

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH  
PPG MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS – PROFÁGUA

**MÉTODO MULTICRITÉRIO APLICÁVEL A MAPEAMENTO DE  
ÁREAS COM SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO. ESTUDO DE  
CASO: ROLANTE-RS**

**DIEGO LUIZ GOSSLER**

Porto Alegre/RS  
2023

# ProfÁgua



# ProfÁgua



DIEGO LUIZ GOSSLER

**MÉTODO MULTICRITÉRIO APLICÁVEL A MAPEAMENTO DE ÁREAS  
COM SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO. ESTUDO DE CASO:  
ROLANTE-RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua UFRGS como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

**Orientador:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jussara Cabral Cruz

Porto Alegre/RS  
2023

## CIP - Catalogação na Publicação

Gossler, Diego Luiz  
MÉTODO MULTICRITÉRIO APLICÁVEL A MAPEAMENTO DE  
ÁREAS COM SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO. ESTUDO DE  
CASO: ROLANTE-RS / Diego Luiz Gossler. -- 2023.  
153 f.  
Orientadora: Jussara Cabral Cruz.

Dissertação (Mestrado Profissional) -- Universidade  
Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas  
Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Gestão e  
Regulação de Recursos Hídricos, Porto Alegre, BR-RS,  
2023.

1. Georreferenciamento. 2. Multidisciplinar. 3.  
Gestão pública. I. Cruz, Jussara Cabral, orient. II.  
Título.

DIEGO LUIZ GOSSLER

**MÉTODO MULTICRITÉRIO APLICÁVEL A MAPEAMENTO DE ÁREAS  
COM SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO. ESTUDO DE CASO:  
ROLANTE-RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua UFRGS como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

**Aprovado em:** Porto Alegre, 19 de abril de 2023.

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jussara Cabral Cruz – IPH - UFRGS  
Orientadora

---

Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan – IPH - UFRGS  
Examinador

---

Prof. Dr. Fernando Luis Hillebrand – IFRS  
Examinador

---

Prof. Dr. Hugo Morais de Alcântara – UFCG  
Examinador

## AGRADECIMENTOS

**“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento”.**

Agradeço minha família pela paciência e apoio durante essa jornada. A Prof<sup>a</sup>. Jussara pela orientação, ao PPG, UFRGS, IPH, colegas e professores pelo conhecimento e experiências adquiridos. A Prefeitura de Rolante pela disponibilização de dados e informações que auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho, e ao IFRS Campus Rolante pelo auxílio na organização dos dados e modelagens.

## RESUMO

**GOSSLER, Diego Luiz. Método multicritério aplicável a mapeamento de áreas com susceptibilidade à inundação. Estudo de caso: Rolante-RS.** Dissertação. Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Programa de Pós-graduação em Rede Nacional ProfÁgua, IPH/UFRGS, Porto Alegre/RS. 2023.

Diversas cidades convivem com a ocorrência de inundações, onde parte da população reside em áreas de risco, tornando cada vez mais necessário o mapeamento e planejamento de medidas mitigatórias. O objetivo deste estudo foi construir um modelo multicritério para realizar o mapeamento das áreas com susceptibilidade às inundações, no município de Rolante/RS. A metodologia consistiu no mapeamento através do Método Analítico Hierárquico (AHP) e do uso de Sistema de Informação Georreferenciada (SIG), através da obtenção, reclassificação e atribuição de notas para as variáveis declividade, altitude, uso e ocupação do solo, distância do recurso hídrico às áreas susceptíveis de inundação e tipo de solo, com base na bibliografia consultada e em dados de campo. A reclassificação das variáveis foi realizada através dos *softwares* ArcGIS® e QGIS®. Em seguida foi realizada ponderação de pesos e hierarquização das variáveis. Foi realizada a comparação das informações analisadas com os dados disponibilizados pelo poder público municipal, resultando na validação do mapeamento das áreas com susceptibilidade à inundação em diferentes classes, constatando que as áreas de alta susceptibilidade representam 10,86%, e as de muito alta susceptibilidade representam 0,08% do território municipal. A etapa de validação foi importante para alinhar o método e trazer coerência nas escalas utilizadas. Os resultados obtidos dependem da análise qualitativa dos participantes, e qualquer mudança nos julgamentos ou na hierarquização das variáveis ocasiona a alteração dos produtos finais. Espera-se que os resultados obtidos possam contribuir para a tomada de decisão dos gestores públicos na restrição de uso e ocupação do solo das áreas inundáveis, de acordo com cada categoria estabelecida. Para aplicação da metodologia utilizada recomenda-se considerar as especificidades das áreas de estudo.

**Palavras-chave:** georreferenciamento, multidisciplinar, gestão pública.

## ABSTRACT

**GOSSLER, Diego Luiz. Multicriteria method applicable to mapping areas susceptible to flooding. Case study: Rolante-RS.** Dissertation. Professional Master's Degree in Management and Regulation of Water Resources, Graduate Program in National Network ProfÁgua, IPH/UFRGS, Porto Alegre/RS. 2023.

Several cities live with the occurrence of floods, where part of the population resides in risk areas, making it increasingly necessary to map and plan mitigation measures. The objective of this study was to build a multicriteria model to map the areas susceptible to flooding in the municipality of Rolante/RS. The methodology consisted of mapping through the Hierarchical Analytical Method (AHP) and the use of the Georeferenced Information System (GIS), by obtaining, reclassifying and assigning grades for the variables slope, altitude, land use and occupation, distance from the water resource to the areas susceptible to flooding and soil type, based on the bibliography consulted and field data. The reclassification of the variables was performed using ArcGIS® and QGIS® software. Next, weights were weighted and variables were hierarchized. The information analyzed was compared with the data provided by the municipal government, resulting in the validation of the mapping of the areas susceptible to flooding in different classes, noting that areas of high susceptibility represent 10.86%, and those of very high susceptibility represent 0.08% of the municipal territory. The validation stage was important to align the method and bring coherence in the scales used. The results obtained depend on the qualitative analysis of the participants, and any change in the judgments or in the hierarchy of the variables causes the alteration of the final products. It is expected that the results obtained can contribute to the decision-making of public managers in the restriction of land use and occupation of floodable areas, according to each established category. To apply the methodology used, it is recommended to consider the specificities of the study areas.

**Keywords:** georeferencing, multidisciplinary, public management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração das características do leito do rio.....	23
Figura 2. Organograma das medidas para o controle e minimização dos processos de inundações. 30	30
Figura 3. Estrutura básica da equação matricial. ....	36
Figura 4. Exemplo de representação matricial e vetorial.....	42
Figura 5. Fluxograma de trabalho. ....	46
Figura 6. Localização da área de estudo. ....	47
Figura 7. Mapa de declividade preliminar, dividido em seis classes, no município de Rolante/RS. 64	64
Figura 8. Mapa de declividade em 10 classes, no município de Rolante/RS. ....	66
Figura 9. Mapa de altitude preliminar, dividido em seis classes, no município de Rolante/RS.....	67
Figura 10. Mapa de altitude em 10 classes, no município de Rolante/RS.....	69
Figura 11. Mapa de uso e ocupação do solo, no município de Rolante/RS.....	71
Figura 12. Mapa de proximidade do recurso hídrico, no município de Rolante/RS.....	74
Figura 13. Mapa dos tipos de solo, no município de Rolante/RS.....	76
Figura 14. Mapa de susceptibilidade preliminar, em escala numérica, com as variáveis declividade e altitude em seis classes, no município de Rolante/RS. ....	81
Figura 15. Mapa das regiões dos bairros e localidades e da zona urbana, no município de Rolante/RS. ....	83
Figura 16. Mancha de inundação elaborada pela METROPLAN (TR 100 anos), sobreposto ao mapeamento da área urbana (Plano Diretor) e as regiões dos bairros e localidades, no município de Rolante/RS. ....	84
Figura 17. Mapa de susceptibilidade preliminar, com o mapeamento da mancha de inundação da METROPLAN sobreposto (TR 100 anos), no município de Rolante/RS. ....	85
Figura 18. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com a sobreposição da mancha de inundação da METROPLAN (TR 100 anos), no município de Rolante/RS.....	86
Figura 19. Mancha de inundação elaborada pela BHIOS, sobreposto ao mapeamento da área urbana (Plano Diretor) e as regiões dos bairros e localidades, no município de Rolante/RS.....	88
Figura 20. Mapa de susceptibilidade preliminar, com a mancha de inundação BHIOS sobreposto, no município de Rolante/RS. ....	89
Figura 21. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com a sobreposição da mancha de inundação da BHIOS, no município de Rolante/RS. ....	90
Figura 22. Pontos de inundação obtidos junto à Defesa Civil municipal, sobreposto ao mapeamento da área urbana (Plano Diretor) e as regiões dos bairros e localidades, no município de Rolante/RS. ....	91
Figura 23. Mapa de susceptibilidade preliminar, com o comparativo dos pontos de inundação obtidos junto à Defesa Civil municipal, no município de Rolante/RS. ....	93
Figura 24. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com o comparativo dos pontos obtidos junto à Defesa Civil municipal, no município de Rolante/RS. ....	93
Figura 25. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, no município de Rolante/RS.....	94
Figura 26. Mapa de susceptibilidade à inundação preliminar, em escala de classes, no município de Rolante/RS. ....	96

Figura 27. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com escala de classes, no município de Rolante/RS. ....	97
Figura 28. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com escala de cores e ilustração da macrozona urbana, no município de Rolante/RS. ....	98
Figura 29. Inundação 1936 – Avenida Borges de Medeiros/Igreja Luterana. ....	113
Figura 30. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/Igreja Luterana.....	113
Figura 31. Inundação 1956 – Avenida Borges de Medeiros/Hotel Tadiotto. ....	113
Figura 32. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/Hotel Tadiotto.....	113
Figura 33. Inundação Julho/1982 – Avenida Borges de Medeiros/Hotel Tadiotto. ....	114
Figura 34. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/Hotel Tadiotto.....	114
Figura 35. Inundação Julho/1982 – Rua Carlos Huff/Hospital.....	114
Figura 36. Foto sem inundação – Rua Carlos Huff/Hospital. ....	114
Figura 37. Inundação Setembro/2009 – Avenida Getúlio Vargas/Prefeitura. ....	114
Figura 38. Foto sem inundação – Avenida Getúlio Vargas/Prefeitura. ....	114
Figura 39. Inundação Julho/2015 – Avenida Getúlio Vargas/Rua Coberta.....	115
Figura 40. Foto sem inundação – Avenida Getúlio Vargas/Rua Coberta. ....	115
Figura 41. Inundação Julho/1982 – Avenida Borges de Medeiros/Igreja Católica. ....	115
Figura 42. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/Igreja Católica. ....	115
Figura 43. Inundação Julho/2015 – Avenida Borges de Medeiros esq. Avenida Getúlio Vargas... 115	
Figura 44. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros esq. Avenida Getúlio Vargas. ....	115
Figura 45. Inundação Julho/2011 – Avenida Borges de Medeiros esq. Avenida Getúlio Vargas... 116	
Figura 46. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros esq. Avenida Getúlio Vargas. ....	116
Figura 47. Inundação Julho/2011 – Avenida Borges de Medeiros/fundos Madebley. ....	116
Figura 48. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/fundos Madebley. ....	116
Figura 49. Inundação Julho/2011 – Avenida Borges de Medeiros esq. Rua Eng. Noé de Freitas. . 116	
Figura 50. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros esq. Rua Eng. Noé de Freitas..... 116	
Figura 51. Inundação Setembro/2009 – ERS-239/Rótula acesso à cidade.....	117
Figura 52. Foto sem inundação – ERS-239/Rótula acesso à cidade. ....	117
Figura 53. Inundação Julho/2011 – ERS-239/Rótula acesso à cidade.....	117
Figura 54. Foto sem inundação – ERS-239/Rótula acesso à cidade. ....	117
Figura 55. Inundação Setembro/2009 – Rua Pedro Schneider. ....	117
Figura 56. Foto sem inundação – Rua Pedro Schneider. ....	117
Figura 57. Inundação Julho/1982 – Rua Pedro Schneider. ....	118
Figura 58. Foto sem inundação – Rua Pedro Schneider. ....	118
Figura 59. Inundação Julho/2015 – Avenida Coronel João Link. ....	118
Figura 60. Foto sem inundação – Avenida Coronel João Link.....	118
Figura 61. Inundação Março/2023 – Rua Oscar Alcindo Ritter/ponte pênsil.....	119
Figura 62. Foto sem inundação – Rua Oscar Alcindo Ritter/ponte pênsil.....	119
Figura 63. Inundação Março/2023 – Rua Oscar Alcindo Ritter. ....	119
Figura 64. Foto sem inundação – Rua Oscar Alcindo Ritter. ....	119
Figura 65. Inundação Setembro/2009 – Rua Florisbela Link Stunf. ....	120
Figura 66. Foto sem inundação – Rua Florisbela Link Stunf. ....	120
Figura 67. Inundação Setembro/2009 – Rua Luiz Grassmann Sobrinho.....	120
Figura 68. Foto sem inundação – Rua Luiz Grassmann Sobrinho.....	120
Figura 69. Inundação Março/2023 – ERS-239/Ponte sobre o Rio Rolante. ....	121
Figura 70. Foto sem inundação – ERS-239/Ponte sobre o Rio Rolante. ....	121
Figura 71. Inundação Março/2023 – Estrada Municipal Fazenda Passos.....	121
Figura 72. Estrada Municipal Fazenda Passos.....	121

Figura 73. Inundação Agosto/2013 – ERS-239 acesso a Rua Heitor Arlindo Berg .....	122
Figura 74. Foto sem inundação – ERS-239 acesso a Rua Heitor Arlindo Berg. ....	122
Figura 75. Inundação Março/2023 – Rua Heitor Arlindo Berg/Caprol. ....	122
Figura 76. Foto sem inundação – Rua Heitor Arlindo Berg/Caprol. ....	122
Figura 77. Inundação Julho/2015 – Estrada Municipal Linha Reichert. ....	123
Figura 78. Foto sem inundação – Estrada Municipal Linha Reichert. ....	123
Figura 79. Inundação Março/2023 – Estrada Municipal Linha Reichert. ....	123
Figura 80. Foto sem inundação – Estrada Municipal Linha Reichert. ....	123
Figura 81. Inundação Março/2023 – Estrada Municipal Linha Reichert. ....	124
Figura 82. Foto sem inundação – Estrada Municipal Linha Reichert. ....	124
Figura 83. Inundação Março/2023 – Estrada da Mascarada. ....	124
Figura 84. Foto sem inundação – Estrada da Mascarada. ....	124
Figura 85. Inundação Julho/2011 – Avenida Anexação. ....	125
Figura 86. Foto sem inundação – Avenida Anexação. ....	125
Figura 87. Inundação Março/2023 – Ponte Júlio Schneider. ....	125
Figura 88. Foto sem inundação – Ponte Júlio Schneider. ....	125

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Registro dos principais eventos hidrológicos ocorridos em Rolante nos últimos 87 anos	49
Tabela 2. Conversão entre os valores de declividade e inclinação .....	52
Tabela 3. Escala de comparação hierárquica - AHP .....	57
Tabela 4. Profissão e nível de formação dos participantes da pesquisa multicritério.....	58
Tabela 5. Índices aleatórios em matrizes para AHP .....	60
Tabela 6. Classes finais de declividade e notas atribuídas.....	65
Tabela 7. Classes finais de altitude e notas atribuídas .....	68
Tabela 8. Classes de uso e ocupação do solo predominantes em Rolante/RS, e notas atribuídas .....	70
Tabela 9. Classes de proximidade do recurso hídrico e notas atribuídas.....	73
Tabela 10. Classes de tipo de solo predominantes em Rolante/RS, e notas atribuídas .....	75
Tabela 11. Matriz de comparação pareada – método AHP.....	78
Tabela 12. Cálculo da prioridade final para as variáveis .....	80
Tabela 13. Classificação da susceptibilidade à inundação.....	95

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AHP – Análise Hierárquica de Processos  
ANA – Agência Nacional de Águas  
APP – Área de Preservação Permanente  
AS3 – Microbacia Alto Sinos – Arroio Caraá  
AS4 – Microbacia Alto Sinos – Alto Rolante  
AS5 – Microbacia Alto Sinos – Médio Rolante – Riozinho  
AS6 – Microbacia Alto Sinos – Baixo Rolante  
AS7 – Microbacia Alto Sinos – Areia  
AS8 – Microbacia Alto Sinos – Ilha  
CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil  
FR – *Frequency Ratio*  
HAND – *Height Above Nearest Drainage*  
HEC-HAS – *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IFRS – Instituto Federal do Rio Grande do Sul  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
IRGA – Instituto Rio Grandense de Arroz  
MDE – Modelo Digital de Elevação  
METROPLAN – Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional  
MGB – Modelo de Grandes Bacias  
RNA – Redes Neurais Artificiais  
SEMA RS – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
TIN – *Triangulated Irregular Network*  
TR – Tempo de Retorno  
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
UTM – *Universal Transversa de Mercator*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
3.1 HIDROLOGIA E OS EVENTOS CRÍTICOS .....	21
3.1.1 Cheias, enxurradas, alagamentos e inundações .....	21
3.1.1.1 Cheias e Enchentes .....	22
3.1.1.2 Enxurradas.....	22
3.1.1.3 Alagamentos.....	22
3.1.1.4 Inundações.....	22
3.1.2 Processo de desenvolvimento, urbanização e a ocupação de áreas de risco .....	24
3.2 DADOS SOBRE O MUNICÍPIO DE ROLANTE .....	25
3.3 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE.....	27
3.3.1 Medidas estruturais .....	28
3.3.2 Medidas não estruturais .....	29
3.4 MÉTODOS PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS.....	31
3.4.1 HAND .....	31
3.4.2 MGB.....	32
3.4.3 HEC-HAS.....	32
3.4.4 RNA.....	33
3.4.5 FR.....	34
3.4.6 AHP.....	35
3.5 MAPEAMENTOS COM O USO DE SIG.....	40
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>45</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	46
4.1.1 Registros de eventos em Rolante.....	49
4.2 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO DE MAPEAMENTO .....	50
4.2.1 Seleção e reclassificação das variáveis .....	51
4.2.1.1 Declividade .....	52
4.2.1.2 Altitude.....	53
4.2.1.3 Uso e ocupação do solo .....	54
4.2.1.4 Proximidade do recurso hídrico .....	55
4.2.1.5 Tipo de solo.....	56
4.3 APLICAÇÃO DO AHP .....	57
4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	61
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
5.1.1 Reclassificação da declividade .....	63
5.1.2 Reclassificação da altitude .....	66
5.1.3 Reclassificação do uso e ocupação do solo .....	69
5.1.4 Reclassificação da proximidade do recurso hídrico.....	72
5.1.5 Reclassificação do tipo de solo.....	75
5.1.6 Resultados do AHP.....	77
5.1.7 Dados de validação .....	82
5.1.7.1 Mapa das regiões dos bairros e localidades.....	82
5.1.7.2 Mapeamento da METROPLAN.....	83
5.1.7.3 Mapeamento da BHIOS.....	87
5.1.7.4 Pontos de inundação – Defesa Civil .....	91
5.1.7.5 Mapa reclassificado final.....	93
5.1.8 Mapa de classes de susceptibilidade .....	94

5.1.9	<i>Produtos complementares e discussões finais</i>	100
6.	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>102</b>
7.	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	<b>103</b>
8.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>104</b>
9.	<b>APÊNDICE A</b>	<b>113</b>
10.	<b>APÊNDICE B</b>	<b>126</b>
11.	<b>APÊNDICE C</b>	<b>127</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A concepção de muitas cidades, vilas e povoados, ocorreu próxima aos recursos hídricos, pois facilitava o acesso à água para as atividades humanas, como dessedentação, criação de animais, pastagens, entre outros. A água era um dos principais meios de transporte de pessoas e mercadorias. As áreas próximas aos rios também eram férteis, pois com as enchentes, sedimentos e matérias orgânicas eram depositados nestas áreas, contribuindo assim, para o desenvolvimento de atividades agrícolas (MAZOYER e ROUDART, 2010).

No processo de desenvolvimento da sociedade, inicialmente a população passa a ocupar as melhores áreas que estão disponíveis. Com o passar do tempo, em consequência do adensamento populacional, as cidades passam a crescer de forma vertical, através da construção de edifícios, e horizontal, com a dispersão da urbanização para as áreas mais periféricas da cidade. Neste processo, parte da população passa a residir nas áreas menos favorecidas, muitas vezes expostas a riscos, como deslizamentos, alagamentos e inundações (STEIN, PIANOSI e WOODS, 2019).

Atualmente essa questão é um desafio para as cidades brasileiras, pois com a expansão urbana e o adensamento populacional, as intervenções antrópicas acabam por agravar a situação (FRUTUOSO, GRIGIO e BARROS, 2020). Mais áreas são impermeabilizadas, resíduos sólidos e sedimentos obstruem os sistemas de drenagem e as edificações passam a ocupar áreas alagáveis ou aquelas sujeitas às inundações, modificando o fluxo das águas.

Os processos de alagamento normalmente ocorrem nas áreas urbanas, onde há maior impermeabilização do solo concomitante com o acúmulo temporário da água em determinados locais. Geralmente estes processos estão associados a problemas no sistema de micro drenagem. Nesta linha, as inundações se caracterizam pela elevação das águas em um determinado período, em volume superior a capacidade de drenagem do rio, causando o seu extravasamento para as áreas marginais (CORDERO, MEDEIROS e TERAN, 1999; TUCCI, 2005; BRASIL, 2007).

As inundações podem ser entendidas como um processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais. Isso ocorre quando há precipitações em um determinado período, em um volume de água que é superado pela capacidade de drenagem da calha do rio, fazendo com que o escoamento das águas supere o leito menor do rio, atingindo

seu leito maior. Estas áreas também são denominadas como planície ou várzea de inundação (CORDERO, MEDEIROS e TERAN, 1999; TUCCI, 2005; BRASIL, 2007).

O levantamento e mapeamento das áreas com fragilidades ambientais é um instrumento de apoio à decisão para que o poder público possa adotar estratégias para a melhoria deste cenário. O conhecimento das áreas com fragilidades ou susceptibilidades ambientais pode ser obtido através de comparativos entre distintas informações.

Dentre os diferentes tipos de susceptibilidades ambientais, destacamos a importância de conhecer os processos de inundações. Para o mapeamento destes processos, devem ser utilizados dados físicos do terreno, como a elevação, declividade, uso e ocupação do solo, proximidade com o recurso hídrico e pedologia. O levantamento destas informações resulta na identificação das áreas com probabilidades para ocorrência destes fenômenos, podendo subsidiar estudos e ações complementares.

Ainda, este tipo de estudo pode ser complementado através da agregação de dados sociais, econômicos e ambientais, subsidiando a identificação de áreas com vulnerabilidade, perigo e risco à inundação.

A obtenção das áreas susceptíveis à inundação pode ser realizada através de distintas metodologias, que podem incluir levantamentos de campo, aerofotos e modelos hidrodinâmicos. Dentre os modelos existentes podemos destacar: i) HAND (*Height Above Nearest Drainage*) que é mais simplificado e se baseia em um MDE (Modelo Digital de Elevação); ii) MGB (Modelo de Grandes Bacias) que se trata de um modelo hidrológico-hidrodinâmico mais complexo que utiliza dados de chuva, dados meteorológicos e das características da bacia hidrográfica; iii) HEC-HAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*), sendo um modelo de simulação hidráulica que permite o cálculo da hidráulica em regime permanente 1D ou regime não permanente em 1D e 2D; iv) RNA (Redes Neurais Artificiais), se caracterizando como um modelo computacional utilizado em bacias hidrográficas que não dispõem de dados hidrológicos detalhados; v) Razão e Frequência (FR) que pode ser utilizado para elaboração e validação de mapeamentos de inundação; e, vi) AHP (Análise Hierárquica de Processos), que é uma técnica qualitativa muito utilizada para a realização do cruzamento de informações no mapeamento de áreas inundáveis (ALVES et al., 2020; CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; COLLISCHONN e TUCCI, 2001; CRISTALDO et al., 2020; DALFI et al., 2013; GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; MAGALHÃES et al., 2011; METROPLAN, 2015, 2018; NETO et al., 2017; RAHMATI et al., 2016 apud CHAVES et al.,

2021; SANTANA et al., 2014; SANTOS et al., 2022; TEHRANY et al., 2015; TIRYAKI e KARACA, 2018).

Dentre os diversos métodos disponíveis, aqueles em que possa ser realizado o cruzamento de informações a discussão em grupo, especialmente quando os participantes têm conhecimento e vivência sobre a área ou o assunto estudado, possibilita uma maior acurácia dos resultados obtidos. Nessa linha, é importante trazer para a discussão, pessoas que estejam diretamente envolvidas com o assunto tratado e/ou tenham um bom conhecimento prévio da área avaliada.

Com isso, destacamos a importância de realizar o método de Análise Hierárquica de Processos (AHP), que permite a realização de levantamento de informações através da gestão participativa e integrada, possibilitando coletar opiniões de diferentes atores que normalmente possuem entendimentos e opiniões próprias, conforme seu conhecimento pessoal e profissional de determinado tema, incrementando as visões do problema. O uso de ferramentas de análise e tomada de decisão que levam em conta múltiplas opiniões e visões do problema, permite que a discussão de determinado fato ou fenômeno ocorra de forma conjunta, pois problemas como as inundações atingem diferentes grupos da sociedade, fazendo com que cada ator tenha sua própria vivência da situação.

Este tipo de análise é de uso comum na literatura, porém, não é estática, estando atrelada à opinião dos integrantes da discussão que, no momento da ponderação de pesos de importância para determinada variável, definem a hierarquização e priorização de uma variável sobre a outra. Assim, os resultados das modelagens que utilizam a análise multicritério variam conforme a condução da metodologia e a opinião dos participantes.

Neste estudo definimos os seus objetivos (Capítulo 2), procedemos com a revisão bibliográfica e o levantamento de informações sobre a hidrologia básica e os eventos críticos associados (Capítulo 3.1) e sobre a área de estudo (Capítulo 3.2). Elencamos as diferentes estratégias de controle, tanto estruturais como não estruturais, usualmente adotadas no controle e minimização dos efeitos das inundações (Capítulo 3.2), descrevemos alguns métodos que podem ser utilizados para o mapeamento de áreas susceptíveis à inundações, com ênfase no método AHP (Capítulos 3.3 e 3.4) e com o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Capítulo 3.5).

Após, contextualizamos a área de estudo – Rolante/RS (Capítulo 4.1), estruturamos o modelo multicritério (Capítulo 4.2), descrevemos a aplicação do AHP (Capítulo 4.3),

processamos os dados (Capítulo 4.4) e mais ao final, apresentamos os resultados e discussões (Capítulo 5), conclusões (Capítulo 6) e recomendações (Capítulo 7).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Construir um modelo de análise multicritério para facilitar o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações, bem como apoiar o planejamento de ações e a tomada de decisão dos gestores públicos para minimizar os efeitos das inundações no município de Rolante, RS.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar e selecionar as informações físicas do terreno, relevantes para o estudo proposto, bem como avaliar a sua influência para o mapeamento da susceptibilidade a inundações, baseado na bibliografia pesquisada e em dados de campo.

