco da doença nos bairros populares**. TV Globo, Rio de Janeiro, 15 de abr. de 2019. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/7540311/>>. Acesso em: 30 de jan. de 2022.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2016.

VERÇOSA, L. F. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica aplicada à avaliação da ocorrência de inundações na cidade de Recife, PE**. 2019. 114 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

VERGUTZ, L. A. A.; PEREIRA, C. E.; SCHMIDT, M. A. R. Análise da implantação de reservatórios de retenção de forma que sejam minimizados os impactos causados por inundações. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 1267-1277, 2019.

VIERO, A. **Modelo multicritério para classificação de ferramentas da qualidade orientadas para decisões gerenciais**. 2018. 140 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

VILLANUEVA, J. R. E. **Contribuciones metodológicas para la obtención de información altimétrica requerida en la evaluación local de amenazas por inundaciones a partir de nuevas tecnologías geoespaciales**. 2020. 201 p. Tese (Doutorado) - Engenharia Geológica e Mineira, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2020.

VOJTEK, M.; VOJTEKOVÁ, J. Flood Susceptibility Mapping on a National Scale in Slovakia Using the Analytical Hierarchy Process. **Water**, v. 11, n. 2, 364, 2019.

WAQAS, H.; LU, L.; TARIQ, A.; LI, Q.; BAQA, M. F.; XING, J.; SAJJAD, A. Flash Flood Susceptibility Assessment and Zonation Using an Integrating Analytic Hierarchy Process and Frequency Ratio Model for the Chitral District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. **Water**, v. 13, n. 12, 1650, 2021.

ZACHARIAS, A.; TEIXEIRA, A. L.; VENTORINI, S. E.; FERREIRA, A. B. R.; SANTOS, T. G. A cartografia de síntese e as estruturas verticais e horizontais da paisagem em ambientes urbanos suscetíveis à inundação. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, n. 1, e177185, 2021.

ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.