- Construir modelo multicritério com a ponderação e a hierarquização de pesos para as variáveis selecionadas, com apoio de consulta à especialistas da área, mediante a aplicação da metodologia multicritério.

- Obter o mapeamento e validação das áreas susceptíveis à inundação para o local estudado, através do uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

- Contribuir, de maneira direta ou indireta, no desenvolvimento de ações de planejamento e gestão para mitigação dos eventos de escoamento que geram inundações associadas a eventos hidrológicos extremos.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo apresentamos uma revisão da literatura com o objetivo de embasar a pesquisa da dissertação.

#### **3.1 HIDROLOGIA E OS EVENTOS CRÍTICOS**

O ciclo hidrológico é entendido como o fluxo que ocorre de forma natural, com a circulação da água entre o oceano, atmosfera, continentes, rios e lagos, com a troca de água entre estes, passando pelas formas sólida, líquida e gasosa. A utilização do solo e subsolo, a gravidade, a cobertura vegetal, a pressão atmosférica, entre outros fatores climáticos (temperatura do ar, vento, umidade, insolação), interferem e são responsáveis por realizar a circulação da água (FEITOSA, 2008; CPRM, 2023).

As características do local, sua declividade, a pedologia do solo, as características do corpo hídrico, as formas de uso e conservação da terra, a presença ou a ausência de vegetação, a existência de sistemas de retenção de água, bem como os processos de urbanização e de impermeabilização do solo, interferem de maneira direta ou indireta no ciclo hidrológico, na medida em que favorecem ou retardam este ciclo. Como consequência, conforme o nível de intervenções nestes locais, os efeitos destes eventos podem ser atenuados ou agravados (BRASIL, 2007; RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018).

##### **3.1.1 Cheias, enxurradas, alagamentos e inundações**

De maneira geral, a topografia dos rios varia conforme as suas características, o tipo de solo, a vegetação, o volume de águas que recebe de sua área de drenagem, entre outros fatores.

Para fins de planejamento e tomada de decisão, é importante o correto entendimento da classificação e denominação de cada evento adverso, uma vez que estes possuem características distintas, bem como as medidas de minimização e controle tendem a ser específicas conforme sua aplicação.

### **3.1.1.1 Cheias e Enchentes**

O leito menor de um rio pode ser entendido como a área adjacente ao curso d'água, muitas vezes delimitada pela topografia do terreno e que fica dentro do canal de drenagem do curso hídrico. Estas áreas geralmente são inundadas numa frequência maior, entre 1,5 a 3 anos (TUCCI, 2005; PRINA e TRENTIN, 2018).

Nestes locais ocorrem os processos denominados de enchentes ou cheias, que se caracterizam pela elevação temporária do nível d'água dentro do canal de drenagem, ou seja, nestes casos há o aumento da vazão pluvial e fluvial, contudo, está água não extravasa o canal de drenagem (BRASIL, 2007).

### **3.1.1.2 Enxurradas**

Os processos de enxurradas são caracterizados como eventos em que o escoamento superficial de água ocorre em altas velocidades e com elevada energia de transporte, podendo ou não estar relacionada a processos fluviais. É muito comum ocorrerem estes processos ao longo de vias públicas que tenham sido implantadas sobre cursos d'água com alto gradiente hidráulico, bem como em terrenos onde haja alta declividade natural (BRASIL, 2007).

### **3.1.1.3 Alagamentos**

Podemos classificar os processos de alagamento como sendo o evento onde ocorre o acúmulo momentâneo de águas em uma determinada área, e onde geralmente há problemas no sistema de micro drenagem. Estes eventos podem ou não ter relação com processos de origem fluvial (BRASIL, 2007).

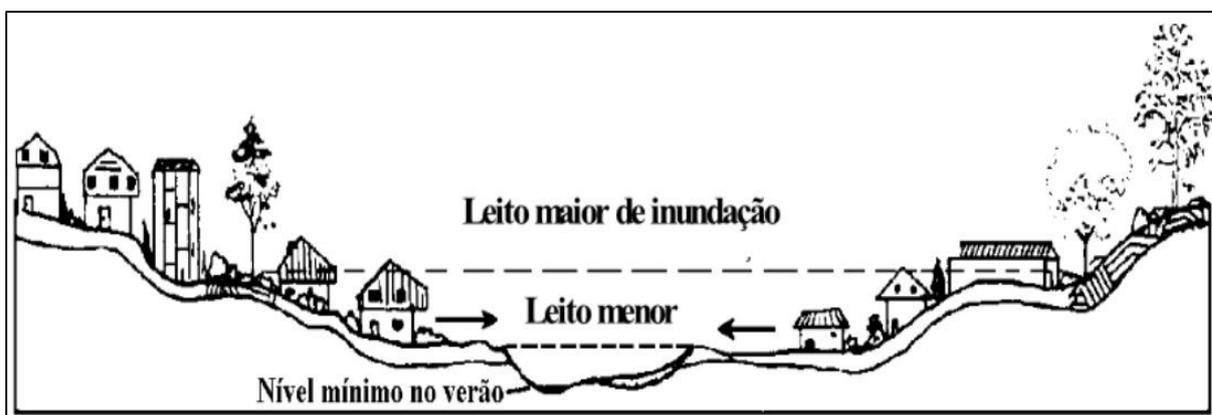
### **3.1.1.4 Inundações**

As inundações podem ser entendidas como um processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais. Isso ocorre quando há precipitações em um determinado período, em um volume de água que é superado pela capacidade de drenagem da calha do rio, fazendo com que o escoamento das águas supere o leito menor do rio, atingindo seu leito maior. Estas áreas também são denominadas como planície ou várzea de inundação (CORDERO, MEDEIROS e TERAN, 1999; TUCCI, 2005; BRASIL, 2007).

O leito maior do rio também pode ser compreendido como as áreas alagáveis mais altas, até a cota da elevação definida com base em uma frequência específica de inundação, determinada por um tempo de retorno (TR) (METROPLAN, 2018; PRINA e TRENTIN, 2018).

De maneira mais simplificada, as inundações ocorrem quando uma cheia ultrapassa os limites da calha do rio e escoam para as planícies de inundação, ocasionadas principalmente em virtude do aumento da vazão nos rios, devido às precipitações na bacia hidrográfica, que geram maior escoamento superficial direcionados aos canais de drenagem (ALVES et al., 2020).

A Figura 1 ilustra as características do leito do rio e como as edificações são atingidas quando estas ocupam o leito maior.



**Figura 1. Ilustração das características do leito do rio.**

FONTE: TUCCI (2005)

No município de Rolante a ocorrência destes fenômenos é frequente. Eles são monitorados pelo órgão de Defesa Civil municipal, pelo Estado do Rio Grande do Sul, através Sala de Situação SEMA RS, vinculada à Divisão de Meteorologia, Mudanças Climáticas e Eventos Críticos, do Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento (DRH), e pelo Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que opera sistemas hidrológicos nas principais bacias hidrográficas do país, através do monitoramento e previsão da elevação dos níveis dos rios.

O CPRM também auxilia na delimitação das áreas inundáveis através de técnicas de modelagem hidráulica, contribuindo para o gerenciamento de ações de sistemas de alerta

hidrológico, mapeamento da mancha de inundação, além do monitoramento espacial (CPRM, 2023b).

Assim, torna-se relevante estudar os processos de ocorrência de inundações, na medida em que diferentes metodologias podem ser empregadas, apresentando resultados distintos, contribuindo com uma pluralidade de informações para a área estudada, capaz de embasar o emprego de diferentes estratégias para minimização dos impactos destes eventos.

### **3.1.2 Processo de desenvolvimento, urbanização e a ocupação de áreas de risco**

O desenvolvimento e a urbanização são processos que decorrem da necessidade da população, em buscar alternativas para promover a melhoria das suas condições de vida e habitabilidade.

Estas melhorias incluem a garantia de uma infraestrutura básica adequada às necessidades dos cidadãos, possibilitando o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, incluindo o saneamento básico, direito à moradia, infraestrutura urbana, transporte e serviços públicos (BRASIL, 2001).

Cumprir destacar que a concepção de muitas cidades e centros urbanos adjacentes aos cursos d'água ocorreu em razão da necessidade do ser humano em estar próximo da água que é utilizada para o abastecimento humano, a dessedentação de animais, a irrigação e até mesmo para o transporte de pessoas e mercadorias, como no caso de grandes centros portuários (MAGALHÃES et al., 2011).

Alguns motivos como a opção pessoal, a condição financeira, ou até mesmo por ser a única alternativa disponível naquele momento, fazem com que parcelas da população passem a residir em áreas mais periféricas ou de risco, como às sujeitas a inundações. Com isso, estas pessoas passam a estar vulneráveis à ocorrência destes fenômenos e suas consequências (FRUTUOSO, GRIGIO e BARROS, 2020; STEIN, PIANOSI e WOODS, 2019).

Estes problemas são mais perceptíveis nas grandes cidades, contudo, em diversos locais é possível constatar essa situação, sendo uma realidade de muitas cidades brasileiras. Para atender as necessidades da população, algumas vezes pequenos cursos d'água são canalizados, estradas são impermeabilizadas, trazendo uma melhoria imediatista e aparente, mas que pode propiciar a ocorrência de inundações e alagamentos, caso essa variável não tenha sido levada

em consideração durante o desenvolvimento e dimensionamento do projeto de execução (LEAL, 2019).

No cenário político e social, percebe-se o incremento no número de pessoas que habitam áreas de risco de deslizamentos, enchentes e inundações. Isso se reflete como uma consequência negativa do processo de crescimento e urbanização das cidades, evidenciado principalmente nas regiões metropolitanas. Dentre os fatores que contribuem para o avanço desse quadro, podemos destacar: (i) Crise econômica e social; (ii) Política habitacional ineficiente para a população de baixa renda; (iii) Ineficácia dos sistemas de controle do uso e ocupação do solo; (iv) Inexistência de legislação adequada para as áreas suscetíveis aos riscos; (v) Falta de apoio técnico para as populações; e, (vi) Cultura popular de morar em áreas planas (BRASIL, 2007).

Assim, temos como principais consequências das enchentes e inundações, a ocorrência de mortes por afogamento, destruição de moradias, danos materiais diversos, gastos com recuperação e reparação, além da transmissão de doenças devido ao contato da população com a água contaminada (BRASIL, 2007).

Com isso, torna-se relevante entender os processos de desenvolvimento e como estes impactam ou podem impactar nos processos de inundações, na medida que a realização de obras em áreas sujeitas à inundação tem potencial para retardar ou acelerar o escoamento superficial, modificando as características e os impactos das inundações.

### **3.2 DADOS SOBRE O MUNICÍPIO DE ROLANTE**

Localizado no Estado do Rio Grande do Sul, Rolante está situado na encosta da Serra, no Vale do Paranhana, há aproximadamente 95 Km de distância da capital do Estado, Porto Alegre. Faz divisa territorial com os municípios de Santo Antônio da Patrulha, Riozinho, São Francisco de Paula e Taquara.

Registros arqueológicos da região apresentam informações sobre a presença de índios Kaigangs e Guaranis, antes da colonização. Com a abertura da Estrada dos Tropeiros, por volta de 1737, foram estabelecidas as primeiras famílias de origem lusitana, com provável residência em locais estratégicos desta estrada, como o “Passo das Tropas” (local onde os tropeiros atravessavam o rio Rolante) (ROLANTE, 2021). Esta estrada era utilizada para tropear muare e gado do atual município de Viamão/RS e arredores até o município de Sorocaba/SP e região.

Os primeiros registros de passagem pela cidade apontam algumas das características do rio Rolante, sendo um curso hídrico com volume de água expressivo e furioso, que inclusive teria dado nome a cidade, pois suas águas levavam tudo a roldão.

Com o passar do tempo, o Vale do Rio Rolante passou a receber colonizadores alemães (por volta de 1880 e 1924 a 1926), poloneses (1890), italianos (1910), árabes (1935) e mais recentemente, haitianos, tendo a presença de grande diversidade étnico-cultural (ROLANTE, 2021).

Rolante foi um Distrito pertencente a Santo Antônio da Patrulha. Com o incremento das atividades comerciais e de agricultura, houve a emancipação de Rolante, no ano de 1955, que possibilitou avanços na infraestrutura da cidade, prédios, iluminação pública, entre outros. Sua economia é baseada principalmente na indústria coureiro calçadista, moveleira e de esquadrias, agricultura familiar e pecuária, com incremento no turismo e de alimentos (IBGE, 2021b; ROLANTE, 2021).

Conforme já elucidado, o nome da cidade se originou por causa das características do seu principal curso hídrico, o rio Rolante. Uma destas características sem dúvida é a capacidade de suas águas atingir diversas áreas da cidade, localizadas em sua planície de inundação. Temos como principais cursos hídricos o rio Rolante, sendo este um dos principais formadores do Rio dos Sinos (principal curso hídrico da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos), o rio Areia e o rio Mascarada. Também há importantes tributários destes rios, como o arroio Rolantinho e o arroio Açoita Cavallo.

Um dos principais eventos hidrológicos extremos conhecidos pela população foi a inundação ocorrida em 1982, que atingiu uma cota crítica em vários pontos da cidade. Mais recentemente, em janeiro/2017 ocorreu uma enxurrada de enormes proporções, com grande arraste de sedimentos que deixou muitas pessoas desabrigadas e enorme prejuízo financeiro, além de impactar cidades à jusante. Estima-se que 34% da população de Rolante tenha sido atingida, com um prejuízo estimado em R\$60 milhões. Em contrapartida, diversas ações foram sendo estruturadas para monitorar os principais cursos hídricos da cidade, além da realização de grupos de trabalho para estudar, prever e remediar a ocorrência de eventos similares (GUIRRO et al., 2023; SEMA/GPDEN, 2017).

As cidades à jusante de Rolante também foram atingidas pela enxurrada de 2017, uma vez que o grande transporte de sedimentos aumentou a turbidez da água, comprometendo o abastecimento humano. Diversos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos foram

afetados, além dos sedimentos atingirem o lago Guaíba que por sua vez, deságua na Lagoa dos Patos, em menor concentração, devido a dissipação dos sedimentos (COSTA, FAN e GRESSLER, 2020)

As características de Rolante favorecem a ocorrência de eventos como o ocorrido em 2017, uma vez que bacias hidrográficas montanhosas frequentemente registram a ocorrência de processos extremos devido às chuvas intensas, que podem gerar inundações bruscas e movimentos de massa, transportando água, solo, rochas, vegetação e outros materiais das encostas para os rios (GUIRRO et al, 2023).

Embora Rolante sofra frequentemente com as inundações, o evento de 2017 foi extraordinário devido à sua magnitude e velocidade da inundação. Com isso, o Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais (GPDEN) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) realiza o monitoramento, bem como pesquisas na região, com a finalidade de compreender a interação dos processos que deflagraram esse desastre natural (GPDEN/IPH-UFRGS, 2022; GUIRRO et al., 2023).

Alguns estudos desencadeados após os escorregamentos ocorridos em 2017 em Rolante utilizam como principal linha de pesquisa o transporte e a modelagem da pluma de sedimentos, considerando a microbacia hidrográfica como unidade de estudo (COSTA, FAN e GRESSLER, 2020; GUIRRO et al., 2023). Outros estudos levaram em consideração a mancha de inundação que abrange a bacia hidrográfica do Rio dos Sinos como unidade territorial (METROPLAN, 2018). Mesmo assim, os produtos resultantes ilustram mapeamentos da planície de inundação divididas por municípios. Ainda, as propostas de medidas estruturais e não estruturais para minimização dos impactos destes eventos foi estudada em âmbito municipal, considerando que cabe ao município a atribuição de fazer a sua gestão territorial, incluindo a demarcação das áreas sujeitas a inundações e deslizamentos, e definindo regras para o uso e ocupação do solo, bem como eventuais restrições de ocupação destas áreas (BRASIL, 2001, 2018).

### **3.3 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE**

Em face dos cenários de susceptibilidade à eventos hidrológicos críticos, cabe ao poder público delinear estratégias de ação para o enfrentamento desta questão.

O planejamento das ações precisa levar em consideração diversos aspectos, no sentido de empregar alternativas adequadas à realidade de cada município.

Estas alternativas podem ser classificadas como estruturais ou não estruturais. As estruturais têm como principal característica a modificação do sistema fluvial, retardando ou acelerando o fluxo das águas. Já as medidas não estruturais são aquelas em que se admite o convívio da população com as enchentes e inundações, empregando soluções e alternativas para minimização dos riscos e prejuízos (BRASIL, 2018; CORDERO, MEDEIROS e TERAN, 1999).

Dentre as alternativas técnicas disponíveis, as ações para controle dos riscos hidrológicos podem ter três enfoques distintos: (i) eliminar ou reduzir o risco, na medida em que age sobre o processo ou a consequência; (ii) evitar a formação de áreas de risco, através do controle efetivo do uso do solo; e, (iii) conviver com os problemas, elaborando Planos Preventivos de Defesa Civil (BRASIL, 2007).

O levantamento de informações sobre os diferentes tipos de medidas estruturais e não estruturais pode subsidiar as ações de planejamento para tomada de decisão, na medida em que fornece informações detalhadas sobre o potencial de cada medida em minimizar os efeitos das inundações, conforme a sua aplicabilidade.

### **3.3.1 Medidas estruturais**

As medidas estruturais podem ser entendidas como obras de engenharia, sendo caracterizadas como medidas intensivas ou extensivas. As medidas intensivas agem diretamente no curso hídrico e objetivam controlar o fluxo das águas, a depender do tipo da obra empregada. Os exemplos de medidas intensivas incluem: (i) aceleração do escoamento (canalização, retificações, canais de desvios, canais paralelos, diques, polders e obras similares); e, (ii) retardamento do fluxo da água (reservatórios, bacias de retenção, caixas de expansão, melhoramento do álveo e restauração da calha natural) (BRASIL, 2018; CANHOLI, 2015 apud ANCHIETA et al., 2020; CORDERO, MEDEIROS e TERAN, 1999).

Medidas estruturais extensivas objetivam o controle extensivo das cheias e inundações, ao passo que aumentam ou diminuem a capacidade de escoamento superficial. Elas são implantadas através de práticas de conservação do solo, pequenos armazenamentos construídos na bacia, ações de recomposição da cobertura vegetal, controle da erosão do solo ao longo da bacia, entre outras (BRASIL, 2018; CANHOLI, 2015 apud ANCHIETA et al., 2020; CORDERO, MEDEIROS e TERAN, 1999).

Cada uma delas tem a sua particularidade e aplicabilidade. Seu uso depende de estudos apropriados, subsidiando a escolha mais adequada e eficiente para a situação estudada. Geralmente as medidas estruturais estão associadas às medidas mitigatórias, onde ocorre a mudança do sistema estrutural, através da realização de obras de construção civil para manter ou melhorar o escoamento da água (RAMOS et al., 2017). Estas obras precisam ser adequadamente estudadas e planejadas, visto que há um considerável custo investido na sua implantação e na manutenção ao longo do tempo. Em áreas urbanas consolidadas, onde a remoção da população torna-se economicamente inviável, o emprego de medidas estruturais, como o uso de diques de proteção, recuperação de áreas de retenção natural e o uso de bacias de retenção, pode ser recomendado para a proteção e controle das inundações.

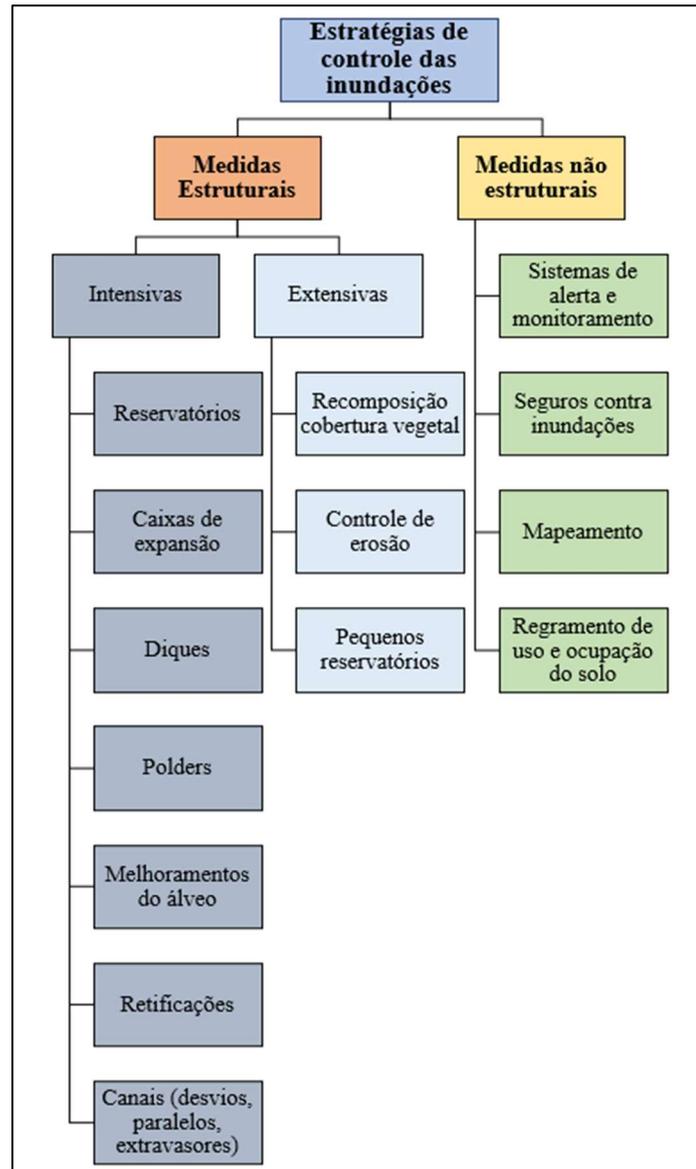
### **3.3.2 Medidas não estruturais**

Medidas não estruturais podem ser entendidas como aquelas onde praticamente não há obras de intervenção e onde o convívio da população com a inundação é aceito, conforme o zoneamento da área. Objetivam reduzir os danos e consequências das inundações, através de normas e procedimentos. Estas medidas geralmente têm custo menor quando comparadas às medidas estruturais, sendo caracterizadas como um rol de estratégias relacionadas às políticas públicas, planejamento urbano, legislação, defesa civil e educação (BRASIL, 2007; RAMOS et al., 2017).

Estas medidas visam informar, alertar e preparar a sociedade para a ocorrência de eventos hidrológicos críticos e levam em conta a possibilidade de convivência da população com as inundações, incluindo: (i) efetuar a organização e mapeamento das áreas de inundações nos planos diretores municipais; (ii) seguro contra enchentes; (iii) sistemas de alerta e monitoramento; (iv) elaboração de leis e atos normativos; (v) medidas preventivas; e, (vi) determinação de medidas para mitigação dos problemas associados às enchentes (BRASIL, 2007; FILHO, SZÉLIGA e ENOMOTO, 2000; RAMOS et al., 2017).

Embasado em um correto mapeamento, o planejamento e o emprego de medidas estruturais e não estruturais torna-se mais consistente e adequado.

A Figura 2 ilustra diferentes exemplos de medidas estruturais e não estruturais citadas na literatura pesquisada como eficazes no gerenciamento das inundações.



**Figura 2. Organograma das medidas para o controle e minimização dos processos de inundações.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023), adaptado de: BRASIL (2007); BRASIL (2018); CANHOLI (2015) apud ANCHIETA et al. (2020) CORDERO, MEDEIROS e TERAN (1999); FILHO, SZÉLIGA e ENOMOTO (2000); RAMOS et al. (2017)

Assim, as medidas estruturais estão relacionadas as obras de engenharia e construções físicas, que demandam maiores custos de implantação, enquanto as medidas não estruturais estão mais relacionadas ao emprego de práticas e técnicas objetivando a redução dos riscos e impactos, como a adoção de políticas públicas, legislação, zoneamento, entre outros.

### 3.4 MÉTODOS PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS

Distintos métodos são capazes de resultar no mapeamento de áreas inundáveis. Estes mapeamentos podem ilustrar áreas frágeis, susceptíveis, com risco ou perigo à inundação, a depender da metodologia empregada. Nessa linha, diferentes bases de dados podem subsidiar a realiza o destes métodos, como a realiza o de levantamentos de campo, registros de aerofotos, realiza o de topobatimetrias, imagens de satélites, e modelagens hidrodinâmicas em softwares específicos.

Alternativamente ao levantamento em campo, a obten o da mancha de inunda o observada pode ser realizada por imagens de sensoriamento remoto, obtidas de sensores orbitais, que mapeiam a superfície terrestre com imagens ópticas (passivas) ou imagens de radar (ativas) (ALVES et al., 2020).

De maneira resumida, podemos brevemente ilustrar alguns destes modelos:

#### 3.4.1 HAND

O modelo HAND (*Height Above Nearest Drainage*) tem ganhado destaque nos últimos anos para o uso na delimita o de áreas com possibilidade de inunda o. Ele   uma técnica mais simplificada, baseada em um MDE (Modelo Digital de Eleva o) e seus resultados podem ser comparados com outras modelagens (ALVES et al., 2020).

Este modelo foi desenvolvido e   coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), testado em meados de 2005 e divulgado em publica o realizada no ano de 2011, e pode ser aplicado para o zoneamento de terrenos, ecofisiologia da paisagem, biogeoquímica, pedologia, hidrologia, entre outros. Ele possibilita capturar com substância física a rela o topográfica entre o terreno e a água, revelando processos superficiais relativos ao movimento, acumula o, infiltra o, armazenamento e drenagem de  gua (HAND MODEL, 2023; NOBRE et al., 2011).

Estudos que utilizaram o método HAND demonstrou que foi possível executar o mapeamento da área inundada, incluindo as áreas de cabeceira de pequenos afluentes, de maneira superestimada. Já em escala global, o método demonstrou ser inadequado para aplica o para a delimita o de áreas inundadas na região estudada, provavelmente por causa

do pequeno limiar de área de drenagem relacionado com o produto HAND global utilizado (ALVES et al., 2020).

### 3.4.2 MGB

O Modelo de Grandes Bacias (MGB) pode ser considerado um modelo hidrológico-hidrodinâmico mais complexo, na medida em que utiliza dados meteorológicos e dados das características da área estudada. Desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), utiliza dados de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica para simular processos de geração de escoamento e de transporte de água em uma bacia hidrográfica (ALVES et al., 2020; COLLISCHONN e TUCCI, 2001).

Ele tem sido adaptado nos últimos anos para o uso em simulações hidrodinâmicas de inundações, possibilitando uma modelagem em larga escala para obter pontos de inundação em tempos de retorno específicos, permitindo assim, a comparação dos seus resultados com estudos locais existentes. Pode ser utilizado em nível regional ou global. Em alguns casos, dependendo da escala utilizada, o MGB pode apresentar dados mais grosseiros, calibração menos detalhada e maiores incertezas dos dados meteorológicos. Mesmo assim, tem se mostrado promissor para as simulações hidrodinâmicas (ALVES et al., 2020, 2022).

Considerando que o modelo pode ser utilizado para simular a capacidade de escoamento e transporte, pode ser utilizado para calcular a pluma de sedimentos oriunda de processos de inundações e enxurradas, possibilitando quantificar as informações de declividade e vazões de referência, simulando a carga sedimentar no curso hídrico (COSTA, FAN e GRESSLER, 2020).

### 3.4.3 HEC-HAS

O HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*) é um modelo de simulação hidráulica que possibilita o cálculo da linha d'água em canais em regime de escoamento uniforme e não uniforme. Permite o cálculo da hidráulica em regime permanente 1D ou regime não permanente em 1D e 2D. O modelo também considera, entre outros fatores, os efeitos de remanso causados por controles de jusante, como o nível do mar ou de outro corpo d'água sobre o fluxo de um rio em sua foz (METROPLAN, 2015, 2018).

Este modelo foi desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center do U.S. Army Corps of Engineers* e é de domínio público. Contém 4 componentes de análise hidráulica: i) modelagem 1D em regime permanente; ii) modelagem 1D ou 2D em regime não permanente; iii) modelagem de transporte de sedimentos; e, iv) modelagem de temperatura e transporte (ex: contaminantes). O procedimento computacional básico para solução das variáveis hidráulicas é a solução de equações de energia, neste caso a equação de Saint Venant (em sua forma unidimensional ou bidimensional), permitindo assim levar em consideração os elementos de geometria (pontes, bueiros, trechos, rugosidades, obstruções e diques dos cursos d'água) e condições de contorno (calculando cota fixa, altura normal, curva cota x vazão e hidrograma de entrada) (METROPLAN, 2015, 2018).

Assim, o HEC-HAS pode ser utilizado para o cruzamento de distintas informações, como por exemplo, calcular a modelagem hidráulica da superfície de inundação, utilizando como principais dados de entrada as vazões máximas de uma modelagem hidrológica e os elementos hidráulicos da área de estudo (rede de drenagem, seções transversais e limites da calha), resultando em uma metodologia confiável para as bacias urbanas, baseada em dados digitais, imagens de satélites e boa rede de observações de campo (CABRAL et al., 2016).

#### 3.4.4 RNA

O primeiro tipo de neurônio usado nas Redes Neurais Artificiais (RNA) foi inspirado no neurônio humano, criado por Frank Rosenblatt em 1958. Possui arquitetura simples e se tornou obsoleto na resolução dos problemas complexos devido a sua inflexibilidade e falta de estabilidade. Atualmente, dois tipos de neurônios são utilizados nas redes neurais: o Perceptron Multicamadas, que impulsionou o uso em larga escala do *Deep Learning*, e o Sigmóide, geralmente usados em classificadores (IPEA, 2020).

O método de RNA pode se caracterizar como um modelo computacional a ser utilizado em locais que não dispõem de dados hidrológicos detalhados. A exemplo, pode ser utilizado para relacionar dados de cotas de inundação com a finalidade de prever a ocorrência destes eventos (CRISTALDO et al., 2020).

Estes modelos são desenvolvidos para bacias hidrográficas pequenas, e nesse contexto, as previsões utilizando RNA têm sido apresentadas como uma alternativa promissora em comparação aos métodos tradicionais para a solução de problemas de previsão de vazões ou

níveis de um rio, prevendo inundações, níveis de navegação, disponibilidade hídrica para irrigação, abastecimento de água e operação energética (CRISTALDO et al., 2020).

Outro fator relevante é que para aplicação do método não é necessário possuir conhecimento físico-matemático, diferentemente de outros métodos mais complexos.

A arquitetura da RNA compreende camadas compostas por unidades (neurônios artificiais) que são conectadas a outras camadas. As conexões estão associadas a pesos que são ajustados durante a fase de treinamento. Estas camadas são variáveis, mas usualmente tem-se uma camada para entrada dos dados, uma intermediária e uma para saída, onde são apresentados os resultados da rede (CRISTALDO et al., 2020).

### 3.4.5 FR

O modelo de Razão e Frequência, ou *Frequency Ratio* (FR), é um método que pode ser utilizado na validação de mapeamentos de áreas propensas a sofrerem processos de inundações, podendo ser calculado pela razão entre a probabilidade da presença e da ausência de inundações, sendo este um método quantitativo (CHAVES et al., 2021; TEHRANY et al., 2015).

Este método é consistido em uma análise estatística bivariada (BSA) tendo como propósito o estabelecimento de uma correlação quantitativa entre uma variável dependente e outra independente (TEHRANY et al., 2015).

Chaves et al. (2015) utilizou esse método para avaliar o impacto da ocorrência de inundações conforme cada um dos fatores de influência escolhidos. A FR é a expressão da razão de probabilidade de uma ocorrência com relação a uma não-ocorrência para um atributo qualquer. Assim, o modelo atribuiu a cada fator de influência um peso baseado na quantidade de *pixels* de cada fator presente nas áreas com histórico de inundação previamente mapeadas, utilizando os seguintes fatores de influência: (i) uso e cobertura do solo; (ii) geologia; (iii) curvatura; (iv) escoamento superficial; (v) elevação; (vi) distância do rio; (vii) declividade; entre outros, apresentando resultados satisfatórios e representativos sobre a área estudada.

Na utilização do método de Razão e Frequência para elaboração de mapas de inundação, é importante compreender a correlação entre o evento e os diferentes fatores de condição, associando as inundações as classes de cada fator condicionante.

Samanta et al. (2018) realizou o mapeamento de áreas sujeitas à inundação através do método FR, implementado utilizando variáveis independentes que foram reclassificadas e ponderadas com base na probabilidade bivariada, com a finalidade de produzir uma valiação precisa do mapa de suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do rio Subarnarekha (Índia), demonstrando bons resultados, mas que segundo os autores, ainda necessitam de evidências mais abrangentes e informações relacionadas as inundações do local estudado.

### 3.4.6 AHP

O Método de Análise Hierárquica de Processos (AHP), ou simplesmente método multicritério, foi desenvolvido na década de 1970 por Thomas Saaty (SAATY, 1977) e com o passar do tempo tem se difundido nas mais diferentes áreas, sendo uma importante ferramenta de discussão e tomada de decisão, principalmente na área de recursos hídricos (RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018).

Na construção e organização das hierarquias, é necessária a inclusão de todos os detalhes relevantes e suficientes para que o problema seja representado adequadamente, considerando o ambiente que interfere neste problema e os atributos que contribuem para sua solução (SAATY, 1990).

Na metodologia multicritério, cada nível de informação pode representar uma parte diferente do problema que está sendo analisado. Estes níveis podem se interrelacionar e podem ser adicionados tantos níveis quanto for necessário, na medida em que facilite elucidar melhor as informações e definir prioridades (SAATY, 1990).

Uma forma bastante eficaz de se realizar julgamentos é através da comparação pareada. Nela são organizados pares de elementos e realizadas comparações em relação a uma propriedade, sem a preocupação com outras propriedades ou outros elementos. Assim, as comparações ocorrem em pares, entre as variáveis, dentro de uma mesma estrutura hierárquica (SAATY, 1990).

As comparações em pares são realizadas em uma tabela, através do cruzamento das informações das colunas com as linhas da matriz. Com isso, temos como sendo as variáveis analisadas  $A_1, \dots, A_n$ , cujos pesos variam de  $w_1, \dots, w_n$ , respectivamente. Na formação da matriz de razões pareadas, as linhas dão as razões dos pesos de cada variável em relação as demais variáveis, comparando-as uma com as outras. O menor peso de cada comparação pareada é utilizado como a unidade, e o peso maior é medido em termos de múltiplos dessa unidade. Seria

difícil fazer a comparação inversa sem utilizar novamente a variável de menor peso como unidade (SAATY, 1977, 1990).

A Figura 3 ilustra a equação matricial proposta por Saaty (1977, 1990) para a metodologia multicritério:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\
 A_1 & \left( \begin{array}{cccc}
 w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\
 w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n
 \end{array} \right) & & & \\
 A_2 & & & & \\
 \vdots & & & & \\
 A_n & & & & 
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 w_1 \\
 w_2 \\
 \vdots \\
 w_n
 \end{pmatrix} \\
 \\
 = n \begin{pmatrix}
 w_1 \\
 w_2 \\
 \vdots \\
 w_n
 \end{pmatrix} .
 \end{array}$$

**Figura 3. Estrutura básica da equação matricial.**

FONTE: SAATY (1977, 1990)

A definição dos pesos necessariamente deve ocorrer em razão de um julgamento consistente. Estes pesos variam de uma escala de 1, atribuindo-se uma importância igual, quando duas variáveis contribuem igualmente para a ocorrência de determinado fenômeno, até a escala 9, atribuindo-se uma importância extrema, quando as evidências de que uma variável favorece uma determinada atividade ou fenômeno em detrimento da outra é da mais alta ordem possível de afirmação (RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018; SAATY, 1977, 1990, 2008).

Durante a utilização da metodologia multicritério para a elaboração de mapas de susceptibilidade à inundação, a fase de escolha dos pesos na comparação em pares é sem dúvida um dos momentos mais importantes, visto que nesta etapa são definidos os graus de importância de cada variável. Essa importância pode ser definida com base na experiência do profissional, em visitas de campo, com base em referências bibliográficas, ou ainda, através de decisão por

equipe multidisciplinar, onde se tem uma visão de diferentes profissionais, com diferentes conhecimentos e experiências (SANTOS, LOUZADA e EUGÊNIO, 2010).

O método AHP é apropriado para a tomada de decisões em grupo, trabalhando com dados quantitativos e qualitativos. As análises par a par podem ser feitas com maior facilidade, permitindo uma hierarquização dos critérios utilizados. Ao final, é possível avaliar a consistência dos valores atribuídos baseada em uma metodologia com fundamentação teórica (RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018).

A principal vantagem desta metodologia é a possibilidade de obter um mapeamento confiável a um baixo custo de investimento e de fácil atualização, que possibilita apoiar as partes interessadas a avaliar apenas as áreas que precisam de mais atenção (GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018).

Campioli e Vieira (2019) avaliaram o risco de inundação na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte – Joinville/SC, com base na metodologia proposta por Saaty (método AHP), atribuindo pesos de importância aos níveis de informações analisadas, sendo elas: hipsometria, declividade, uso do solo, pedologia, geologia e zoneamento municipal, resultando em mapas de susceptibilidade, vulnerabilidade e risco de inundação para a área estudada.

Para análise de áreas com fragilidade ambiental, Cruz et al. (2013) utilizou a avaliação ambiental integrada para hierarquização de trechos do rio e da bacia hidrográfica do Alto e Médio Uruguai, constituída de 3 blocos: meio físico, biótico e antrópico. No caso do meio físico, foram considerados os aspectos: geologia e geomorfologia, estabilidade de encostas, fragilidade à erosão, áreas de mineração e contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Foi utilizado sistema de informação geográfica para geração de mapa de cada aspecto e com o resultado do cruzamento destes aspectos, com pesos decididos pela comunidade e grupo de trabalho.

Dalfi et al. (2013) propôs avaliar 2 cenários para a elaboração de mapeamento de áreas de inundação em bairros no município de Alegre/RS. Um deles foi através de uma metodologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), adaptada pelos autores, georreferenciando pontos sujeitos à inundação através de levantamento à campo, colhendo informações de diferentes fontes. O outro cenário foi resultado da aplicação da metodologia multicritério proposta por Saaty (1977), utilizando dados de altitude, declividade e uso da terra, com a ponderação de pesos e hierarquização das variáveis, demonstrando que o método AHP superestimou a mancha de inundação elaborada no cenário 1, contudo, apresentou boa

aplicabilidade, fornecendo bons resultados, principalmente para os locais onde o acesso para coleta de dados de campo é difícil.

Durante a realização de mapeamento de susceptibilidade à inundação do rio Atibaia, no município de Campinas/SP, Garcia, Dourado e Ávila (2022) caracterizaram fatores fisiográficos utilizando técnicas de geoprocessamento e índices definidos com base na literatura pesquisada, com a finalidade de fornecer informações para tomada de decisão quanto a ações preventivas e mitigadoras dos impactos socioambientais na região estudada. Posteriormente, dados do relevo, hipsometria, declividade e de uso e ocupação da terra foram processados através do método AHP, gerando o mapa específico quanto à susceptibilidade as inundações, permitindo conhecer os locais mais críticos da cidade, susceptíveis à ocorrência destes eventos.

O trabalho desenvolvido por Magalhães et al. (2011) apresentou o uso de geotecnologias para o mapeamento de áreas com risco de inundação em Guaçuí/ES, comparando os resultados do método multicritério, utilizando dados de altitude, declividade, uso da terra e tipo de solo, com os resultados do mapeamento desenvolvido à campo, através de pontos georreferenciados. Embora o método AHP tenha superestimado a área georreferenciada, apresentou pouca discrepância em relação à precisão do mapeamento das áreas com risco de inundação.

Analisando a bacia hidrográfica do rio Maquiné (Maquiné/RS), Moreira et al. (2023) apresenta uma avaliação de sensibilidade de ponderações de critérios para construir índices de vulnerabilidade a inundações. A determinação das pontuações foi realizada conforme a metodologia AHP, com uma pesquisa participativa que contou com a participação de 44 interessados. Não houve alterações significativas entre a escolha dos pesos dos participantes quando comparado com pesos iguais, ainda assim, adotando uma abordagem participativa, é possível considerar múltiplos pontos de vista das partes interessadas, contribuindo para uma perspectiva mais abrangente de vulnerabilidade à inundação. O mapa de vulnerabilidade a inundação considerou os fatores de vulnerabilidade social, vulnerabilidade econômica e vulnerabilidade física. A metodologia aplicada é relativamente simples e facilmente adaptável a outros problemas de tomada de decisão.

Para análise da susceptibilidade à alagamento na bacia hidrográfica do Riacho Fundo/DF, Neto et al. (2017) utilizou sistema de informação geográfica para correlacionar informações sobre o clima, solo, geologia, geomorfologia e hidrografia para confecção dos mapas temáticos de alagamento, com base na classificação espacial do algoritmo da média ponderada e valoração das importâncias das variáveis estudadas em relação a ocorrência do fenômeno analisado.

Na elaboração de mapa de risco de inundação utilizando sistema de informação geográfica e a metodologia multicritério, Rincón, Khan e Armenakis (2018) elaboraram 4 cenários de risco, utilizando dados de distância do curso hídrico, mapa da planície de inundação desenvolvido pela cidade de Toronto/Canadá, método HAND, método de número de curva, precipitação efetiva e precipitação total. Foram levados em consideração os mapas de vulnerabilidade social e econômica para determinação do mapa de vulnerabilidade total, avaliando assim as perspectivas entre os cenários projetados.

Santana et al. (2014) utilizou o método multicritério para elaboração de mapeamento de risco de inundação no município de João Monlevade/MG, utilizando sistema de informação geográfica (SIG) e mapas de declividade, uso e ocupação do solo, tipo de solo e altimetria. No mapa de uso e ocupação do solo foram calculadas as áreas impermeabilizadas junto com o modelo digital de elevação (MDE) e dados de precipitação anual, sendo possível realizar uma modelagem hidrológicamente consistente, demonstrando áreas de baixa, média e alta susceptibilidade à inundação, sugerindo que os resultados sejam analisados pelo poder público municipal nos projetos de gestão e planejamento urbano, visando o controle de inundações e de alerta às populações situadas em locais de riscos.

Santos et al. (2022) aplicou o método AHP para gerar um modelo representando as áreas susceptíveis à inundação na Bacia Hidrográfica do Córrego do Lenheiro/MG, utilizando a álgebra dos mapas de declividade, hipsometria, densidade de drenagem, uso e cobertura da terra, normalizados de 1 a 5, realizando a comparação pareada, resultando no mapa com 4 graus de susceptibilidade à inundação, mostrando-se como importante método para modelar os aspectos naturais e antrópicos nas áreas urbanas.

Tiryaki e Karaca (2018) realizaram um estudo no rio Saricay/Turquia para desenvolver um mapeamento de inundação utilizando sistemas de informação geográfica e análise e decisão multicritério, determinando os fatores mais importantes que afetam as inundações, incluindo declividade, aspecto, elevação, geologia, uso do solo e proximidade do rio. Foram desenvolvidos subcritérios para melhor aplicabilidade do método, atribuindo pesos para os critérios e subcritérios, realizando posteriormente uma análise de sensibilidade para criar o mapa de susceptibilidade à inundação para a área de estudo, dividida em 5 classes, desde a muito baixa até a muito alta susceptibilidade.

Embora o modelo possua algumas fragilidades, visto que seus resultados são totalmente dependentes das bases de dados utilizada, bem como da forma como a metodologia é conduzida, e do público participante, ainda sim seus resultados são satisfatórios, na medida em que possibilita a discussão ampla sobre o problema proposto. Os dados de entrada utilizados variam

conforme a condução da metodologia, de acordo com o objetivo proposto e com base na fonte de dados disponíveis para a área estudada.

Outros métodos, como a Regressão Logística (LR – *Logistic Regression*) e os Pesos de Evidência (WoE – *Weights-of-Evidency*) citados por Samanta et al. (2018) também são considerados eficazes para o mapeamento de áreas inundáveis. A aplicabilidade de cada método depende de uma base de dados sólida, da forma como a metodologia é aplicada e do conhecimento dos envolvidos no processo. Cada uma possui seus potenciais e fragilidades, por isso é importante conhecer previamente a área de estudo visando utilizar a metodologia mais adequada ao objetivo proposto.

### 3.5 MAPEAMENTOS COM O USO DE SIG

Pode-se dizer que o sistema de informação geográfica (SIG) surgiu na década de 1960 quando os computadores e os primeiros conceitos de geografia quantitativa e computacional emergiram. Os primeiros trabalhos de SIG incluíram importantes pesquisas da comunidade acadêmica. Mais tarde, o *National Center for Geographic Information and Analysis* formalizou a pesquisa sobre os principais tópicos da ciência da informação geográfica, revolucionando a ciência geográfica e lançando as primeiras bases para o SIG (ESRI, 2022b; LAGUARDIA, 2019).

O SIG pode ser entendido como um sistema computacional utilizado para capturar, armazenar, analisar, tratar e exibir dados relacionados à superfície terrestre, permitindo o cruzamento de diversa informações, como vegetação, tipo de solo, edifícios, ruas, entre outros, através da visualização, análise e compreensão mais facilitada de como estas informações se relacionam no espaço, dando as pessoas a capacidade de resolver problemas do mundo real (ESRI, 2022; NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2022; SANTOS, LOUZADA e EUGÊNIO, 2010).

O SIG pode usar qualquer informação que inclua uma localização. A localização pode ser expressa de muitas maneiras diferentes, como latitude e longitude, endereço ou CEP. Podem ser adicionadas informações sobre a população, a paisagem, córregos, diferentes tipos de vegetação, distintos tipos de solo, localização de empresas, escolas e até linhas de transmissão de energia elétrica (NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2022).

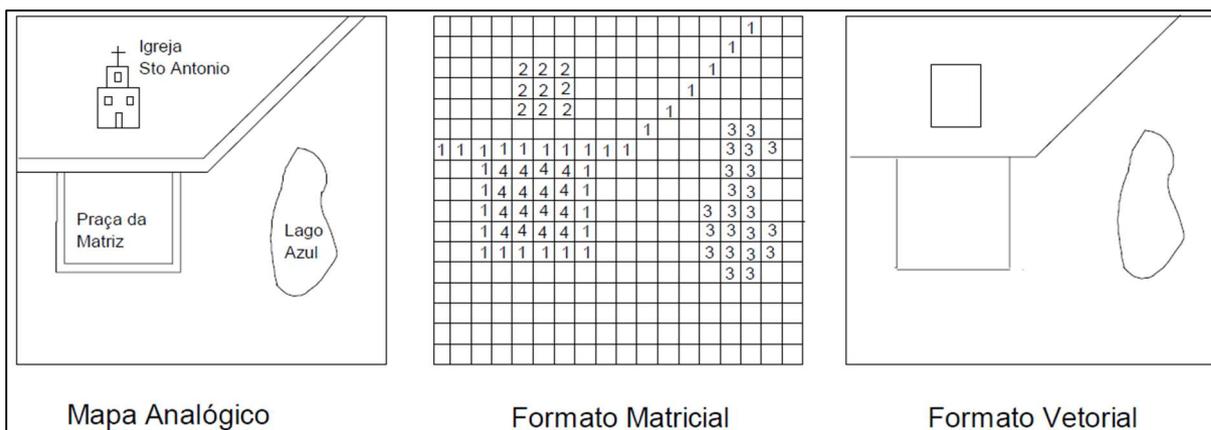
No processo de captura e inclusão de dados, estão incluídos sistemas de *hardware* e *software*. Esses aplicativos podem incluir dados cartográficos, dados fotográficos, dados históricos, dados digitais ou dados em planilhas (LAGUARDIA, 2019; NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2022).

A vantagem de se utilizar o SIG está na possibilidade de realizar o relacionamento de diferentes tipos de informações, independentemente de sua fonte ou formato original, podendo ser sobrepostos uns sobre os outros em um único mapa. Neste caso, o SIG utiliza a localização como a variável de índice chave para relacionar esses dados, de maneira dinâmica e de fácil atualização dos dados (ESRI, 2022b; FILHO e IOCHPE, 1996; NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2022).

Os dois principais tipos de formatos de arquivo SIG são matricial (ou *raster*) e vetorial. Os formatos *raster* são grades de células ou *pixels*, que armazenam os dados numéricos. Estes formatos são atribuídos normalmente aos dados espaciais, obtidos através de imagens de satélites. O modelo *raster* utiliza uma grade quadriculada que faz a representação da superfície em cada célula, ou ainda, cada quadrado armazena um valor que significa uma variável física. Cada uma dessas células da grade ‘quadriculada’ representa um *pixel*, possuindo um valor numérico e/ou uma cor que possibilita uma análise de varredura espacial em uma superfície contínua (LAGUARDIA, 2019; NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2022).

Formatos vetoriais são polígonos que usam pontos (chamados nós) e linhas. Os formatos vetoriais são úteis para armazenar dados SIG com fronteiras firmes, como bairros ou estradas, representados através de classes e elementos geométricos (pontos, linhas e polígonos) (LAGUARDIA, 2019; NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2022).

A Figura 4 ilustra a representação de um mapa analógico (representação cartográfica da realidade) e a comparação com a representação matricial e vetorial no SIG.



**Figura 4. Exemplo de representação matricial e vetorial.**

FONTE: FILHO e IOCHPE (1996)

Dentre os modelos de *raster* está incluída a representação conhecida como Modelo Digital de Elevação (MDE), de uso bastante difundido na gestão dos recursos hídricos. Este modelo utiliza uma disposição espacial de união de vértices (pontos) e arestas (linhas), subdividindo a área em triângulos irregulares, com uma característica tridimensional, pelo modelo de Grade Triangular ou *TIN* (*Triangulated Irregular Network*).

O SIG tem a capacidade de integrar, organizar e sistematizar diferentes fontes e dados temáticos, possibilitando analisar um conjunto variado de camadas temáticas. Para isso, precisam estar no mesmo sistema de coordenadas (FILHO e IOCHPE, 1996; LAGUARDIA, 2019). Um dos usos mais comuns dos SIG é a elaboração de mapeamentos envolvendo a comparação de características naturais com as atividades humanas. O aprofundamento das camadas nos mapas vai depender do nível de informação disponível e da profundidade de informações que o projetista delineou (NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2022). Assim, é possível criar uma série de camadas de informações sobrepostas, que podem resultar em distintos cenários e mapeamentos. Ainda, mesmo em mapas com uma visualização macro, é possível detalhar informações em pontos específicos, conforme for o objetivo do mapeamento que está sendo realizado.

O mapeamento, assim como o zoneamento de áreas propícias à ocorrência de inundações, se enquadra como soluções não estruturais, consistindo em importantes alternativas para diagnosticar as áreas com maior susceptibilidade às inundações, desempenhando um importante papel dentro do contexto de ordenamento de uso e ocupação do solo (GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022).

O mapeamento da susceptibilidade indica o potencial de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma determinada área, dada as condições do terreno, conforme classes de probabilidade de ocorrência. É a estimativa dos locais onde há probabilidade da ocorrência de determinados fenômenos (BRASIL, 2007; BRASIL, 2018).

Assim, diversos estudos utilizaram dados físicos e ambientais para a modelagem do risco, vulnerabilidade ou susceptibilidade à inundação, com auxílio da AHP para a ponderação de pesos para as variáveis, reclassificação dos dados, processamento das informações e geração de mapas através de SIG.

A análise da suscetibilidade geralmente considera uma série de critérios geográficos interrelacionados. O uso de SIG possibilita uma análise simultânea destes critérios, reduzindo as chances de erro. Atualmente a agregação dos dados através de métodos de decisão multicritério tem sido amplamente utilizados no mapeamento de susceptibilidades, riscos e vulnerabilidades à inundação, demonstrando resultados satisfatórios e evidenciando que o modelo é um importante produto cartográfico para contribuir como ferramenta de planejamento e gestão pública (ALVES et al., 2020; CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; DALFI et al., 2013; GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; MAGALHÃES et al., 2011; NETO et al., 2017; SANTANA et al., 2014; SANTOS et al., 2022; TIRYAKI e KARACA, 2018).

A estruturação de dados em SIG permite o uso para infinitas comparações, georreferenciamentos, processamento de dados e modelagens. Dentre os diversos programas computacionais disponíveis, destacam-se os *softwares* ArcGIS® e o QGIS®. Tanto o ArcGIS® quanto o QGIS® possuem um ferramental especializado para coleta, informatização, edição, armazenamento e gerenciamento de dados espaciais, fundamentado sobre uma avançada modelagem de dados georreferenciados, capaz de representar realidades geográficas, através de feições vetoriais, altimétricas, células ou *grids*, além de outros tipos de dados (SANTOS, LOUZADA e EUGÊNIO, 2010).

Com base nos tópicos levantados, foi possível relacionar diversas informações que subsidiaram a realização do presente estudo, conceituando informações sobre diferentes processos hidrológicos, dados sobre a área estudada, estratégias de controle e minimização, bem como elencar alguns métodos utilizados em algumas literaturas para o mapeamento de áreas sujeitas à inundação, relacionados ao uso de sistemas de informação geográfica, possibilitando atrelar as informações a realidade da área analisada.

O método de análise hierárquica de processos apresenta-se relevante para contribuir e embasar o zoneamento de áreas inundáveis nos planos diretores municipais, utilizando-se de dados existentes, com informações de fácil acesso e de domínio público.

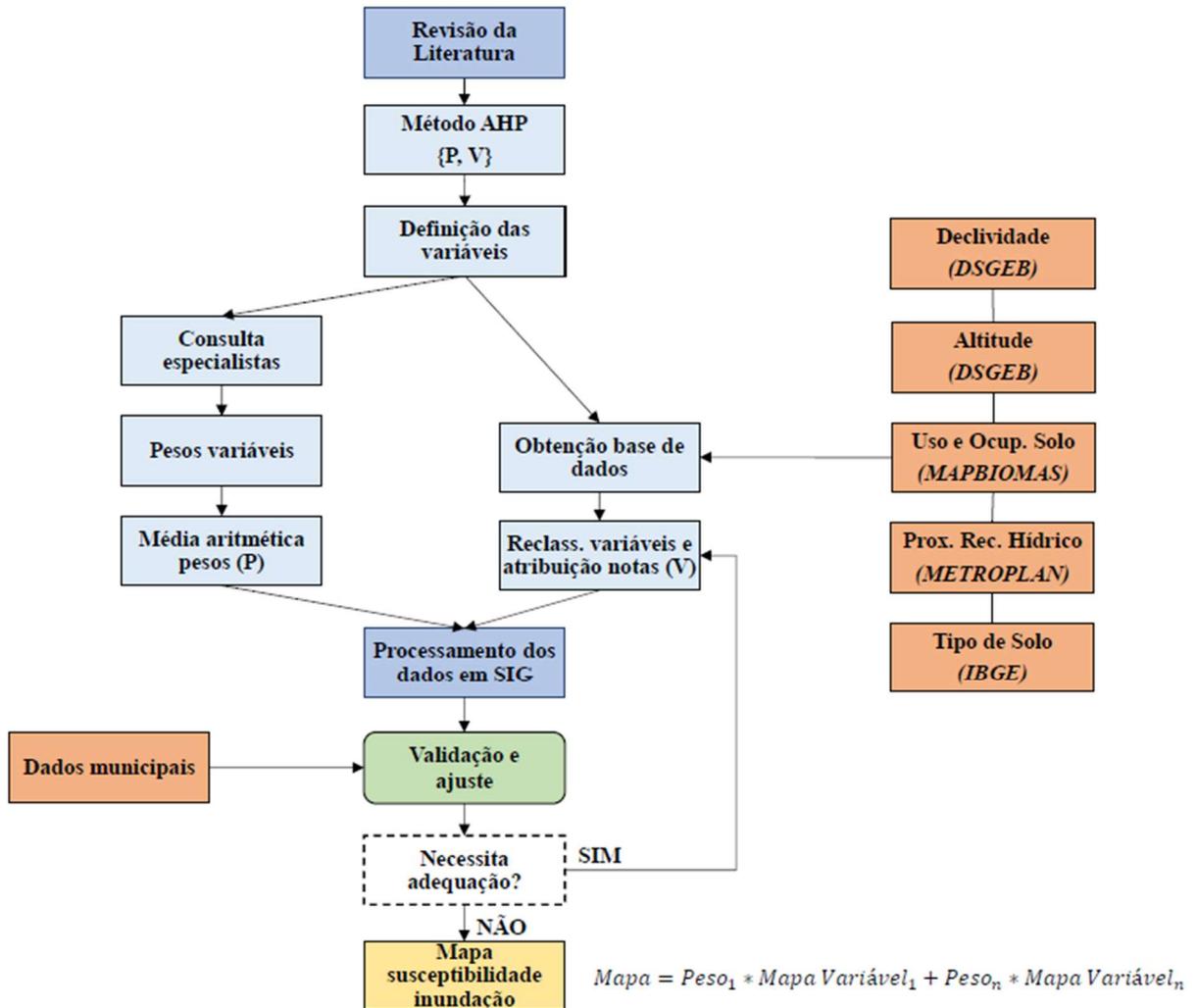
#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos consideraram a realização de levantamento de informações através da pesquisa descritiva que, segundo Gil (2002), objetiva descrever as características de determinado fenômeno e/ou estabelecer relações entre variáveis.

As variáveis estudadas foram definidas, obtidas e tratadas com base em critérios da bibliografia pesquisada, em especial os trabalhos desenvolvidos por Campioli e Vieira (2019), Cruz et al. (2013), Dalfi et al. (2013), Garcia, Dourado e Ávila (2022), Magalhães et al. (2011), Moreira et al. (2023), Neto et al. (2017), Rincón, Khan e Armenakis (2018), Santana et al. (2014), Santos et al. (2022) e Tiryaki e Karaca (2018), alinhado a metodologia multicritério proposta por Saaty (1977, 1990, 2008), a partir da identificação de componentes que tem interferência de maneira direta ou indireta nos processos estudados, com validação através de dados de campo,. A AHP foi utilizada para o estudo, hierarquização e ponderação de pesos às variáveis analisadas.

O tratamento dos dados e a validação dos resultados foram realizados com os *softwares* ArcGIS® e QGIS®.

A Figura 5 ilustra as etapas do fluxo de trabalho.

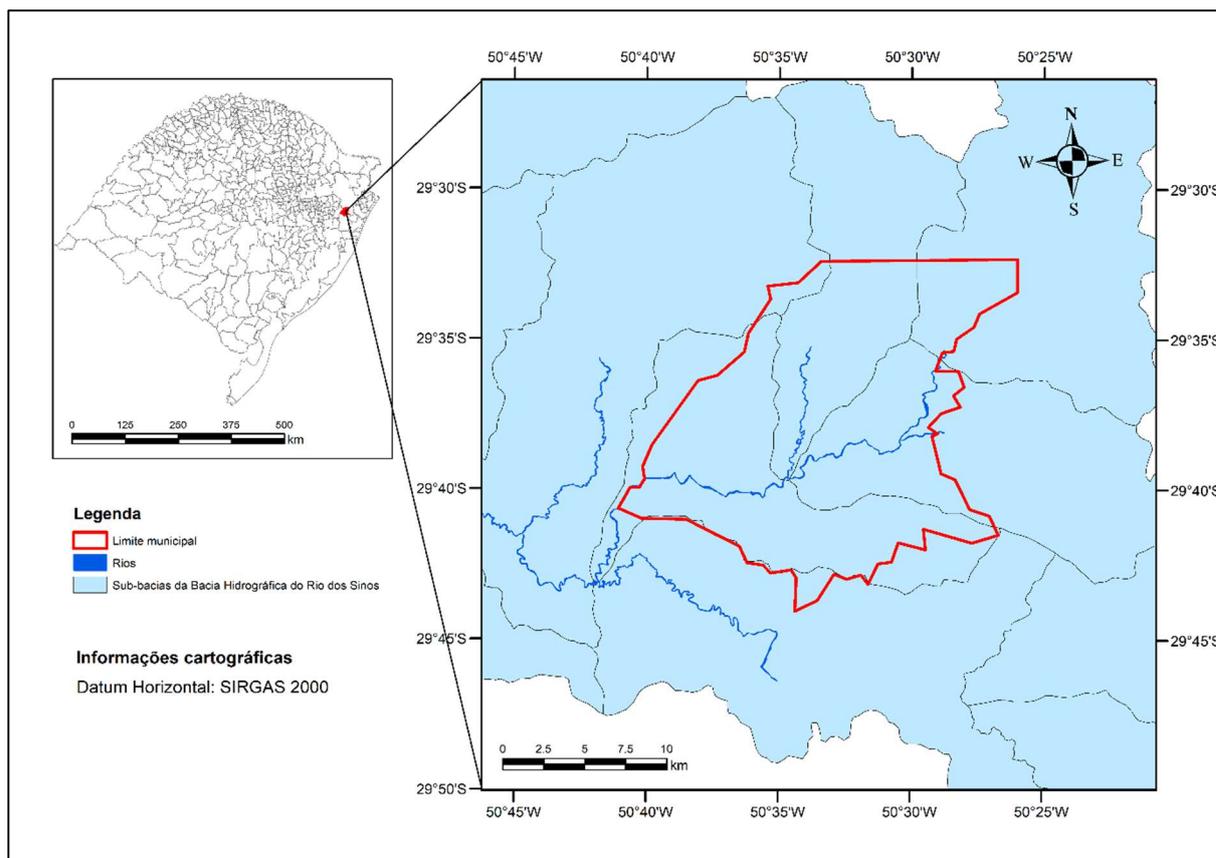


**Figura 5. Fluxograma de trabalho.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

#### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

Rolante possui 296 km<sup>2</sup> de área, localizada no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, conforme a Figura 6. Seu território está inserido entre as microbacias AS3, AS4, AS5, AS6, AS7 e AS8, ambas integrantes da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. A população é estimada em 21.591 habitantes, com densidade demográfica de 65,91 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2021b; METROPLAN, 2017).



**Figura 6. Localização da área de estudo.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Rolante está localizada na região da bacia hidrográfica denominada como alto sinos, tendo como principais características a diferença significativa de declividade no canal do curso hídrico, além de menor densidade populacional quando comparado a outras regiões da bacia. Nesta região há predominância de áreas rurais, com formação de núcleos urbanos. Devido à acentuada declividade e aos canais dos cursos d'água serem estreitos, as inundações possuem características mais rápidas, durando algumas horas (METROPLAN, 2018).

Os principais cursos d'água são o Rio Areia e o Rio Rolante, classificados respectivamente na 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> Ordem de Strahler, considerando o mapa da hidrografia disponibilizado pela METROPLAN (METROPLAN, 2017), escala 1:50.000. A cota altimétrica do canal destes cursos d'água na parcela a montante varia de 170,0 m a 210,0 m, e na parcela a jusante, após a união dos rios, varia de 14,0 m a 20,0 m. Devido a esta diferença de declividade, as inundações tendem a serem rápidas, durando algumas horas. A altitude do terreno varia entre 14,0 m e 849,0 m e a declividade tem variação entre 0% e 84%.

Conforme a classificação climática Köppen-Geiger, a região de Rolante pode ser classificada como clima subtropical úmido (cfa), sem estações secas definidas e com temperatura ao longo do ano variando entre a mínima de 8,5 °C registrada nos meses de julho e máxima de 32 °C registrada nos meses de janeiro, com precipitação média anual de 1.565,9 mm, segundo dados de 1981 a 2010 disponibilizados pelo IRGA.

Há presença de cinco classes de solo na área estudada. Nas regiões mais altas são identificadas parcelas de cambissolo húmico alumínico e neossolo litólico chernossólico. Nas áreas mais abaixo há predominância do nitossolo vermelho eutroférico. Nas regiões junto aos cursos hídricos são encontradas parcelas de argissolo vermelho-amarelo ta alumínico e cambissolo flúvico ta eutrófico (IBGE, 2021).

Os usos do solo encontrados em Rolante são classificados em: formação florestal, silvicultura, campo alagado e área pantanosa, formação campestre, pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, outras áreas não vegetadas, rio ou lago, soja, arroz e outras lavouras temporárias, totalizando 12 classes (PROJETO MAPBIOMAS, 2021).

A urbanização do município de Rolante situa-se próximo à confluência dos rios Rolante e Areia, onde há urbanização que se estende sobre as planícies aluvionares, arenoargilosos e depósitos fluviais compostos por seixo e cascalho, sujeitas às inundações. Estas planícies são cercadas por um conjunto de morros com encostas íngremes compostos por solos areno-siltosos produzidos pelo intemperismo de rochas areníticas da Formação Botucatu. Estas encostas por vezes formam relevos escarpados encobertos por depósitos coluvionares e depósitos de tálus. A ocupação destas encostas origina diversos cortes em pacotes coluvionares, seguidos por aterros sem compactação (CPRM, 2012).

Optamos por limitar a área de estudo no município de Rolante, visto que as atribuições para mapear as áreas de risco, bem como definir estratégias para sua prevenção e mitigação é do poder público municipal. Mesmo assim, é importante considerar que as ações que são realizadas no território municipal, relacionadas aos seus processos hidrológicos, podem impactar de maneira direta ou indireta as áreas localizadas das microbacias e da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, na qual Rolante está inserido.

Cabe ao município a gestão de seu espaço municipal, planejamento e estabelecendo seu zoneamento territorial e ambiental, através do plano diretor ou de outros instrumentos de gestão pública participativa. Nesta linha, o presente estudo objetiva fornecer ao município uma

ferramenta simples, de fácil obtenção e execução, que utiliza dados existentes, com uma rápida resposta ao planejamento municipal, sendo testado em Rolante.

#### 4.1.1 Registros de eventos em Rolante

Devido as suas características e localização, o município de Rolante está sujeito a ocorrência de diversos eventos hidrológicos extremos, como inundações, cheias, alagamentos, enxurradas e deslizamentos. Os mapeamentos realizados pela CPRM (2012) apontaram áreas na região central da cidade com probabilidades de ocorrência de inundações e deslizamentos, catalogando inclusive alguns eventos registrados nos últimos anos.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi possível elencar uma série de eventos hidrológicos ocorridos nos últimos anos, no município de Rolante. O registro destes eventos foi obtido através de informações e registros fotográficos obtidos junto à Prefeitura de Rolante, por moradores da cidade e pelo próprio autor, em diferentes pontos do território municipal.

Conforme a Tabela 1, foram contabilizados 20 (vinte) eventos entre os anos de 1936 e 2023. É possível observar um incremento dos registros a partir dos anos 2000. Isso pode ser devido ao fato de mais pessoas terem acesso a câmeras fotográficas, e ao fato de que com o passar do tempo, passamos a criar o hábito de registrar e divulgar estes eventos, inclusive pelos órgãos de Defesa Civil, com a finalidade de manter a população informada.

Assim, é muito provável que outros eventos tenham ocorrido principalmente antes dos anos 2000, mas que não tivemos conhecimento de seus registros. Verifica-se também que a maioria dos eventos foram classificados como inundações, reforçando a importância de se estudar estes eventos.

**Tabela 1. Registro dos principais eventos hidrológicos ocorridos em Rolante nos últimos 87 anos**

Data	Evento	Fonte informação
1936	Inundação	Registro fotográfico
1956	Inundação	Registro fotográfico
1967	Inundação	Registro fotográfico
1968	Inundação	Registro fotográfico
1980	Inundação	Registro fotográfico

Julho/1982	Inundação	Registro fotográfico; CPRM, 2012
1986	Inundação	Registro fotográfico
Julho/2001	Inundação	CPRM, 2012
Setembro/2009	Inundação	Registro fotográfico
Novembro/2010	Inundação	CPRM, 2012
Fevereiro/2011	Inundação	CPRM, 2012
Abril/2011	Inundação	CPRM, 2012
Julho/2011	Inundação	CPRM, 2012; Registro fotográfico
Agosto/2013	Inundação	Registro fotográfico
Julho/2015	Inundação	Registro fotográfico
Janeiro/2017	Enxurrada	Defesa civil municipal; Registro fotográfico
Setembro/2018	Inundação	Registro fotográfico
Junho/2020	Inundação	Registro fotográfico
Maiio/2022	Inundação	Registro fotográfico
Março/2023	Inundação	Defesa Civil municipal; Registro fotográfico

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Nesta linha, ilustramos no APÊNDICE A algumas fotos destes eventos. As informações coletadas descrevem que a inundação ocorrida no ano de 1982 foi uma das maiores já registradas na cidade.

Observando as fotos é possível perceber o grande impacto que estes eventos causam sobre a comunidade, o comércio, indústria e serviços, bem como sobre os serviços essenciais, como hospitais, abastecimento de água, fornecimento de energia elétrica e recolhimento de lixo. Geralmente estes serviços são suspensos temporariamente, de acordo com a magnitude dos eventos hidrológicos.

Em algumas fotos é possível observar a recorrência dos eventos em um mesmo ponto da cidade, em diferentes anos.

#### **4.2 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO DE MAPEAMENTO**

A modelagem está baseada no método AHP, com o processamento dos mapas das variáveis selecionadas que contribuem para a susceptibilidade à inundação, em ambiente SIG. Cada variável foi reclassificada conforme descrito no subitem 4.2.1.

Aos mapas das variáveis foi aplicado o modelo utilizando os pesos no método AHP (subitem 4.3), por meio do processamento da álgebra de mapas. A partir disto, o mapa resultante foi dividido em distintas classes de susceptibilidade à inundação.

Para o processo de validação da modelagem, o mapa das classes de susceptibilidade à inundação resultante foi comparado com informações obtidas a campo sobre a área estudada, disponibilizadas pela Defesa Civil e Departamento de Meio Ambiente da Prefeitura de Rolante.

#### 4.2.1 Seleção e reclassificação das variáveis

Entender o sistema de drenagem de uma área de estudo é essencial para compreender a velocidade com que a água é drenada por uma área ou bacia hidrográfica. O padrão de drenagem depende de alguns fatores. Dentre eles podemos citar: (i) a estrutura geológica do local; (ii) o tipo de solo; (iii) a topografia; e, (iv) o clima. Esse padrão também influencia no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica (ANA, 2022).

A definição das variáveis utilizadas no presente estudo foi uma das etapas mais importantes do trabalho. A questão primordial foi de que elas tivessem interferência e relevância direta ou indireta no mapeamento de áreas com risco, perigo, vulnerabilidade ou susceptibilidade às inundações, de acordo com a revisão da literatura realizada. Assim, foram selecionadas as variáveis: (i) altitude (elevação); (ii) declividade; (iii) uso e ocupação do solo; (iv) proximidade do recurso hídrico; e, (v) tipo de solo (pedologia) (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; DALFI et al., 2013; GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; MAGALHÃES et al., 2011; NETO et al., 2017; SANTANA et al., 2014; SANTOS et al., 2022; SANTOS, LOUZADA e EUGÊNIO, 2010; TIRYAKI e KARACA, 2018).

Além disso, foi necessário que houvesse a disponibilidade dos dados espaciais para cada variável, em relação à área estudada, permitindo o uso e tratamento dos dados em ambiente SIG (MOREIRA et al., 2023).

Os dados de entrada foram reamostrados em *pixels* com resolução espacial de 2,50 m, viabilizando a compatibilização das imagens e seu uso no *software* ArcGIS®. A partir disto, cada classificação temática foi subdividida em faixas, conforme o objetivo analisado (altitude, declividade, uso e ocupação do solo, tipo de solo e proximidade do recurso hídrico) e em seguida realizadas reclassificações, sendo que para cada atributo foi especificado uma nota conforme seu grau de influência na suscetibilidade às inundações.

O procedimento para atribuição de notas foi realizado pelo autor e levou em consideração a consulta realizada à estudos similares que desenvolveram mapas de susceptibilidade, vulnerabilidade ou risco à inundação, em especial aqueles desenvolvidos por Campioli e Vieira (2019), Cruz et al. (2013), Dalfi et al. (2013), Garcia, Dourado e Avila (2022), Magalhães et al. (2011), Neto et al. (2017), Rincón, Khan e Armenakis (2018), Ross (1994), Santana et al. (2014), Santos, Louzada e Eugênio (2010), Santos et al. (2022), e, Tiryaki e Karaca (2018), adequando a escala de notas conforme a realidade da área estudada.

A escala de notas variou de 1 a 10, considerando a nota mais baixa como sendo uma classe da variável com menor influência na susceptibilidade à ocorrência de inundações, e a nota mais alta atribuída à uma maior susceptibilidade às inundações. As notas para cada classe foram atribuídas por meio da reclassificação realizada pela função RECLASSIFY do *software* ArcGIS® 10.5. Essa reclassificação permite adicionar uma informação (nota) no *pixel* da imagem, possibilitando posteriormente a modelagem através da calculadora *raster*.

#### 4.2.1.1 Declividade

A declividade representa o ângulo de inclinação em uma relação percentual, entre o desnível vertical ( $H$ ) e o comprimento na direção horizontal ( $L$ ) na encosta. Assim, a declividade é o resultado da equação 1 (BRASIL, 2007):

$$D = \frac{H}{L} * 100 \quad (1)$$

Onde:  $D$  é a Declividade, em valor percentual;  $H$  é o desnível vertical; e,  $L$  é o comprimento na direção horizontal.

Na Tabela 2 pode-se observar a relação entre os valores de declividade e a inclinação de uma área.

**Tabela 2. Conversão entre os valores de declividade e inclinação**

Declividade	Inclinação
$D(\%) = (H/L) \times 100$	$\alpha = \text{ARCTAN}(H/L)$
100%	45°
50%	~ 27°
30%	~ 17°
20%	~ 11°

12%	~ 7°
6%	~ 3°

FONTE: Brasil (2007)

Quanto maior o percentual de declividade, maior é a rapidez com que a água pluvial escoar para as áreas mais baixas. Entretanto, quando menor o percentual de declividade, mais plana é a área e assim, a velocidade de escoamento superficial é menor, favorecendo a ocorrência de inundações nestes locais (DALFI et al., 2013; MAGALHÃES et al., 2011; NETO et al., 2017).

Nesta linha, as classes com maior declividade receberam uma nota menor em relação a susceptibilidade à inundação, enquanto as áreas com menor declividade (que tendem a serem mais planas) receberam uma pontuação maior.

Os dados de declividade foram gerados através do Modelo Digital de Terreno (MDT) com escala de 1:25.000 e resolução espacial de 2,50 m, referenciado em altitude ortométrica no *Datum* Horizontal SIRGAS 2000 (DIRETORIA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS DO EXÉRCITO BRASILEIRO, 2021).

Este MDT foi desenvolvido pela Diretoria de Serviços Geográficos do Exército Brasileiro em conjunto com a Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão do Estado do Rio Grande do Sul. A qualidade do MDT gerado foi classificado como Classe A, tendo sido produzido a partir de ortoimagens com resolução espacial de 0,35 m (RIO GRANDE DO SUL, 2021).

#### 4.2.1.2 Altitude

Regiões mais baixas tendem a acumular mais água do que em regiões mais altas. Isso ocorre principalmente devido a ação gravitacional que direciona as águas para áreas mais baixas (DALFI et al., 2013; MAGALHÃES et al., 2011). As informações desta variável são importantes, uma vez que os terrenos com baixa altitude tendem a ser mais planos e mais propensos a serem inundados do que em regiões mais elevadas (RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018). Neste sentido, os locais com maior altitude receberam uma nota menor em relação a susceptibilidade à inundação, enquanto as áreas com menor altitude receberam uma pontuação maior. Os dados de altitude foram obtidos pelo mesmo MDT utilizado para a geração das informações de declividade na área de estudo.

#### 4.2.1.3 Uso e ocupação do solo

A forma como o solo é utilizada interfere diretamente nos processos de inundações, acelerando ou retardando a velocidade de infiltração no solo e o escoamento superficial. Áreas com maior densidade de ocupação e infraestrutura urbana tem maior índice de impermeabilização, acumulando mais água na superfície do solo, quando comparados a solos com presença de cobertura vegetal e menor compactação (DALFI et al., 2013; GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; MAGALHÃES et al., 2011; RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018).

Assim, o uso e cobertura do solo está diretamente relacionado a permeabilidade da área, com uma tendência à retenção e infiltração das águas nas áreas de mata nativa e reflorestamento. Já nas áreas com maior índice de pavimentação, como nas áreas urbanas, o escoamento superficial tende a aumentar significativamente (NETO et al., 2017).

Com isso, usos e ocupações do solo que apresentaram características de maior impermeabilização receberam uma nota maior em relação à susceptibilidade à inundação. Já os usos e ocupações do solo que apresentaram características de permeabilidade e boa retenção de água receberam uma nota menor.

No bioma Mata Atlântica, onde Rolante está inserido, predomina o uso do solo pela agricultura, pecuária, áreas urbanas, plantação florestal e reservatórios artificiais de água. Os dados disponíveis para este bioma apresentam uma acurácia de 87,3% (PROJETO MAPBIOMAS, 2021; SOUZA JR. et al., 2020).

O mapa anual de cobertura e uso da terra do MapBiomias foi produzido a partir da classificação *pixel a pixel* de imagens dos satélites Landsat (resolução espacial de 30 m). Todo processo é feito com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) através da plataforma *Google Earth Engine* que oferece imensa capacidade de processamento na nuvem. A partir destes mapas temáticos gerados, foi realizada a reamostragem dos *pixels* em 2,50 m com o uso do *software* ArcGIS® através da função RESAMPLE.

Os dados de uso e ocupação do solo anuais estão disponíveis na Coleção 7 do MapBiomias, publicada em agosto de 2022, com 27 classes temáticas cobrindo o período de 1985 a 2021, sendo considerado o uso e ocupação do solo do mapeamento anual de 2021 no presente estudo.

#### 4.2.1.4 Proximidade do recurso hídrico

O processo de inundações no município de Rolante ocorre predominantemente devido a existência de importantes cursos hídricos na cidade. Na região central há dois cursos d'água que se encontram a jusante da área urbana. A elevação de seus níveis de maneira isolada ou simultânea pode resultar na ocorrência de cheias ou inundações, na medida em que a elevação de um pode ocasionar o represamento das águas do outro (DEFESA CIVIL, 2022). Portanto, foram considerados o distanciamento das margens do Rio Areia, Rio Rolante e Rio Mascarada.

É relevante levar em consideração a distância dos cursos d'água no desenvolvimento do mapa de susceptibilidade de inundações, uma vez que as áreas próximas aos cursos hídricos possuem maior probabilidade de ocorrência destes eventos (RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018). Nesta linha, os locais mais próximos aos cursos hídricos receberam uma pontuação maior em relação à susceptibilidade às inundações. À medida que a distância do curso hídrico aumenta, a nota de susceptibilidade reduz.

Os dados de georreferenciamento dos cursos hídricos foram obtidos através do Estudo de Alternativas e Projetos para Minimização do Efeito das Cheias na Bacia do Rio dos Sinos, sob *Datum* Horizontal SIRGAS 2000, desenvolvido pela METROPLAN (METROPLAN, 2017).

As margens dos recursos hídricos foram disponibilizadas no formato de *shapefile*, tratados no *software* QGIS®, onde foi aplicada a função *BUFFER*, gerando polígonos que recobrem as regiões a 5, 10, 30, 50, 80 e maior que 80 m em relação a margem, sendo estas as classes definidas no presente estudo. Uma zona de *buffer* é uma área de extensão regular, gerada ao redor de objetos espaciais (FILHO e IOCHPE, 1996). Logo após, estes polígonos foram convertidos em imagens no formato *raster*, com resolução espacial de 2,50 m. A faixa de até 30 m e de até 50 m correspondem, respectivamente, aos limites das faixas das áreas de preservação permanente – APP, nos termos da Lei Federal nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012).

As APP estabelecidas em legislação são áreas especialmente protegidas, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade ecológica e os ecossistemas. Na medida em que estas áreas são preservadas, temos a garantia do bem-estar e segurança da população, pois nestes locais podemos ter a presença de áreas com risco ou susceptibilidade a inundações, motivo pelo qual consideramos estas faixas de APP durante a reclassificação dos dados.

Esta série de imagens foram sobrepostas em camadas e com a função MERGE do QGIS® elas foram fusionadas, prevalecendo os *pixels* mais próximos às margens do recurso hídrico.

Em seguida, foi aplicada a técnica de reclassificação pela função RECLASSIFY no ArcGIS® sobre esta imagem sobreposta, possibilitando atribuir aos *pixels* as notas de maior prioridade nas regiões mais próximas do curso hídrico em relação as regiões com distâncias maiores.

Destacamos que a avaliação da proximidade com o recurso hídrico considerou as distâncias horizontais lineares, com notas por classes, considerando tanto a zona urbana como a zona rural, sem levar em consideração pequenos desníveis ou canais de drenagem. Os desníveis, de maneira mais abrangente, foram considerados no mapa de declividade.

#### 4.2.1.5 Tipo de solo

A velocidade de infiltração e do escoamento superficial da água depende, dentre outros fatores, das características e do tipo de solo da área, em especial: (i) da capacidade de infiltração (permeabilidade); (ii) da profundidade; (iii) da textura; e, (iv) da granulometria. Solos mais arenosos tendem a propiciar maior infiltração da água, enquanto os solos argilosos, ou solos compactados artificialmente, são menos permeáveis, propiciando maior escoamento superficial (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; MAGALHÃES et al., 2011; NETO et al., 2017).

Com isso, os solos com características mais argilosas ou menos porosos receberam maior nota em relação à susceptibilidade à inundação, enquanto os solos com características mais arenosas receberam uma pontuação menor, pois tem uma capacidade de infiltração maior e escoamento superficial menor.

Os dados de tipo de solo foram obtidos através do mapa de Pedologia disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021) em formato vetorial, sob base cartográfica com escala 1:250.000. Estes dados vetoriais foram convertidos em formato *raster* e padronizados em *pixels* de 2,50 m com o uso do *software* ArcGIS®, possibilitando o cruzamento destas informações com os demais dados utilizados.

Dentre os mapas de tipo de solo que tivemos acesso, com consulta gratuita, este se mostrou o com melhor escala para realização do trabalho. O mapa disponibilizado pela EMBRAPA ([http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104),

acesso em 04 mai. 2023) foi descartado pois possui escala de 1:5.000.000, trazendo significativas limitações a este estudo.

### 4.3 APLICAÇÃO DO AHP

Para a aplicação do método AHP, também conhecido como método multicritério, a primeira etapa do processo consistiu em estruturar os critérios (variáveis) em uma matriz de comparação pareada. Os critérios foram selecionados e organizados com base na bibliografia consultada, considerando aqueles que contribuem de maneira direta ou indireta nos processos de ocorrência de inundações (DALFI et al., 2013; GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018; SANTOS, LOUZADA e EUGÊNIO, 2010).

A matriz corresponde a quantidade de variáveis nas colunas e linhas, de maneira a se proceder com a comparação par a par entre ambas. Os parâmetros de ponderação de peso obedeceram a classificação da AHP com valores de importância numa escala de 1 a 9, conforme a Tabela 3 (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; MAGALHÃES et al., 2011; NETO et al., 2017; RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018; SAATY, 1977, 1990, 2008; SANTANA et al., 2014; SANTOS et al., 2022; TIRYAKI e KARACA, 2018).

**Tabela 3. Escala de comparação hierárquica - AHP**

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Duas variáveis contribuem igualmente para o objetivo
2	Importância fraca ou ligeira	Valor intermediário
3	Importância moderada	A experiência e o julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em detrimento de outra
4	Importância mais moderada	Valor intermediário
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em detrimento de outra
6	Importância mais forte	Valor intermediário

7	Importância muito forte ou demonstrada	Uma atividade é favorecida muito fortemente em relação a outra; sua dominância é demonstrada na prática
8	Importância muito, muito forte	Valor intermediário
9	Extremamente importante	A evidência que favorece uma atividade em detrimento de outra é da mais alta ordem possível de afirmação

FONTE: Adaptado de Saaty (2008)

A matriz de comparação considera o número de variáveis ( $n$ ) em relação aos critérios analisados ( $C$ ), onde o valor de comparação corresponde a  $a_{ij}$  que é obtido a partir da avaliação de qual variável é mais importante para um determinado objetivo, em relação a outra. As comparações geram relações recíprocas entre as variáveis, em que  $a_{ij} = x$ , então,  $a_{ji} = 1/x$ . Na diagonal da matriz, a comparação entre a mesma variável (linha/coluna) corresponde ao valor de 1 (importância igual) (SAATY, 1977, 1990, 2008; SANTOS et al., 2022).

Após a organização das variáveis, a atribuição dos pesos para cada variável foi realizada por pesquisa com profissionais que atuam na área de recursos hídricos. Essa pesquisa se deu através de entrevista, com o envio de formulário em formato de planilha em Excel®, com explicativos de como a metodologia funcionava, e que foi preenchida pelos participantes. Antes do início do preenchimento da pesquisa, o entrevistador explicou os detalhes do estudo, como a metodologia funcionava e qual era o seu objetivo. Durante o preenchimento da planilha, diversas dúvidas foram sanadas para melhor entendimento da metodologia proposta.

As profissões e o nível de formação dos participantes estão relacionados na Tabela 4.

**Tabela 4. Profissão e nível de formação dos participantes da pesquisa multicritério**

Participante	Profissão / Função	Formação
Participante 1	Diretor do Departamento de Meio Ambiente / Prefeitura de Rolante ( <i>participa do Conselho Municipal de Meio Ambiente e Saneamento, Conselho Municipal do Plano Diretor e do Comitê da Defesa Civil</i> )	Graduado em Gestão Ambiental; Especialização em Educação Ambiental

Participante 2	Arquiteta do Departamento de Engenharia / Prefeitura de Rolante ( <i>participa do Conselho Municipal do Plano Diretor</i> )	Graduada em Arquitetura e Urbanismo
Participante 3	Profissional autônomo / consultoria ambiental ( <i>experiência em ações de Defesa Civil</i> )	Graduado em Geologia
Participante 4	Profissional autônoma / consultoria ambiental	Graduada em Engenharia Hídrica e Engenharia Civil
Participante 5	Engenheiro do Departamento de Engenharia / Prefeitura de Rolante ( <i>participa do Comitê da Defesa Civil</i> )	Graduado em Engenharia Civil

FONTE: Elaborado pelo autor (2022)

Após o preenchimento de cada matriz, foi realizada a somatória dos valores obtidos pela comparação pareada, somando-se os julgamentos das variáveis  $n_j$  (soma das colunas) cujo resultado permitiu realizar a normalização da matriz, através da divisão dos valores de cada linha pelo somatório de cada coluna. O somatório das colunas com os novos valores deve ser igual a 1, conforme a Equação 2 (SAATY, 1977, 1990, 2006, 2008; SANTOS et al., 2022):

$$V_i = \frac{n_i}{\sum n_j} \quad (2)$$

Onde:  $V_i$  corresponde ao valor de normalização;  $n_i$  o valor de cada linha; e,  $\sum n_j$  corresponde ao somatório das colunas de cada variável.

O cálculo da priorização das variáveis foi realizado através da média aritmética das linhas normalizadas. A somatória das prioridades de cada matriz deve ser igual a 1 (SAATY, 1977, 1990, 2006, 2008; SANTOS et al., 2022).

Em seguida foi realizado o cálculo do maior autovalor da matriz de julgamento ( $\lambda_{max}$ ), conforme a Equação 3 (GARCIA, DOURADO e ÁVILA, 2022; SAATY, 1977, 1990, 2006, 2008; SANTOS et al., 2022):

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_j} \quad (3)$$

Onde:  $\lambda_{max}$  corresponde ao maior autovalor da matriz de julgamento;  $n$  é o número de fatores avaliados (linhas ou colunas);  $\sum$  é o somatório dos fatores avaliados, onde há a divisão do número de fatores ( $n$ ) pelo somatório das colunas ( $j$ ), que deve ser igual a 1;  $[Aw]_i$  é a matriz

resultante do produto da matriz de comparação pelos pesos calculados ( $w_i$ );  $w_i$  são os pesos calculados.

A análise dos dados preenchidos pelos entrevistados foi realizada através da verificação da consistência dos pesos atribuídos, de maneira a averiguar a consistência e a coerência dos julgamentos realizados. Para isso, foi realizado o cálculo do Índice de Consistência (IC), conforme ilustra a Equação 4 (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018; SAATY, 1977, 1990, 2006, 2008; SANTOS, LOUZADA e EUGÊNIO, 2010; SANTOS et al., 2022):

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (4)$$

Onde:  $IC$  corresponde ao Índice de Consistência;  $\lambda_{max}$  é o maior autovalor da matriz de julgamento; e,  $n$  é o número de variáveis.

Posteriormente calculamos a Razão de Consistência (RC), com base no Índice Aleatório (IA), cujos valores correspondem à consistência de uma matriz recíproca gerada, conforme a Tabela 5.

**Tabela 5. Índices aleatórios em matrizes para AHP**

Tamanho da matriz	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	11x11
Valores aleatórios	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,54

FONTE: Elaborado pelo autor (2023), adaptado de: Saaty (2006); Santos et al. (2022)

Para que a ponderação dos pesos seja validada estatisticamente, o valor da RC deve ser igual ou menor que 0,10, ou seja, significa que os julgamentos podem apresentar até 10% de inconsistência. Resultados com valores acima do limite de inconsistência necessitam ser revisados. O RC é calculado conforme Equação 5 (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018; SAATY, 1977, 1990, 2006, 2008; SANTOS, LOUZADA e EUGÊNIO, 2010; SANTOS et al., 2022):

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (5)$$

Onde:  $RC$  corresponde a Razão de Consistência;  $IC$  corresponde ao Índice de Consistência; e,  $IA$  corresponde ao Índice Aleatório, conforme Tabela 5.

Da ponderação dos pesos e hierarquização das variáveis realizados pelos participantes, utilizamos os valores das prioridades de cada variável para calcular a média aritmética entre as prioridades. O valor final da prioridade de cada variável foi utilizado no cálculo da modelagem de susceptibilidade à inundação.

#### 4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após o tratamento dos dados, reclassificação das variáveis e organização de suas prioridades pelo método AHP, passamos a considerar os dados de prioridade atribuídos para cada variável reclassificada, para a modelagem do mapeamento, através do comando *RASTER CALCULATOR* do *software* ArcGIS®, conforme a Equação 6:

$$MSI = (v_1 * D) + (v_2 * A) + (v_3 * U) + (v_4 * P) + (v_5 * T) \quad (6)$$

Onde: *MSI* é o mapa de susceptibilidade à inundação; *v* são os pesos finais das prioridades de cada variável; *D* é o mapa de declividade reclassificado; *A* é o mapa de altitude reclassificado; *U* é o mapa de uso e ocupação do solo reclassificado; *P* é o mapa de proximidade do recurso hídrico reclassificado; e, *T* é o mapa de tipo do solo reclassificado.

A execução do modelo por meio da calculadora *raster* resultou na obtenção de uma imagem matricial com as áreas susceptíveis à inundação.

Para o processo de validação do mapa, obtivemos informações junto ao Departamento de Meio Ambiente e Defesa Civil do Município de Rolante que foram incorporados ao *software* ArcGIS® com a finalidade de realizar comparativos com a mancha de susceptibilidade gerada. Para melhor visualização e entendimento das áreas de abrangência da mancha de inundação, elaboramos o mapeamento das regiões onde se localizam os bairros e localidades do município. As informações foram compostas de:

- (i) mapeamento desenvolvido pela METROPLAN para a Bacia do Rio dos Sinos, abrangendo também o Município de Rolante, consistindo em uma mancha de inundação elaborada com Tempo de Retorno de 100 anos, escala 1:10.000 (METROPLAN, 2018);
- (ii) mapeamento desenvolvido pela empresa Bhios Ambiental, contratada pelo Município de Rolante para mapear as áreas inundáveis na área central do município, escala 1:15.000 (BHIOS, 2017);

- (iii) Localização de pontos junto ao Rio Areia, Rio Rolante e Rio Mascarada, mapeados pela Defesa Civil municipal e reconhecidos como áreas que inundam aproximadamente cada 2 (dois) ou 5 (cinco) anos (DEFESA CIVIL, 2022). Estas informações foram georreferenciadas através do software Google Earth Pro no Datum Horizontal WGS-84, sendo posteriormente importados para o software ArcGIS®.
- (iv) Mapeamento das regiões dos bairros e localidades, com base na legislação que criou estas regiões, no conhecimento empírico dos limites destas áreas, e com base em informações dos roteiros da coleta de resíduos domésticos fornecidos pelo Departamento de Meio Ambiente. As informações foram georreferenciadas no *software* Google Earth Pro no *Datum* Horizontal WGS-84 e importados para o *software* ArcGIS®.

De posse dessas informações procedemos com a sua comparação em relação às simulações geradas pelo modelo utilizado neste estudo, verificando eventuais inconsistências.

O produto final resultou no mapeamento das áreas com probabilidades de serem inundadas no município de Rolante, através da metodologia multicritério. Em seguida, este mapa foi reclassificado através da função *RECLASSIFY* do *software* ArcGIS®, gerando cinco classes de susceptibilidade: (i) Muito baixa/nula; (ii) Baixa; (iii) Média; (iv) Alta; e, (v) Muito alta. Esta divisão auxilia na visualização espacial das áreas mais críticas, possibilitando que medidas preventivas e de controle sejam empregadas nestes locais.

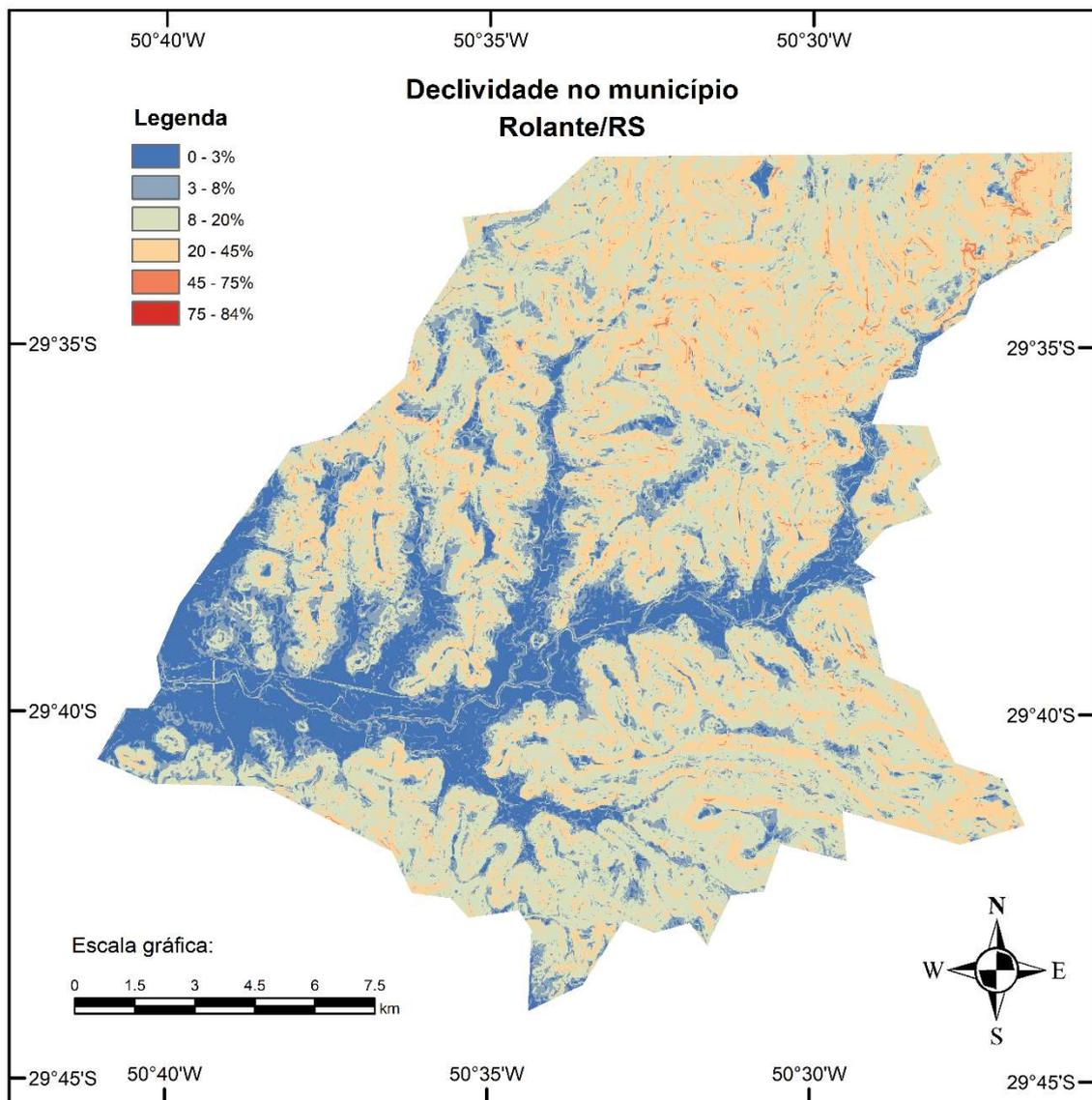
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a organização e processamento dos dados, passamos a verificar os produtos preliminares obtidos e os ajustes que se fizeram necessários.

### 5.1.1 Reclassificação da declividade

Como os dados de entrada da declividade possuíam distintas faixas de informações, inicialmente foram divididas estas informações em 6 classes, com base nas categorias definidas por Embrapa (2018), atribuindo-se as respectivas notas: (i) 0 – 3% (plano) / nota: 10; (ii) 3 – 8% (suave ondulado) / nota: 8; (iii) 8 – 20% (ondulado) / nota: 5; (iv) 20 – 45% (forte ondulado) / nota: 3; (v) 45 – 75% (montanhoso) / nota: 2; e, (vi) maior que 75% (escarpado) / nota: 1.

Durante a fase de pré-processamento e de validação preliminar dos dados de entrada, devido a priorização dos dados de declividade e ao fato das áreas centrais da cidade de Rolante serem essencialmente planas, havendo nestas áreas uma parcela significativa da população, constatamos que as áreas abrangidas pelas classes 0 – 3% (plano) e 3 – 8% (suave ondulado), faziam com que o *software* interpretasse estes locais de maneira prioritariamente homogênea, não levando em consideração os pequenos desníveis do terreno (Figura 7).



**Figura 7. Mapa de declividade preliminar, dividido em seis classes, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Com isso, realizamos nova análise dos dados. A conclusão que encontramos foi de que as classes utilizadas pela Embrapa (2018) têm viés para o uso na agricultura, enquanto nosso estudo vai na linha do mapeamento de inundações, sendo tolerável fracionar algumas destas classes. Para tanto, aplicamos uma nova reclassificação dos dados, atribuindo novas notas, alterando de 6 para 10 classes de declividade (Tabela 6).

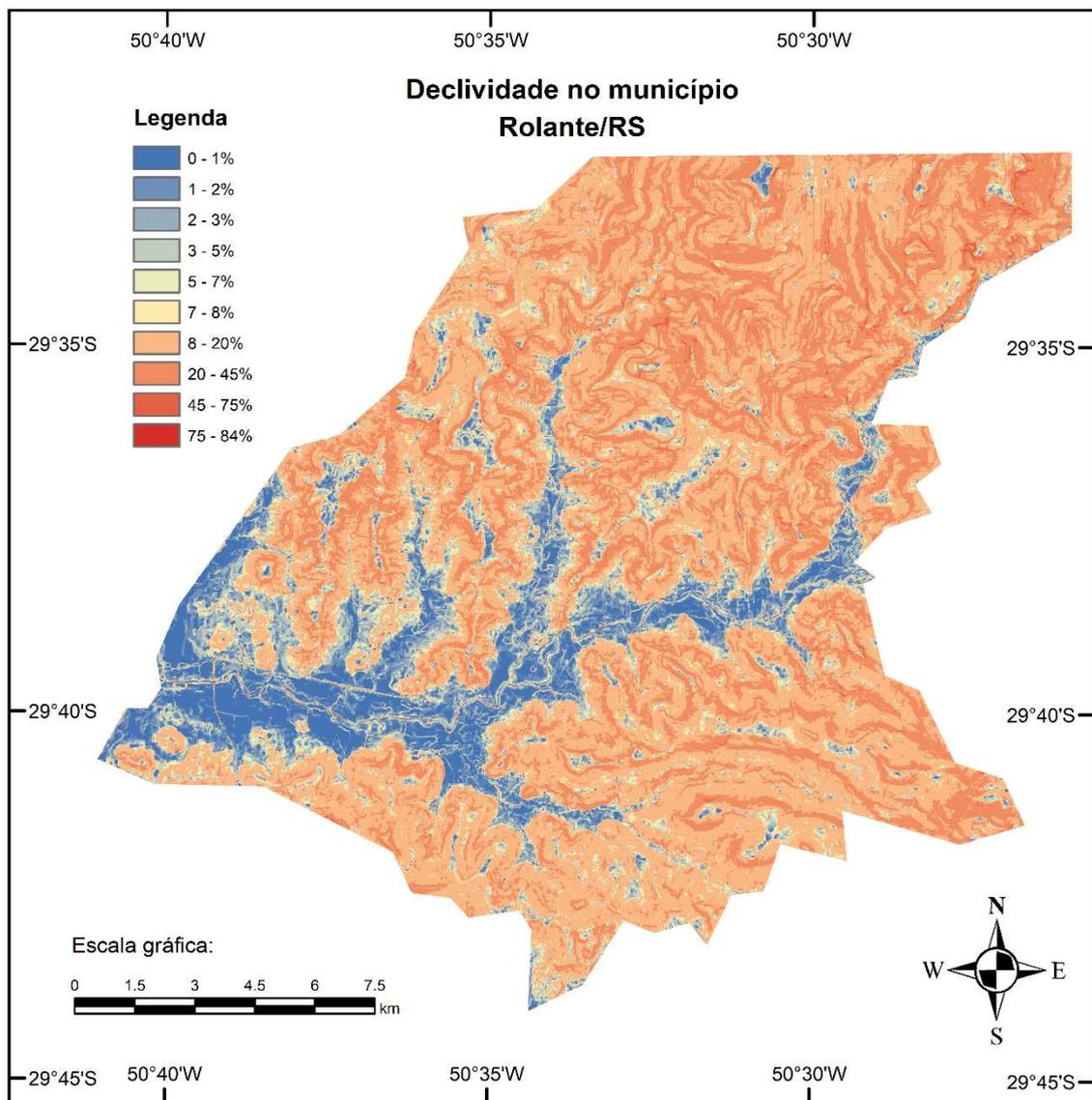
**Tabela 6. Classes finais de declividade e notas atribuídas**

Declividade (%)	Classe de relevo	Nota
0 – 1	Plano	10
1 – 2	Plano	9
2 – 3	Plano	8
3 – 5	Suave ondulado	7
5 – 7	Suave ondulado	7
7 – 8	Suave ondulado	5
8 – 20	Ondulado	4
20 – 45	Forte ondulado	3
45 – 75	Montanhoso	1
Maior que 75	Escarpado	1

FONTE: Elaborado pelo autor (2022)

A definição de notas iguais entre as classes de declividade “3 – 5” e “5 – 7”, e classes “45 – 75” e “maior que 75”, foi devido ao fato de que, no entendimento do autor, estas classes possuem características muito semelhantes entre si, assim, poderiam receber a mesma nota. Acreditamos que a eventual alteração da classe “5 – 7” para uma nota “6”, e da classe “45 – 75” para “2” não causaria mudanças significativas na simulação realizada, entretanto, não foi realizado teste com esta alteração devido a limitação de tempo.

Como resultado, temos o mapa com os dados de declividade reclassificados, ilustrado na Figura 8, onde as áreas com tom azulado são os locais mais planos, com menor declividade, iniciando em 0% de declividade. Na medida que a cor vai alterando do tom alaranjado para o vermelho, temos o incremento da declividade em direção às áreas mais íngremes, chegando até o valor de 84% de declividade. Percebemos que as áreas mais planas estão localizadas junto aos cursos d’água e na região central da cidade, havendo somente algumas áreas planas localizadas de maneira isolada. Já os tons alaranjados e vermelhos delineiam a topografia dos morros presentes no município.



**Figura 8. Mapa de declividade em 10 classes, no município de Rolante/RS.**

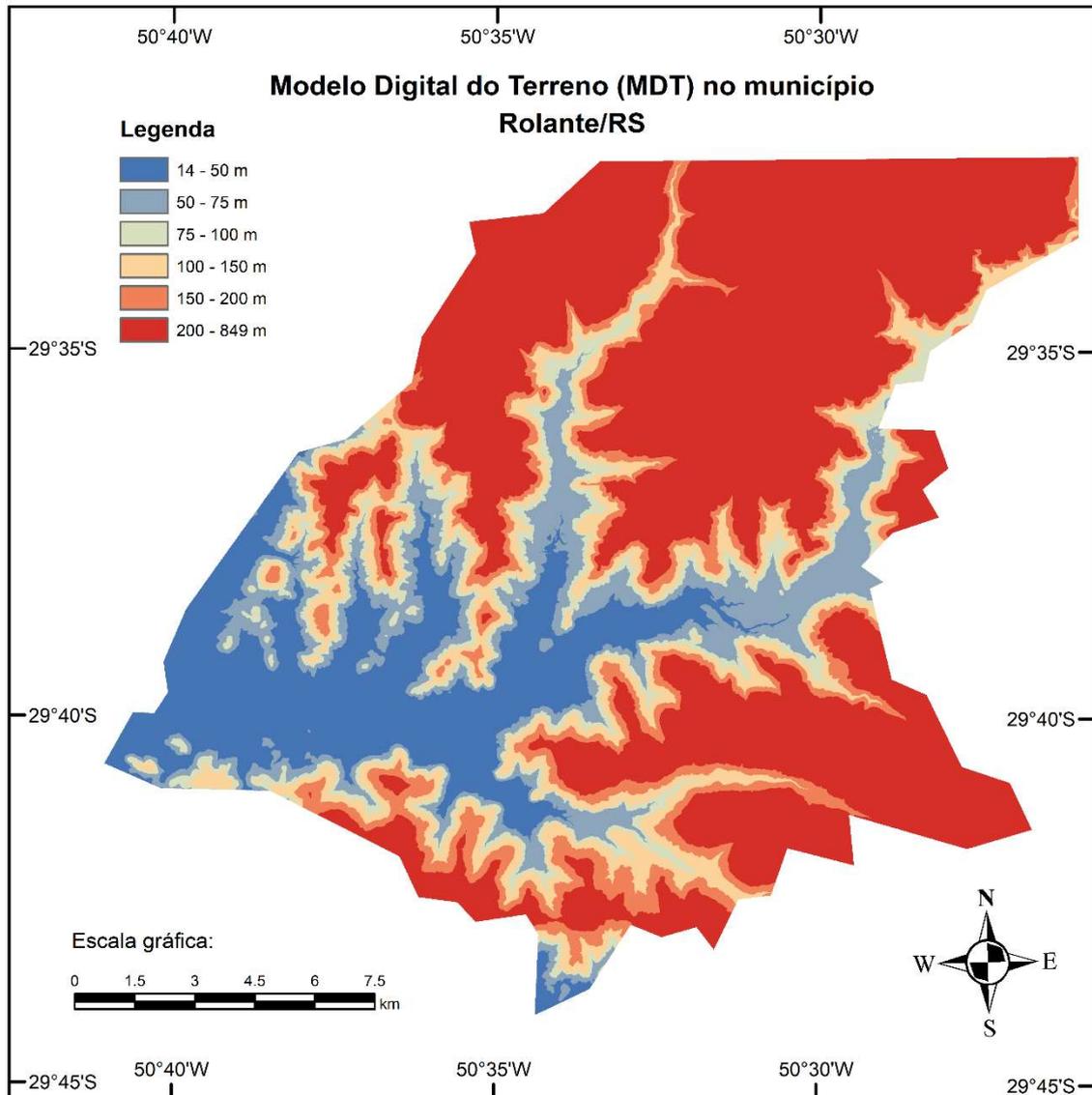
FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

### 5.1.2 Reclassificação da altitude

Os dados de altitude foram reclassificados inicialmente em 6 classes. Esta divisão levou em conta a segregação equilibrada dos dados, conforme as faixas de altitude encontradas no município de Rolante. A divisão e atribuição das notas ficou da seguinte maneira: (i) 14 – 50 m / nota: 10; (ii) 50 – 75 m / nota: 9; (iii) 75 – 100 m / nota: 7; (iv) 100 – 150 m / nota: 5; (v) 150 – 200 / nota: 3; e, (vi) maior que 200 m / nota: 2.

Na fase de pré-processamento e validação preliminar dos dados de entrada, foi possível constatar que, devido a hierarquização dos dados de altitude, e devido ao fato da cidade de

Rolante estar instalada em um vale, não foi possível distinguir pequenas diferenças de altitude nas classes 14 – 50 m e 50 – 75 m, distorcendo dos dados utilizados para validação do mapa (Figura 9).



**Figura 9. Mapa de altitude preliminar, dividido em seis classes, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Com isso, se fez necessário adequar e reclassificar os dados e, após uma reanálise, aplicamos uma nova reclassificação dos dados, atribuindo novas notas, alterando de 6 para 10 classes de altitude, conforme ilustrado na Tabela 7.

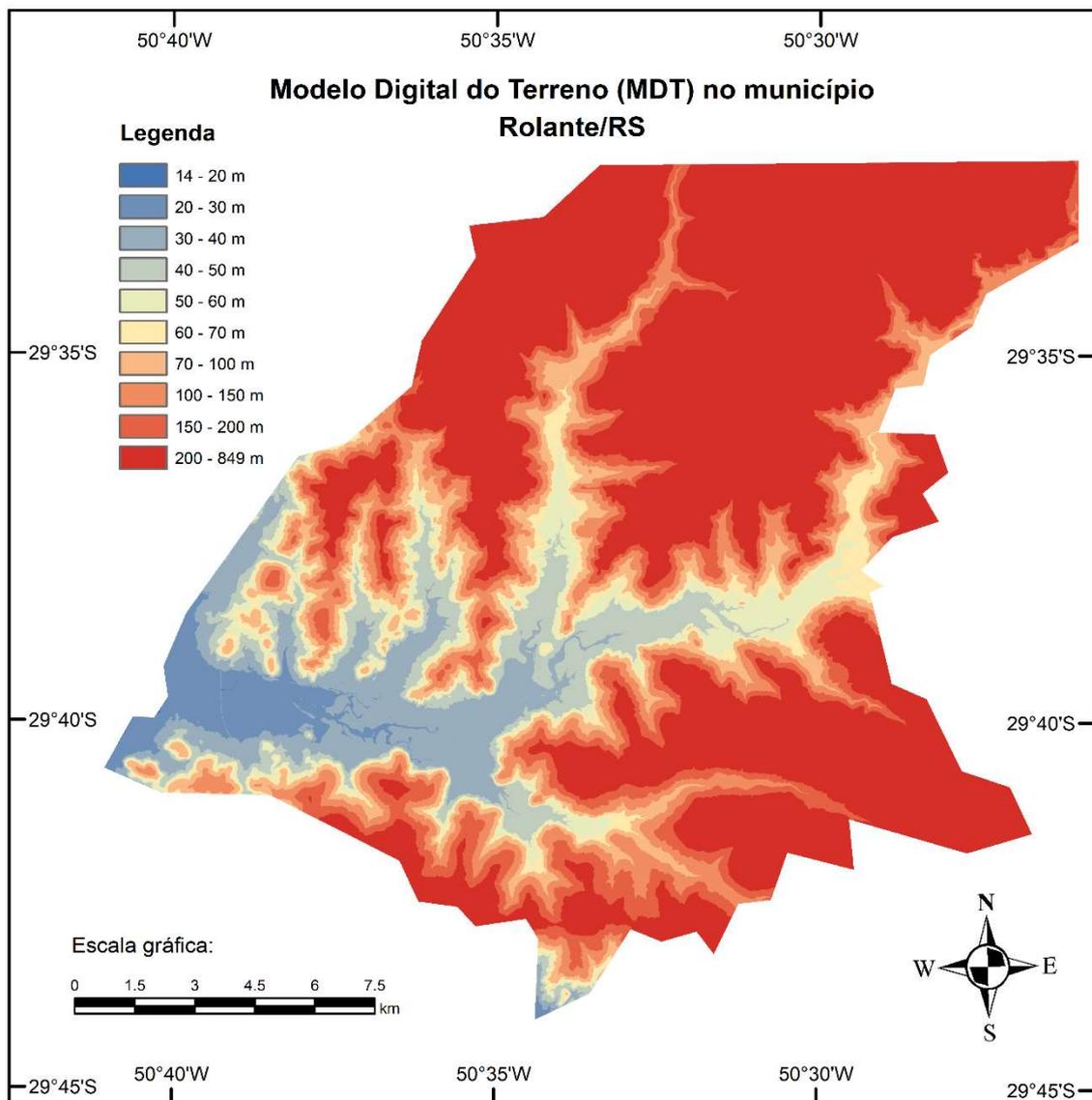
**Tabela 7. Classes finais de altitude e notas atribuídas**

Classes de Altitude (m)	Nota
14 – 20	10
20 – 30	9
30 – 40	8
40 – 50	7
50 – 60	6
60 – 70	5
70 – 100	4
100 – 150	3
150 – 200	1
Maior que 200	1

FONTE: Elaborado pelo autor (2022)

A definição de notas iguais entre as classes de altitude “150 – 200” e “maior que 200” foi devido ao fato de que, no entendimento do autor, estas classes possuem características muito semelhantes entre si, assim, poderiam receber a mesma nota. Acreditamos que a eventual alteração da classe “150 – 200” para uma nota “2” não implicaria em mudanças significativas na simulação realizada, entretanto, não foi realizado teste com esta alteração devido a limitação de tempo.

O mapa com os dados de altitude reclassificados é apresentado na Figura 10, em que as áreas com tom azulado representam os locais mais planos e com menor altitude, partindo de 14 m, em áreas e regiões localizadas junto aos cursos hídricos ou áreas adjacentes. A variação da cor para o tom alaranjado e vermelho indica a presença de áreas com maior altitude, que ocorre em boa parte do território municipal, como a classe de 200 m a 849 m que abrange 48,65% do município.



**Figura 10. Mapa de altitude em 10 classes, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

### 5.1.3 Reclassificação do uso e ocupação do solo

A reclassificação dos dados de uso e ocupação do solo levou em conta as classes utilizadas pelo Projeto MAPBIOMAS e que estão presentes na área estudada. O resultado da reclassificação e atribuição das notas é apresentado na Tabela 8.

**Tabela 8. Classes de uso e ocupação do solo predominantes em Rolante/RS, e notas atribuídas**

Classes de Uso do Solo	Nota
Formação florestal	2
Silvicultura	3
Campo alagado e área pantanosa	6
Formação campestre	3
Pastagem	4
Mosaico de usos	3
Área urbanizada	8
Outras áreas não vegetadas	6
Rio, lago	10
Soja	4
Arroz	5
Outras lavouras temporárias	4

FONTE: Elaborado pelo autor (2022)

Rolante apresenta 12 classes de uso do solo, a saber: (i) formação florestal (49,72%); (ii) silvicultura (16,44%); (iii) campo alagado e área pantanosa (0,01%); (iv) formação campestre (22,53%); (v) pastagem (0,31%); (vi) mosaico de usos (4,94%); (vii) área urbanizada (1,13%); (viii) outras áreas não vegetadas (0,18%); (ix) rio ou lago (0,04%); (x) soja (2,49%); (xi) arroz (0,73%); e, (xii) outras lavouras temporárias (1,48%).

Algumas áreas foram descritas como “Não classificado”, pois são áreas em que o algoritmo utilizado pelo Projeto MAPBIOMAS não encontrou solução adequada dentre as classes temáticas disponíveis, não havendo dados em seus *pixels* (*no data*). A abrangência destas áreas é mínima e não influenciou no cálculo da modelagem.

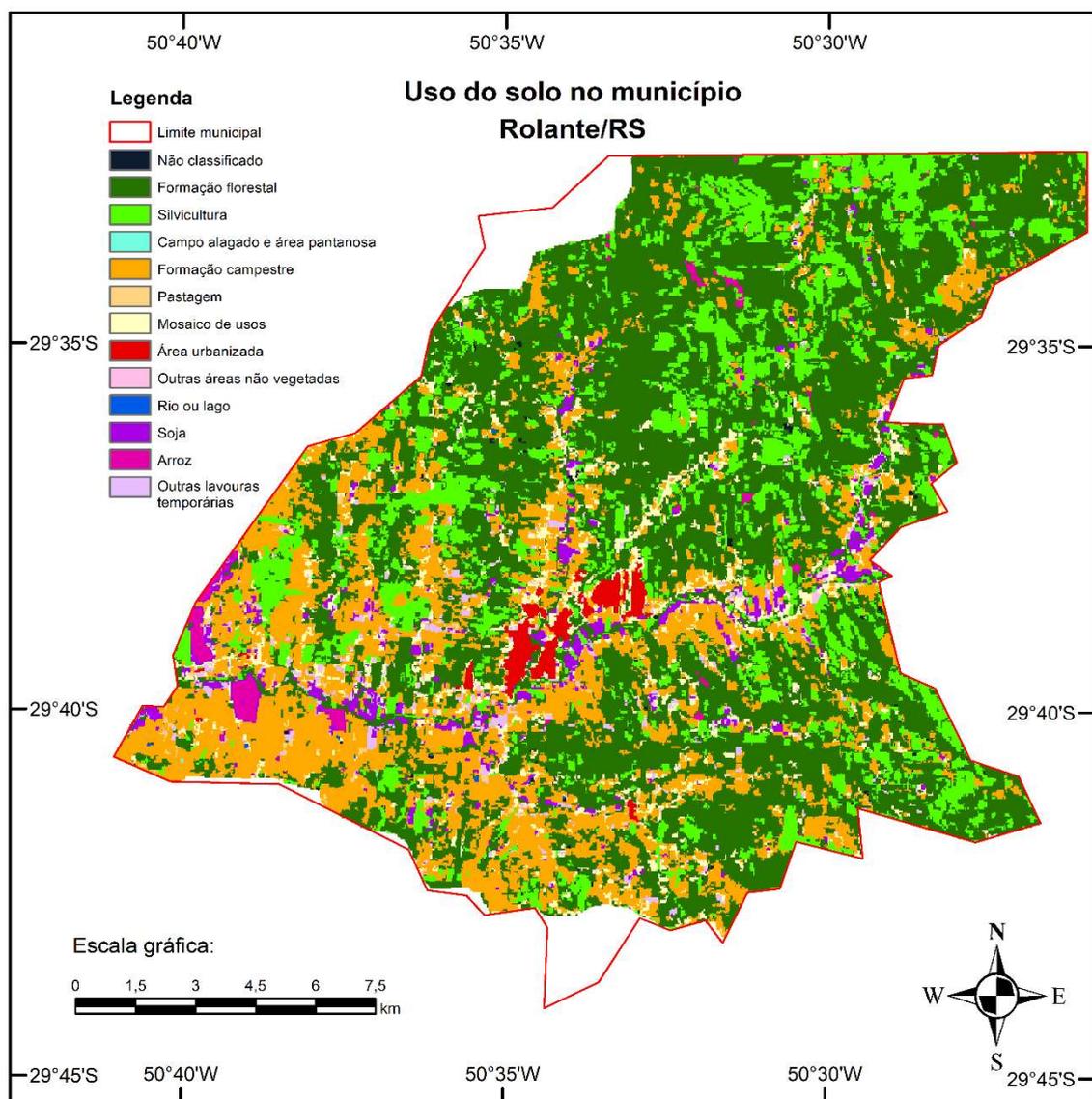
Comparando o mapeamento desta variável com os das demais variáveis, percebemos que na região noroeste e sul do município algumas áreas ficam sem informação nos *pixels* (áreas em branco na Figura 11). Isso ocorreu porque quando foi efetuado o download da base de dados do Projeto MAPBIOMAS, foi selecionado o município de interesse, e por algum motivo o polígono do perímetro e divisas municipais daquela base de dados diverge dos limites municipais reais. Este problema não foi observado nos mapas das demais variáveis estudadas.

Em razão disto, nas regiões localizadas nas áreas sem informação nos *pixels*, não foi possível obter o produto das simulações. Contudo, isto não afetou os objetivos do presente

estudo, na medida em que aquelas áreas não abrangem os trechos dos cursos hídricos analisados.

Considerando que a base de dados do Projeto MAPBIOMAS é bastante consistente e com ótima resolução, foi descartada a possibilidade de substituição por outra base de dados para as informações de uso e ocupação do solo. Todavia, estudos posteriores poderão aprimorar as simulações, caso haja disponibilidade de base de dados em resolução similar, abrangendo a totalidade do território municipal.

O mapa com os dados de uso e ocupação do solo é ilustrado na Figura 11.



**Figura 11. Mapa de uso e ocupação do solo, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

É importante destacar que o mapa de uso e ocupação do solo reclassificado (Figura 11) possui a ilustração da área denominada como “área urbanizada”, e que esta área difere da macrozona urbana definida pelo Plano Diretor Urbano e Ambiental de Rolante (Lei Municipal nº 4.267/2018), visto que as áreas presentes no mapa reclassificado foram estabelecidas e subdivididas com base na metodologia adotada pela fonte dos dados, quer seja, o Projeto MAPBIOMAS (2021).

A macrozona urbana definida pelo Plano Diretor de Rolante compreende não somente as áreas urbanizadas, mas também aquelas com potencial de urbanização ou onde se vislumbra o crescimento populacional urbano, sendo incluído, neste caso, as questões técnicas, políticas, e de planejamento municipal.

Considerando que foram atribuídas notas e pesos para as variáveis utilizadas, bem como para divisão das classes de cada variável, incluindo notas específicas para as áreas classificadas como “área urbanizada”, salientamos que devido as limitações de tempo, não foi possível realizar simulação incluindo a macrozona urbana definida pelo Plano Diretor municipal. Porém, esta poderá ser implementada em estudos complementares, onde provavelmente resultará em produtos distintos dos apresentados neste estudo.

#### **5.1.4 Reclassificação da proximidade do recurso hídrico**

Os dados das margens dos cursos d’água levou em consideração os principais rios presentes em Rolante, sendo o Rio Mascarada, Rio Areia e Rio Rolante. A reclassificação dos dados, bem como a atribuição das notas por classe são apresentados na Tabela 9.

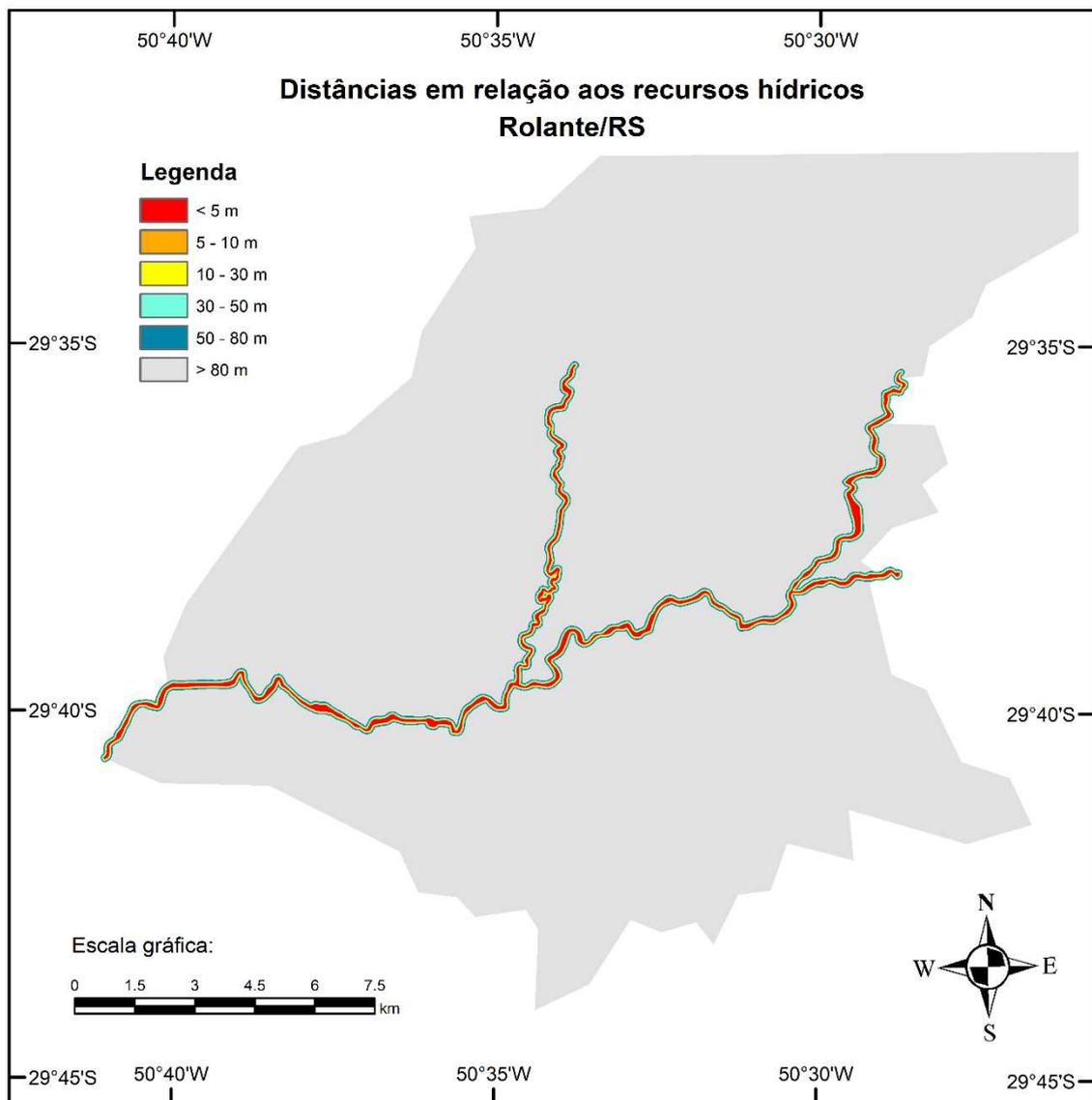
Além de representarem faixas de largura onde podem ocorrer inundações, as faixas até 30 m representam as áreas de APP para os trechos dos cursos hídricos de até 10 m de largura de lâmina d’água. As faixas de até 50 m de largura representam as áreas de APP para os trechos de cursos hídricos que possuam lâmina d’água em largura superior a 10 m. Estas áreas são legalmente protegidas e as intervenções nestes locais são limitadas (BRASIL, 2012).

**Tabela 9. Classes de proximidade do recurso hídrico e notas atribuídas**

Distância (m)	Nota
Menor que 5	10
6 – 10	9
10 – 30	7
30 – 50	5
50 – 80	4
Maior que 80	3

FONTE: Elaborado pelo autor (2022)

O mapa com os dados de proximidade do recurso hídrico reclassificados pode ser observado na Figura 12.



**Figura 12. Mapa de proximidade do recurso hídrico, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

É importante comentar que em trabalhos futuros, poderão ser empregadas notas diferenciadas para áreas próximas aos cursos d'água na zona urbana e na zona rural, uma vez que os impactos das inundações nestas áreas tendem a serem diferentes, na medida em que nas zonas rurais eventualmente são atingidas algumas edificações, com maior impacto na agricultura e pecuária, enquanto na zona urbana a incidência maior é sobre as edificações, equipamentos e espaços públicos, entre outros. Com isso, provavelmente teríamos um mapeamento distinto do aqui apresentado.

O presente estudo também poderá ser aprimorado, incluindo dados da distância vertical do curso d'água até o *pixel* dos pontos de drenagem, incluindo locais prioritários por onde a água percorre devido as condições naturais do terreno, durante os processos de inundações, visto que devido à escassez de tempo, não foi possível testarmos esta alteração no mapeamento.

### 5.1.5 Reclassificação do tipo de solo

O mapa foi dividido por classes de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SIBCS (EMBRAPA, 2018) e conforme os tipos de solo encontrados em Rolante.

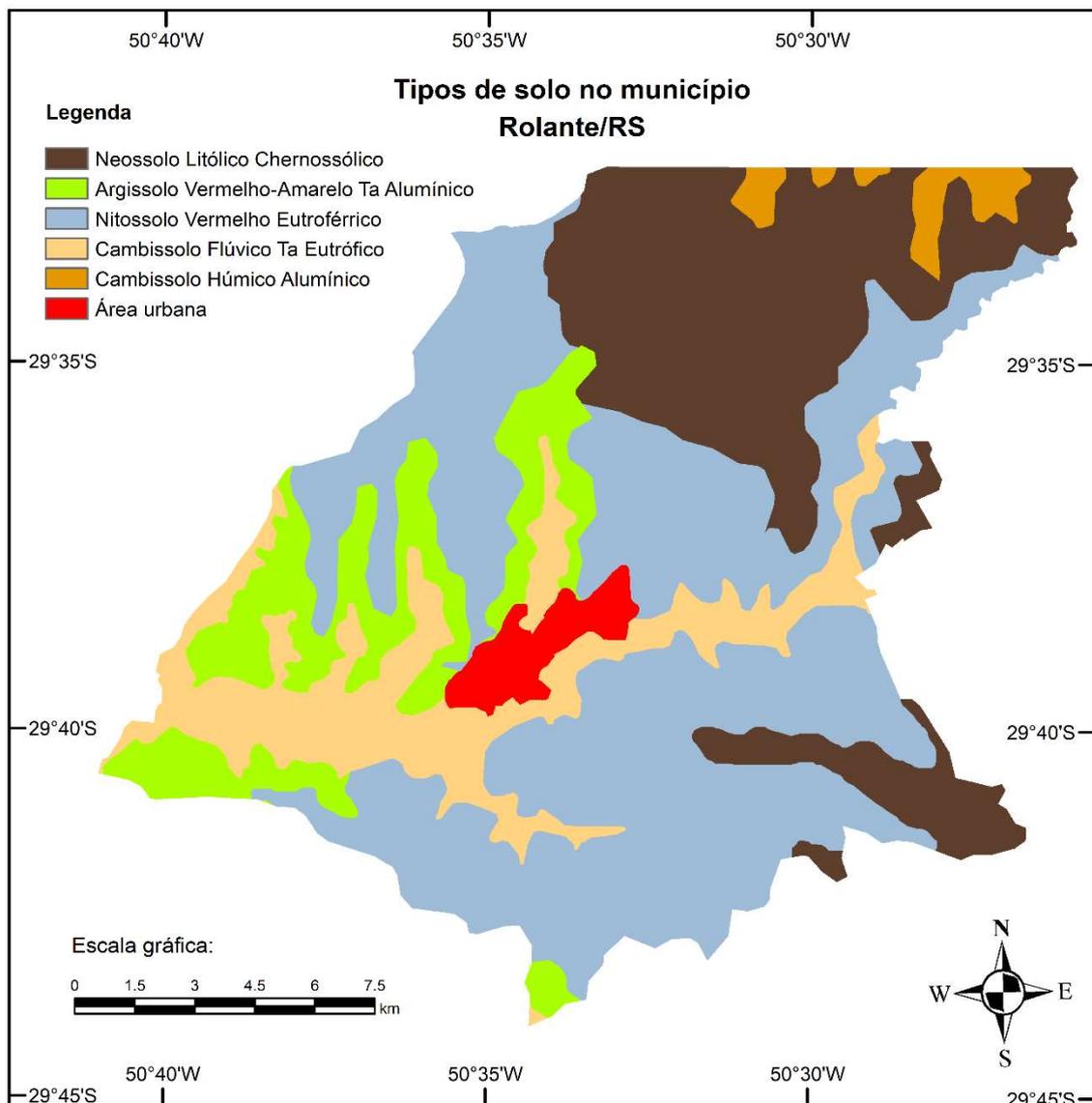
As notas foram atribuídas de acordo com as características de infiltração e escoamento superficial de cada classe, conforme a Tabela 10.

**Tabela 10. Classes de tipo de solo predominantes em Rolante/RS, e notas atribuídas**

Classes de Tipo de Solo	Conceito	Nota
Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico	Varia de forte até imperfeitamente drenado	7
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico	Varia de fortemente até imperfeitamente drenado	5
Cambissolo Húmico Alumínico	Varia de fortemente até imperfeitamente drenado	3
Neossolo Litólico Chernossólico	Acentuadamente drenado	3
Nitossolo Vermelho Eutroférico	Bem drenado	4
Área urbana	Imperfeitamente drenado	8

FONTE: Elaborado pelo Autor (2022)

O mapa com os dados de tipo de solo pode ser observado na Figura 13, se dividindo em: (i) argissolo vermelho-amarelo ta alumínico (11,55%); (ii) cambissolo flúvico ta eutrófico (13,55%); (iii) cambissolo húmico alumínico (1,87%); (iv) neossolo litólico chernossólico (24,64%); (v) nitossolo vermelho eutroférico (45,98%); e, (vi) área urbana (2,41%).



**Figura 13. Mapa dos tipos de solo, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

O mapa de tipo de solo reclassificado (Figura 13) possui a ilustração da área denominada como “área urbana”. Esta área difere da macrozona urbana definida pelo Plano Diretor Urbano e Ambiental de Rolante (ROLANTE, 2018), pois as áreas presentes no mapa reclassificado foram estabelecidas e subdivididas com base no método adotado pela fonte dos dados, o IBGE (2021).

A macrozona urbana definida no Plano Diretor de Rolante compreende uma área maior, incluindo aquelas áreas com potencial de urbanização ou onde se vislumbra o crescimento populacional urbano.

Considerando que foram atribuídas notas e pesos para as variáveis utilizadas, bem como para divisão das classes de cada variável, incluindo notas específicas para as áreas classificadas como “área urbana”, devido às limitações de tempo, não foi possível realizar a simulação que incluísse a macrozona urbana definida pelo Plano Diretor municipal. Contudo, poderá ser implementada em estudos complementares, onde possivelmente apresentará resultados distintos dos apresentados neste estudo.

Este mapeamento também poderá ser complementado, na medida em que poderá ser incluído mapeamento com o tipo de solo presente em Rolante em melhor escala do que foi utilizado. A simulação levou em conta este mapeamento pois, dentre os mapas de tipo de solo acessados, este se mostrou com melhor resolução, considerando a limitação de tempo e de recursos para execução do presente estudo. Mesmo com estas limitações, estes dados apresentaram resultados razoáveis e viáveis levando em conta o propósito deste projeto.

#### **5.1.6 Resultados do AHP**

Após o preenchimento das planilhas pelos entrevistados, realizamos uma análise preliminar, sendo constatado que as ponderações dos pesos apresentaram uma razão de consistência maior que 10%. Com isso, solicitamos aos entrevistados que revisassem os seus julgamentos, passando a explicar e detalhar novamente o funcionamento da metodologia e a importância de buscarem ponderar valores que apresentassem consistência.

As novas ponderações apresentaram inconsistências de: (i) 7,8% para o Participante 1; (ii) 9,4% para o Participante 2; (iii) 9,7% para o Participante 3; (iv) 9,6% para o Participante 4; e, (v) 8,2% para o Participante 5. Assim, os valores ponderados puderam ser aceitos, conforme os critérios da metodologia adotada, passando a integrar o presente estudo, conforme dados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Matriz de comparação pareada – método AHP

<i>PARTICIPANTE 1</i>	Declividade	Altitude	Uso e ocupação do solo	Proximidade do recurso hídrico	Tipo de Solo	PRIORIDADE	
Declividade	1	2	5	2	5	0,404	
Altitude	1/2	1	2	3	5	0,266	
Uso e ocupação do solo	1/5	1/2	1	3	2	0,154	
Proximidade do recurso hídrico	1/2	1/3	1/3	1	2	0,113	
Tipo de solo	1/5	1/5	1/2	1/2	1	0,062	
						$\lambda_{\max}$	5,349
						IC	0,087
						RC	0,078

<i>PARTICIPANTE 2</i>	Declividade	Altitude	Uso e ocupação do solo	Proximidade do recurso hídrico	Tipo de Solo	PRIORIDADE	
Declividade	1	1	3	3	3	0,334	
Altitude	1	1	2	2	1	0,240	
Uso e ocupação do solo	1/3	1/2	1	3	2	0,184	
Proximidade do recurso hídrico	1/3	1/2	1/3	1	2	0,122	
Tipo de solo	1/3	1	1/2	1/2	1	0,120	
						$\lambda_{\max}$	5,421
						IC	0,105
						RC	0,094

<i>PARTICIPANTE 3</i>	Declividade	Altitude	Uso e ocupação do solo	Proximidade do recurso hídrico	Tipo de Solo	PRIORIDADE
Declividade	1	2	2	4	5	0,404
Altitude	1/2	1	3	1	1	0,202
Uso e ocupação do solo	1/2	1/3	1	2	1	0,147

Proximidade do recurso hídrico	1/4	1	1/2	1	2	0,135
Tipo de solo	1/5	1	1	1/2	1	0,112
					$\lambda_{\max}$	5,435
					IC	0,109
					RC	0,097

<i>PARTICIPANTE 4</i>	Declividade	Altitude	Uso e ocupação do solo	Proximidade do recurso hídrico	Tipo de Solo	PRIORIDADE
Declividade	1	3	1	3	2	0,329
Altitude	1/3	1	1	1	1	0,144
Uso e ocupação do solo	1	1	1	1	1	0,186
Proximidade do recurso hídrico	1/3	1	1	1	4	0,211
Tipo de solo	1/2	1	1	1/4	1	0,130
					$\lambda_{\max}$	5,430
					IC	0,107
					RC	0,096

<i>PARTICIPANTE 5</i>	Declividade	Altitude	Uso e ocupação do solo	Proximidade do recurso hídrico	Tipo de Solo	PRIORIDADE
Declividade	1	4	1	1	3	0,305
Altitude	1/4	1	1	1	1	0,144
Uso e ocupação do solo	1	1	1	3	2	0,270
Proximidade do recurso hídrico	1	1	1/3	1	2	0,173
Tipo de solo	1/3	1	1/2	1/2	1	0,107
					$\lambda_{\max}$	5,368
					IC	0,092
					RC	0,082

Elaborado pelo Autor (2023)

De posse destes valores, verificando que as ponderações apresentaram índice de inconsistência abaixo do limite de 10% recomendado pela metodologia utilizada, passamos a relacioná-los em uma tabela, de maneira a utilizar a média aritmética para calcular os pesos finais, conforme a Tabela 12. Em termos percentuais, a priorização das variáveis ficou da seguinte maneira: (i) Declividade – 35,52%; (ii) Altitude – 19,92%; (iii) Uso e ocupação do solo – 18,84%; (iv) Proximidade do recurso hídrico – 15,10%; e por último, (iv) Tipo de solo – 10,62%.

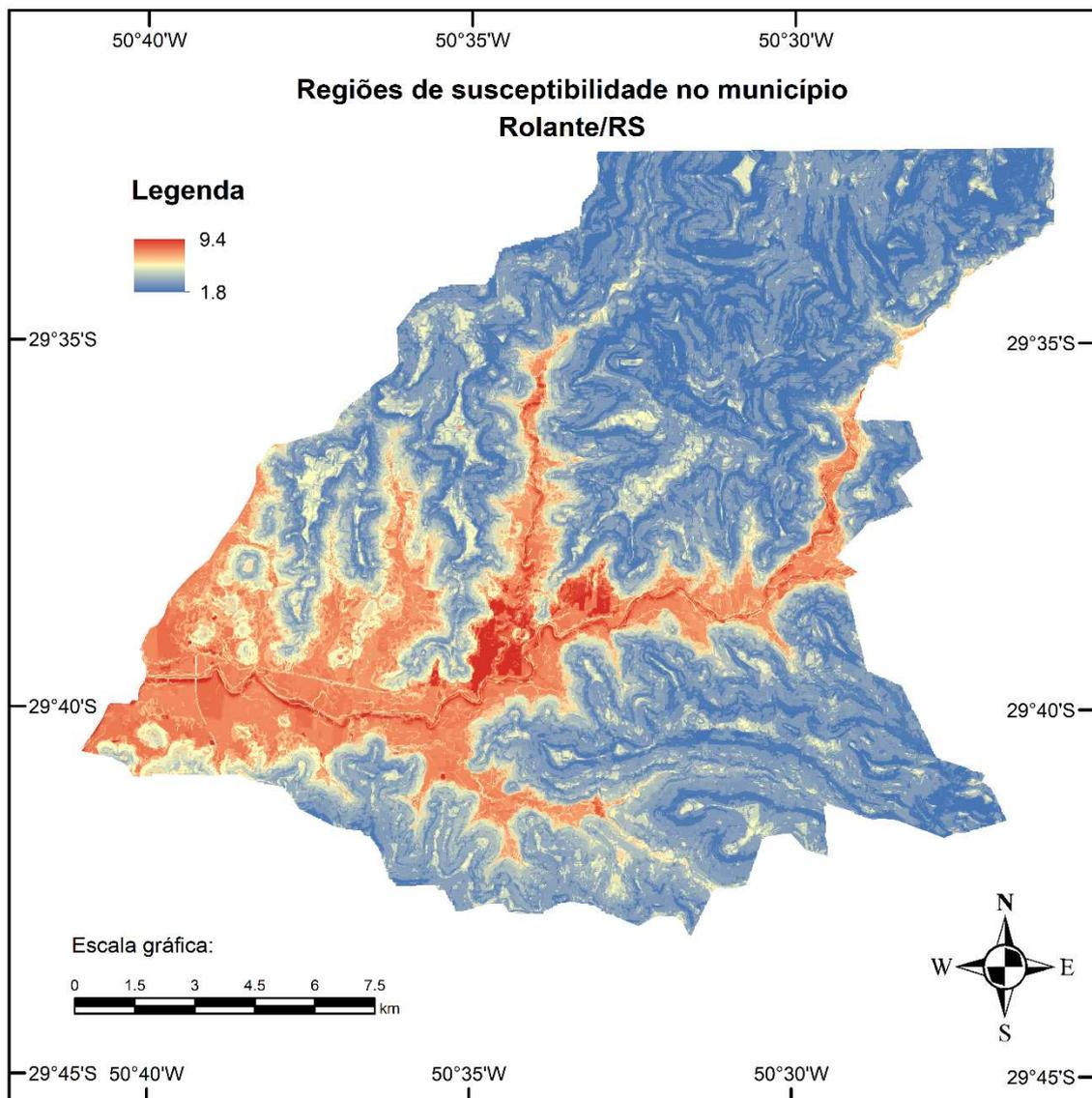
**Tabela 12. Cálculo da prioridade final para as variáveis**

	P1	P2	P3	P4	P5	PRIORIDADE FINAL
Declividade	0.404	0.334	0.404	0.329	0.305	0,355
Altitude	0.266	0.240	0.202	0.144	0.144	0,199
Uso e ocupação do solo	0.154	0.184	0.147	0.186	0.270	0,188
Proximidade do recurso hídrico	0.113	0.122	0.135	0.211	0.173	0,151
Tipo de solo	0.062	0.120	0.112	0.130	0.107	0,106

Elaborado pelo Autor (2023)

Como resultado, considerando as prioridades finais encontradas na Tabela 12, realizamos a geração do mapa de susceptibilidade preliminar, em escala numérica, em que as variáveis declividade e altitude ainda estavam reclassificadas em 6 classes (Figura 7 e Figura 9), resultando na Figura 14.

A escala do mapa varia entre 1.8 a 9.4, em que os valores mais próximos de 1 indicam uma baixa susceptibilidade à inundação, e as áreas com valores mais próximos de 10 indicam alta susceptibilidade à inundação. É possível observar que as áreas de maior risco, em cores que variam de laranja a vermelho, chegam ao valor máximo de 9.4 e são bastante espalhadas junto aos cursos hídricos.



**Figura 14. Mapa de susceptibilidade preliminar, em escala numérica, com as variáveis declividade e altitude em seis classes, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Visto o tempo limitado para realização deste estudo, bem como ao pequeno corpo técnico municipal de Rolante, foram entrevistados somente 5 participantes, sendo possível ter uma boa noção do seu ponto de vista em relação a ponderação de pesos sobre as variáveis que contribuem para a ocorrência de inundações.

Em novas simulações, o número de participantes poderá ser incrementado, com a finalidade de ampliar o rol de pontos de vista sobre o problema abordado.

### **5.1.7 Dados de validação**

O mapa obtido pelo modelo passou por processo de validação. Durante essa etapa realizamos o cruzamento das informações entre os mapas das variáveis reclassificadas, os pesos ponderados pelo método multicritério, e os dados obtidos junto ao Departamento de Meio Ambiente, Defesa Civil municipal e website da Prefeitura de Rolante, sendo estes dados oficiais e de acesso público.

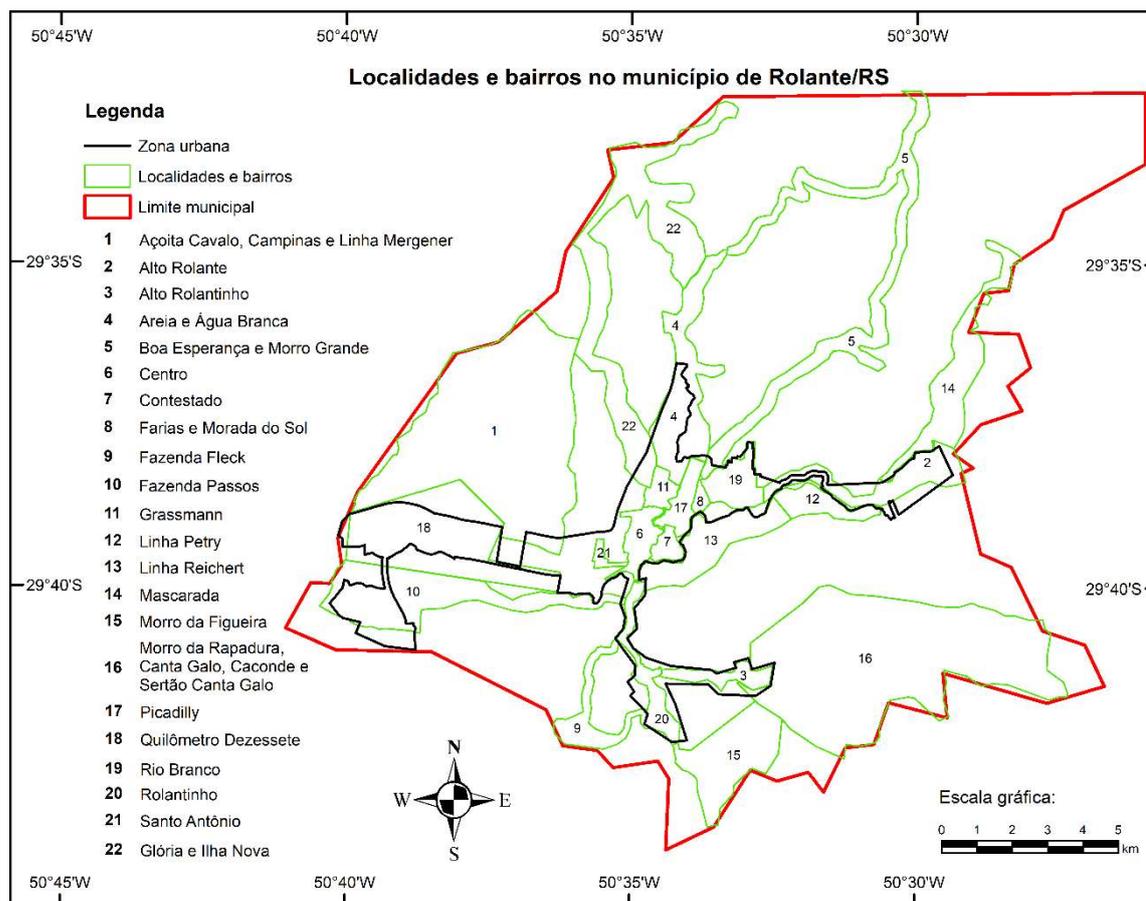
#### **5.1.7.1 Mapa das regiões dos bairros e localidades**

Dentre as legislações que criaram alguns bairros e localidades do município de Rolante, somente os bairros denominados Rolantinho e Alto Rolantinho possuem delimitação com mapa e coordenadas geográficas (Lei Municipal nº 3.224/2013), o bairro Quilômetro Dezesete possui coordenadas geográficas, mas sem mapa (Lei Municipal nº 4.509/2020), e o bairro Santo Antônio possui descrição muito superficial quanto a sua localização (Lei Municipal nº 964/1992). As demais principais regiões de bairros e localidades possuem dispositivo legal que os criou, mas sem qualquer delimitação. Esse é o caso dos bairros: Rio Branco (Lei Municipal nº 2.180/2007), Centro (Lei Municipal nº 2.176/2007), Picadilly (Lei Municipal nº 2.177/2007), Grassmann (Lei Municipal nº 2.178/2007) e Contestado (Lei Municipal nº 2.179/2007).

Outras regiões não possuem descritivo oficial quanto a sua localização, como é o caso das regiões conhecidas como: Açoita Cavalos, Campinas, Linha Mergener, Alto Rolante, Areia, Água Branca, Boa Esperança e Morro Grande, Farias, Morada do Sol, Fazenda Fleck, Fazenda Passos, Linha Petry, Linha Reichert, Mascarada, Morro da Figueira, Morro da Rapadura, Canta Galo, Caconde, Sertão Canta Galo, Glória e Ilha Nova.

Todas estas regiões foram desenhadas com base no descritivo da legislação municipal, com base no conhecimento empírico quanto a sua delimitação, e com base nos roteiros da coleta dos resíduos sólidos domésticos, tanto na zona urbana como na zona rural, disponibilizado pelo Departamento de Meio Ambiente. Com isso, destacamos que esse mapeamento não é oficial, mas que representa muito bem a maioria das regiões denominadas como bairros e localidades no território de Rolante.

A Figura 15 ilustra o resultado deste mapeamento, onde realizamos a comparação com a macrozona urbana delimitada pelo atual Plano Diretor de Rolante (Lei Municipal nº 4.267/2018). Destacamos que o Plano Diretor não faz qualquer menção sobre a denominação dos bairros e localidades.



**Figura 15. Mapa das regiões dos bairros e localidades e da zona urbana, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

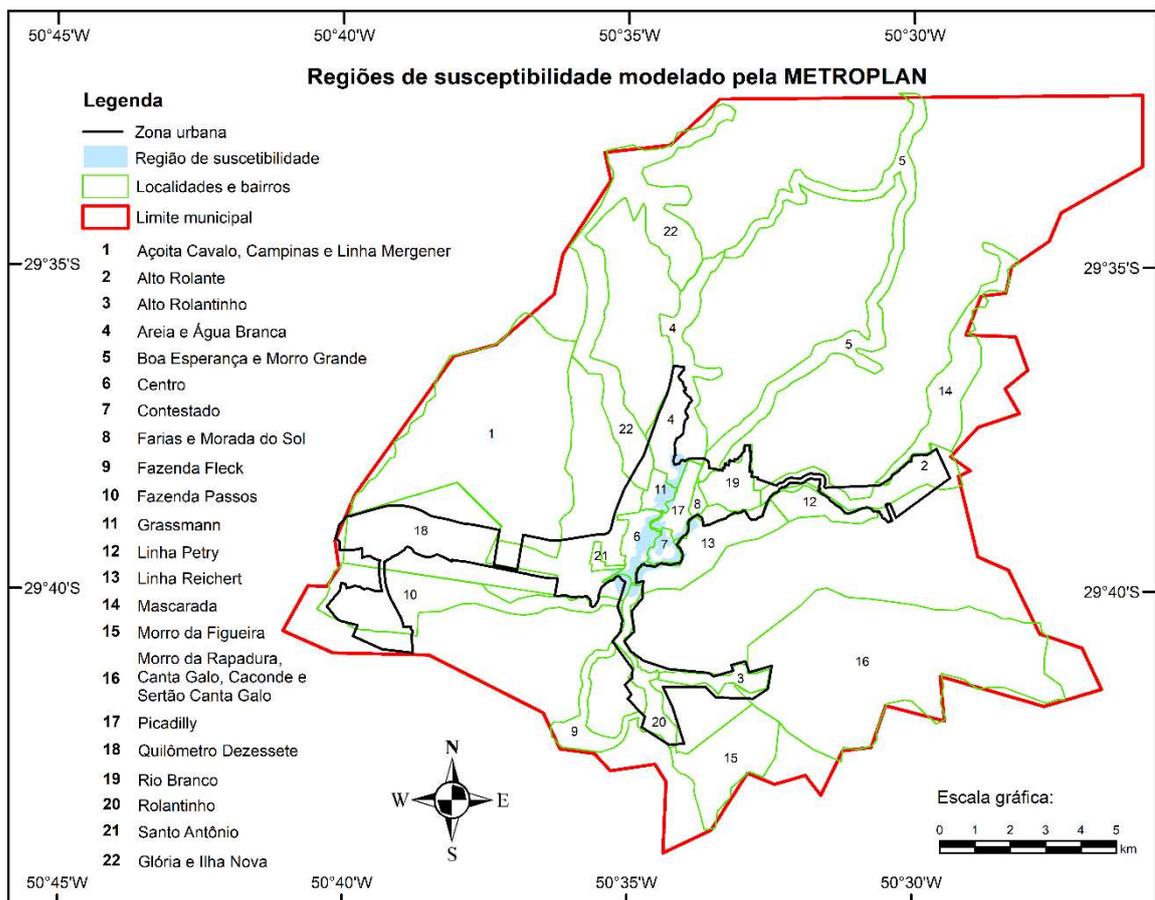
### 5.1.7.2 Mapeamento da METROPLAN

O mapeamento das áreas sujeitas à inundação elaborado pela METROPLAN foi desenvolvido através do Estudo de Alternativas e Projetos para Minimização do Efeito de Cheias e Estiagens na Bacia do Rio dos Sinos, cujos trabalhos iniciaram em 2015 e foram concluídos em 2018. O trabalho abrangeu toda a bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, que inclui Rolante, e contou com a compilação de diversas fontes de dados e informações, inclusive estudos anteriores, tendo como principais fontes de dados: i) Plano de Bacia do Rio dos Sinos; ii) Planos de Saneamento Básico (municipais e regional); iii) Bases de dados da METROPLAN; iv) Dados hidrológicos; v) Dados históricos de inundação, vi) Dados das prefeituras municipais. Foram realizados trabalhos de campo para execução dos levantamentos aerofotogramétricos e topobatimétricos nos principais cursos d'água, além de cadastro de algumas redes de drenagem de maior porte (METROPLAN, 2015, 2017).

Em seguida foram realizados estudos hidráulicos e hidrológicos através do *software* HEC-HAS, projetando manchas de inundação com tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, além de cenários de intervenção (simulações com a implantação de diques e zoneamentos) (METROPLAN, 2015, 2018).

Para este estudo foi utilizado o polígono da mancha de inundação de Rolante elaborada pela METROPLAN, considerando o tempo de retorno (TR) de 100 anos.

O polígono da METROPLAN abrange somente a área mais urbanizada da cidade, o que permite a comparação somente com esta região. Neste mapeamento as regiões dos bairros e localidades atingidas total ou parcialmente por inundações são: (i) Areia e Água Branca, (ii) Grassmann, (iii) Picadilly, (iv) Centro, (v) Contestado, (vi) Linha Reichert, (vii) Rolantinho e (viii) Santo Antônio (Figura 16).

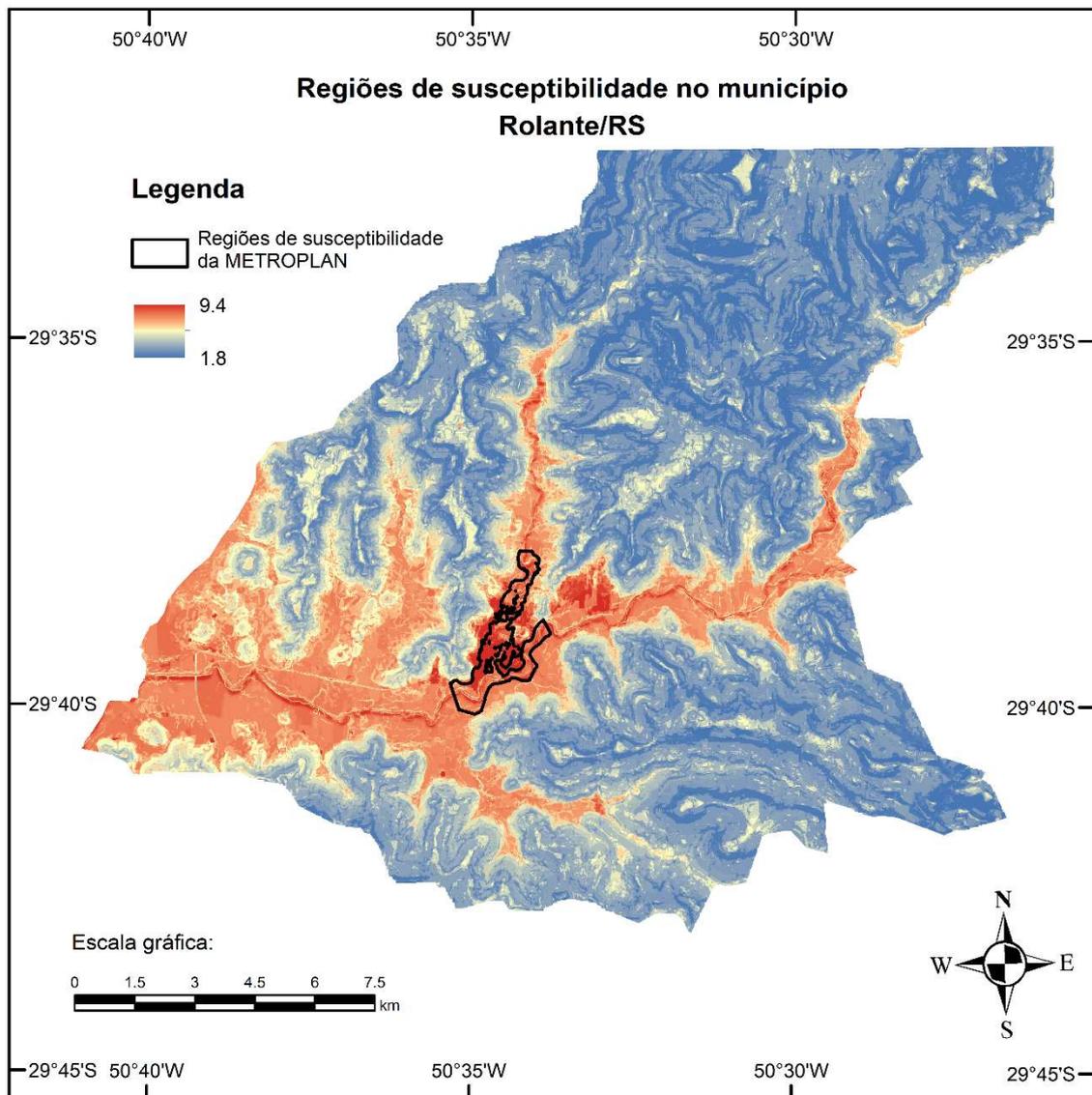


**Figura 16. Mancha de inundação elaborada pela METROPLAN (TR 100 anos), sobreposto ao mapeamento da área urbana (Plano Diretor) e as regiões dos bairros e localidades, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Na Figura 17 pode-se observar a sobreposição da imagem da mancha de inundação elaborada pela METROPLAN (METROPLAN, 2018) e o mapa de susceptibilidade preliminar, com escala numérica. Nele é possível em que as variáveis declividade e altitude ainda estavam em 6 classes.

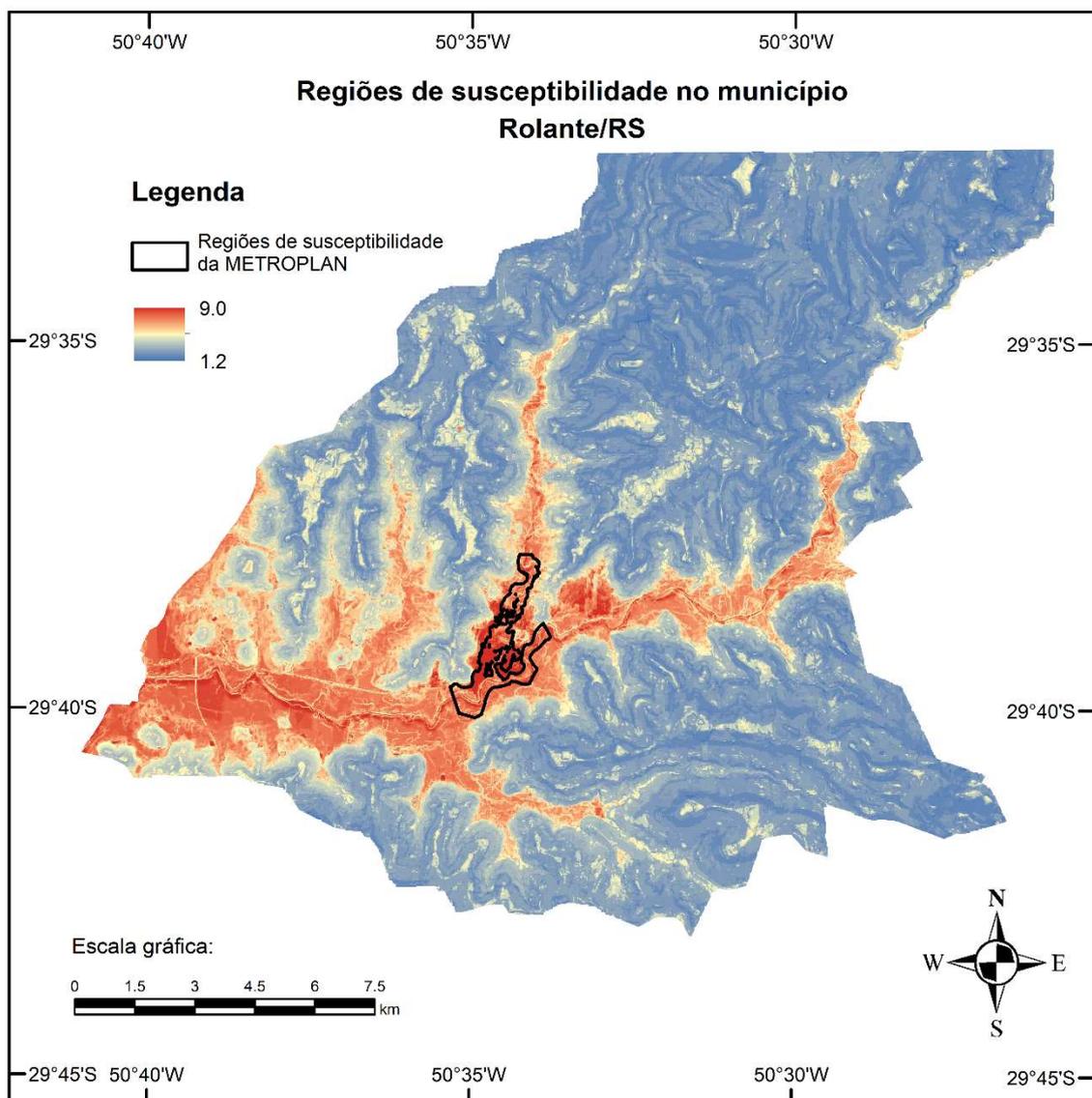
A escala do mapa varia de 1.8 a 9.4, em que os valores mais próximos de 1 indicam uma baixa susceptibilidade à inundação, e as áreas com valores mais próximos de 10 indicam alta susceptibilidade à inundação. Assim, constatamos que as áreas de maior risco, em cores que variam de laranja a vermelho e chegam até o valor máximo de 9.4, são bastante espriadas junto aos cursos hídricos.



**Figura 17. Mapa de susceptibilidade preliminar, com o mapeamento da mancha de inundação da METROPLAN sobreposto (TR 100 anos), no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Na Figura 18 temos a visualização do mapeamento de susceptibilidade, com a sobreposição da imagem da mancha de inundação elaborada pela METROPLAN (METROPLAN, 2018) após a readequação das variáveis declividade e altitude em 10 classes. Nele é possível observar que houve o estreitamento e a redução das áreas de maior risco. A escala passou a ser de 1.2 (menos susceptível à inundação) até 9 (maior susceptibilidade à inundação).



**Figura 18. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com a sobreposição da mancha de inundação da METROPLAN (TR 100 anos), no município de Rolante/RS.**

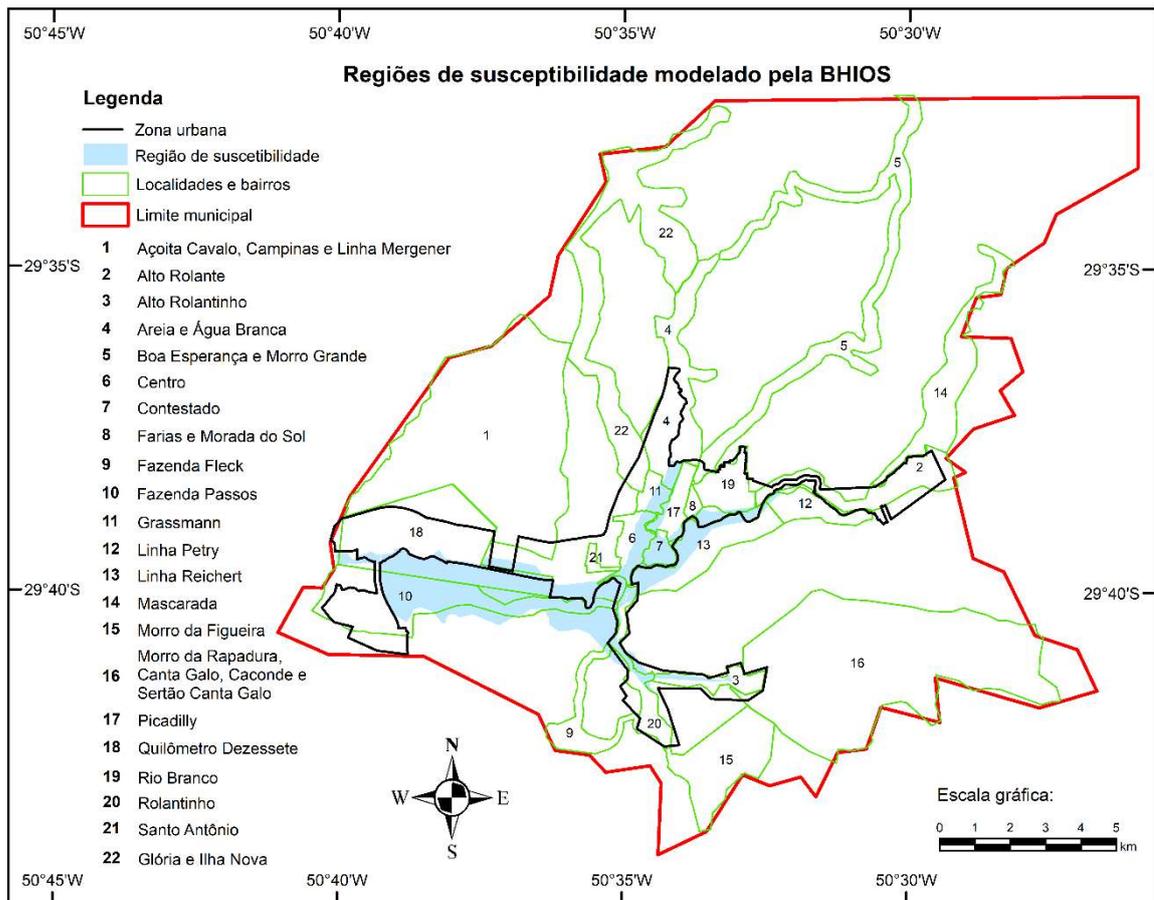
FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

### 5.1.7.3 Mapeamento da BHIOS

O mapeamento elaborado pela BHIOS foi realizado mediante contratação pelo Departamento de Meio Ambiente da Prefeitura de Rolante. Ele é mais amplo, abrangendo e ultrapassando as áreas mapeadas pela METROPLAN.

A metodologia de trabalho para concepção do mapeamento da BHIOS considerou a compilação de dados cartográficos de altimetria e de séries históricas das enchentes das últimas décadas, ocorridas em Rolante. Foram realizados levantamentos de campo e consulta a membros da comissão do Plano Diretor municipal para ajustes. A validação final do polígono foi realizada após a realização de reuniões e discussões com os órgãos competentes, comunidade e equipe de trabalho (BHIOS, 2017).

No estudo da BHIOS as regiões dos bairros e localidades atingidas total ou parcialmente por inundações são: (i) Alto Rolantinho, (ii) Areia e Água Branca, (iii) Centro, (iv) Contestado, (v) Fazenda Fleck, (vi) Fazenda Passos, (vii) Grassmann, (viii) Linha Reichert, (ix) Picadilly, (x) Quilômetro Dezesete, (xi) Linha Petry, (xii) Rio Branco e (xiii) Rolantinho (Figura 19).



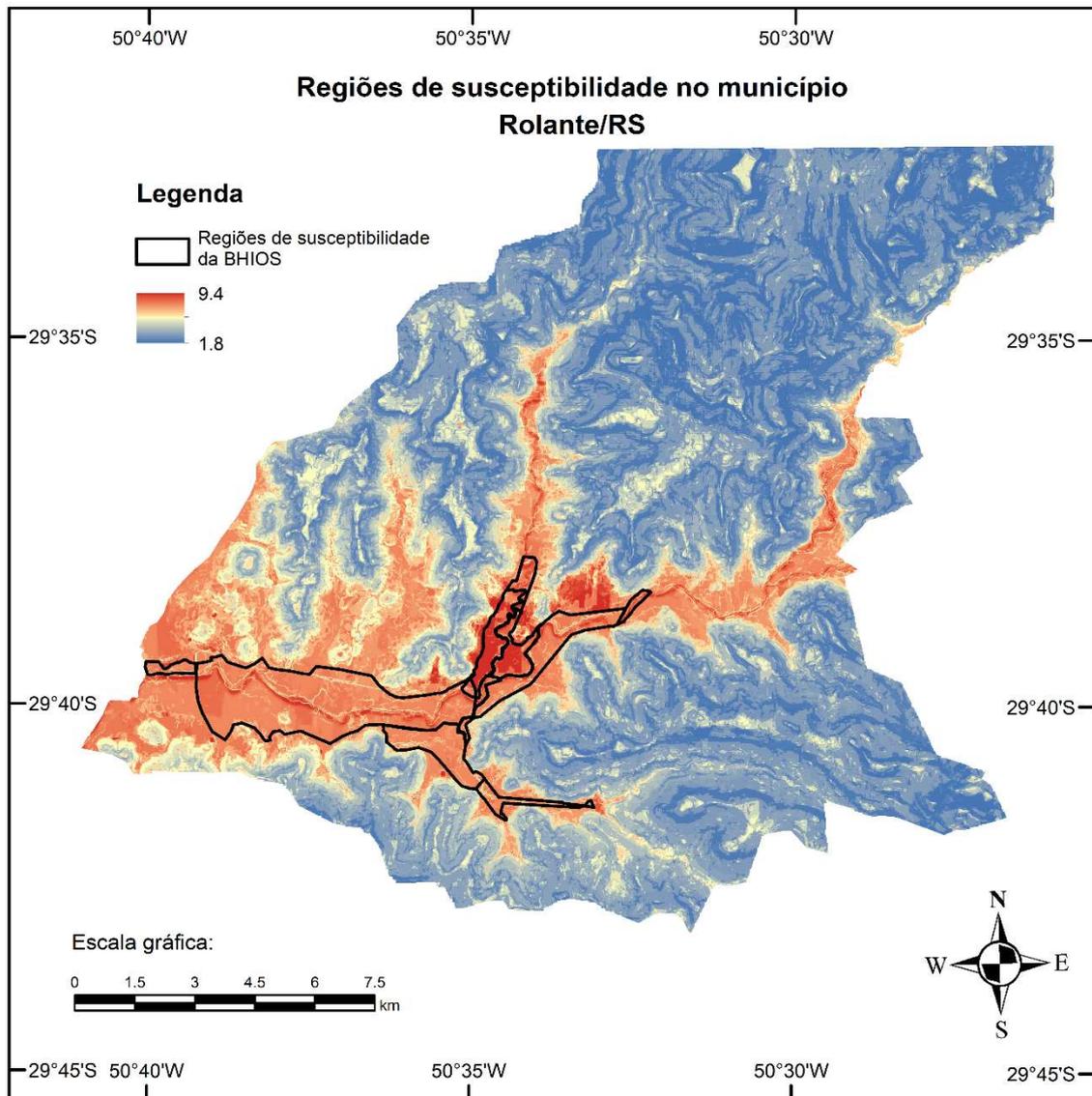
**Figura 19. Mancha de inundação elaborada pela BHIOS, sobreposto ao mapeamento da área urbana (Plano Diretor) e as regiões dos bairros e localidades, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Na Figura 20 podemos observar a sobreposição da imagem do mapeamento elaborado pela BHIOS (BHIOS, 2017) e o mapa de susceptibilidade preliminar, com escala numérica. Nele as variáveis declividade e altitude ainda estavam em seis classes.

A escala do mapa varia de 1.8 a 9.4, onde que os valores mais próximos de 1 indicam uma baixa susceptibilidade à inundação, e as áreas com valores mais próximos de 10 indicam alta susceptibilidade à inundação. Assim, constatamos que as áreas de maior risco, em cores que variam de laranja a vermelho e chegam até o valor máximo de 9.4, são bastante espalhadas junto aos cursos hídricos.

Do centro em direção a sudoeste do município podemos verificar que os limites do polígono da mancha elaborada pela BHIOS são bastante semelhantes a mancha de susceptibilidade elaborada no presente estudo.



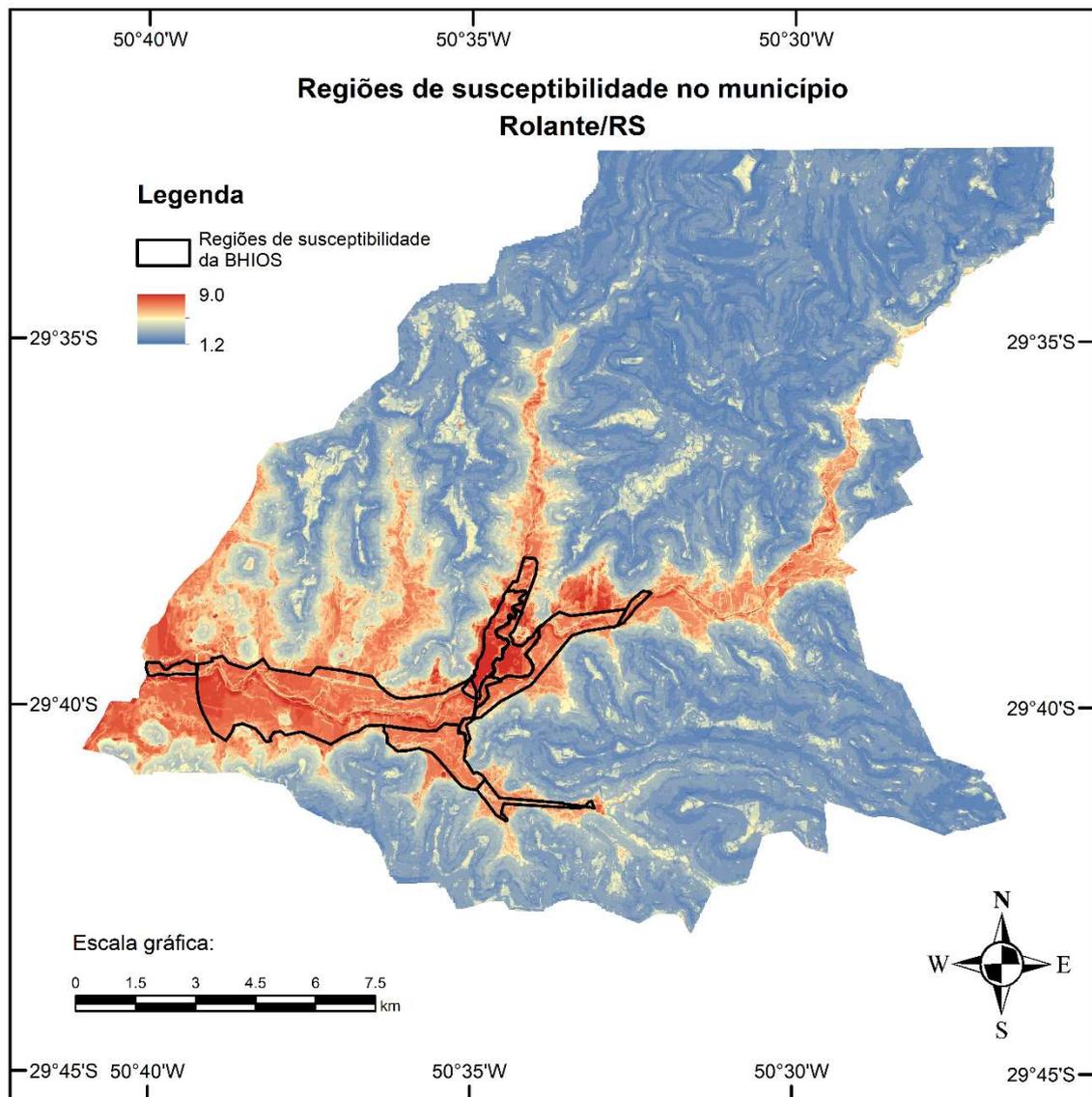
**Figura 20. Mapa de susceptibilidade preliminar, com a mancha de inundação BHIOS sobreposto, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Com a readequação das variáveis declividade e altitude, podemos observar, conforme a Figura 21, que houve o estreitamento e a redução das áreas de maior risco. A escala passou a ser de 1.2 (menos susceptível à inundação) até 9 (maior susceptibilidade à inundação).

O mapa de susceptibilidade extrapola as áreas mapeadas pela empresa BHIOS, o que pode ocorrer devido ao escopo daquele mapeamento não ter abrangido todo o território municipal, bem como ter utilizado uma metodologia distinta deste mapeamento.

Embora o mapeamento de susceptibilidade tenha levado em conta somente os principais cursos d'água, é possível perceber que os canais de outros pequenos cursos hídricos também aparecem no mapeamento, devido as características do solo nessas regiões, principalmente a altitude e a declividade dos canais de drenagem.



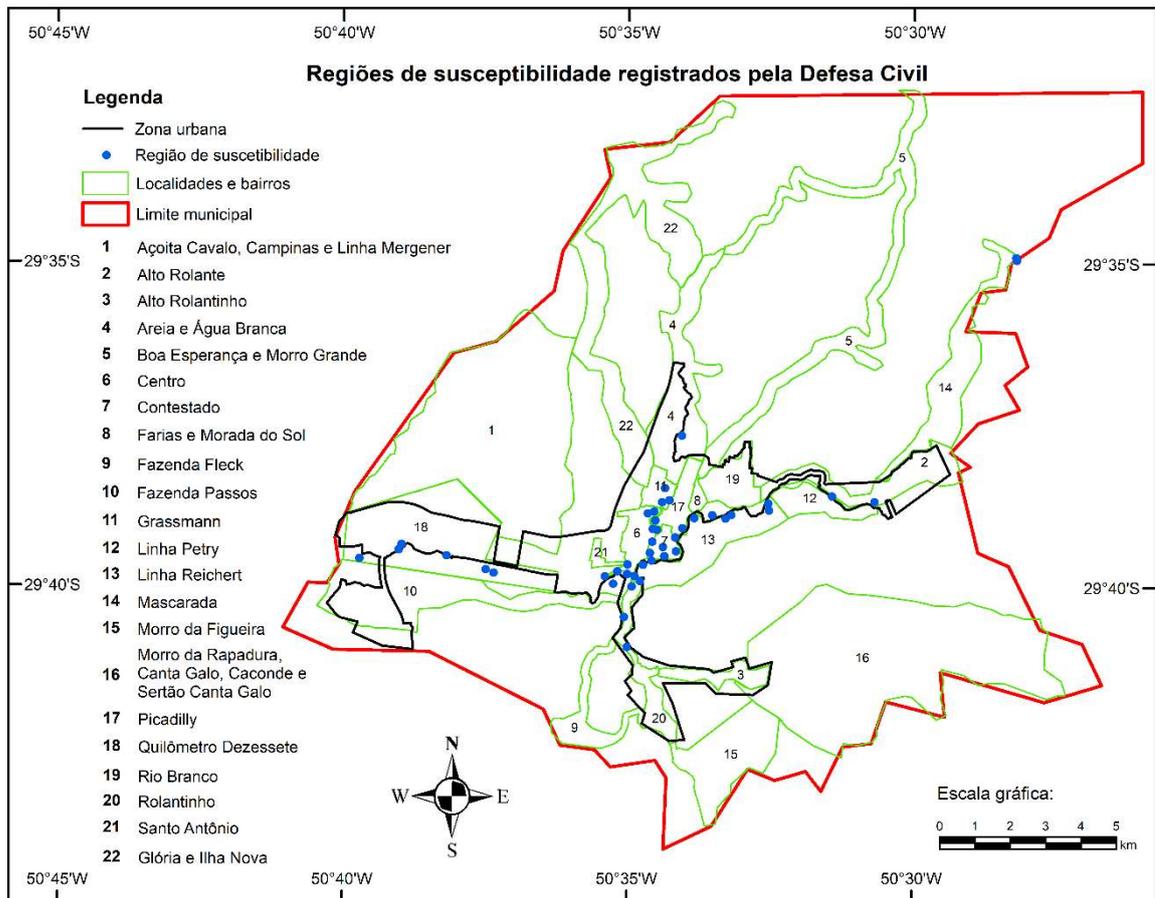
**Figura 21. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com a sobreposição da mancha de inundação da BHIOS, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

### 5.1.7.4 Pontos de inundação – Defesa Civil

A Prefeitura de Rolante, através da Defesa Civil municipal, disponibilizou informações sobre a ocorrência de inundações ocorridas nos últimos anos no município.

Se tratam de pontos de inundações localizados junto ao Rio Areia, Rio Rolante e Rio Mascarada, reconhecidos como áreas que inundam com uma frequência média de 2 (dois) a 5 (cinco) anos. Estes pontos estão localizados nas regiões dos bairros e localidades conhecidas como: (i) Alto Rolante, (ii) Areia e Água Branca, (iii) Grassmann, (iv) Picadilly, (v) Centro, (vi) Contestado, (vii) Linha Petry, (viii) Linha Reichert, (ix) Mascarada, (x) Quilômetro Dezessete, (xi) Rolantinho e (xii) Santo Antônio (Figura 22).



**Figura 22. Pontos de inundação obtidos junto à Defesa Civil municipal, sobreposto ao mapeamento da área urbana (Plano Diretor) e as regiões dos bairros e localidades, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

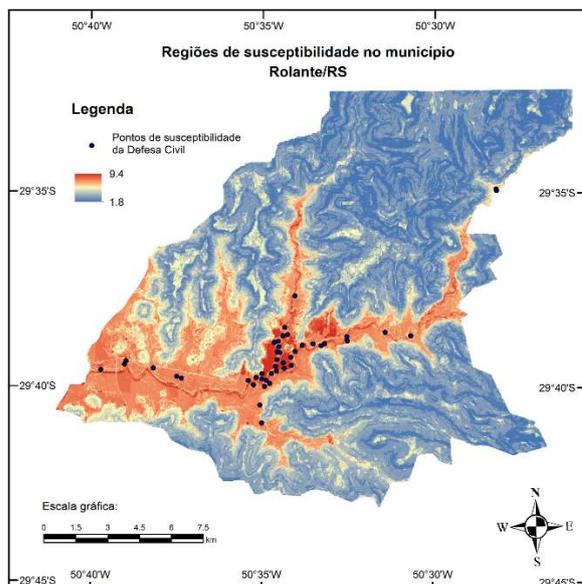
Após georreferenciadas, estas informações foram comparadas com o mapa de susceptibilidade preliminar (Figura 23), sendo possível constatar que todos os pontos mapeados ficaram dentro do mapa de susceptibilidade, o que comprova a coerência do mapeamento obtido.

Os demais dados utilizados para comparação das informações, sendo eles os mapeamentos da METROPLAN e da BHIOS, contribuíram de forma significativa para o processo de validação do mapa de susceptibilidade à inundação deste estudo, todavia, é importante destacar que como qualquer metodologia, ambos possuem fragilidades e limitações que estão atreladas ao seu processo de execução, sendo considerados somente como referenciais. Com isso, consideramos que o levantamento dos pontos de inundação georreferenciados são a principal base de dados para validação das simulações resultantes do presente estudo.

No mapa preliminar, as variáveis declividade e altitude ainda estavam em 6 classes. A escala numérica do mapa varia de 1.8 a 9.4, onde os valores mais próximos de 1 indicam uma baixa susceptibilidade à inundação, e as áreas com valores mais próximos de 10 indicam alta susceptibilidade à inundação. As áreas com maior risco se propagam junto aos locais onde há presença de cursos d'água. Os pontos georreferenciados foram mapeados na região central e nos principais cursos d'água do município.

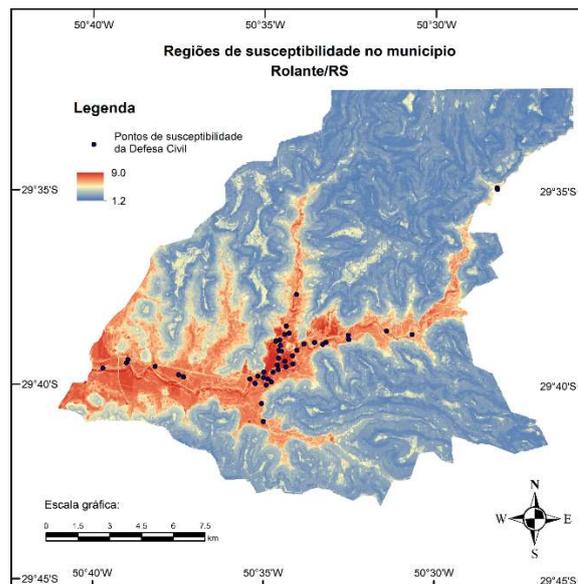
Após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, observamos o estreitamento e a redução das áreas de maior risco, onde áreas menos susceptíveis à inundação foram classificadas com valor de 1,2 e áreas de maior susceptibilidade à inundação com valor igual a 9 (Figura 24).

No APÊNDICE A pode-se observar o registro fotográfico de alguns destes pontos georreferenciados, sendo possível visualizar os locais durante a ocorrência das inundações, bem como a situação após a redução do nível da água dos rios, sem inundação.



**Figura 23. Mapa de susceptibilidade preliminar, com o comparativo dos pontos de inundação obtidos junto à Defesa Civil municipal, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)



**Figura 24. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com o comparativo dos pontos obtidos junto à Defesa Civil municipal, no município de Rolante/RS.**

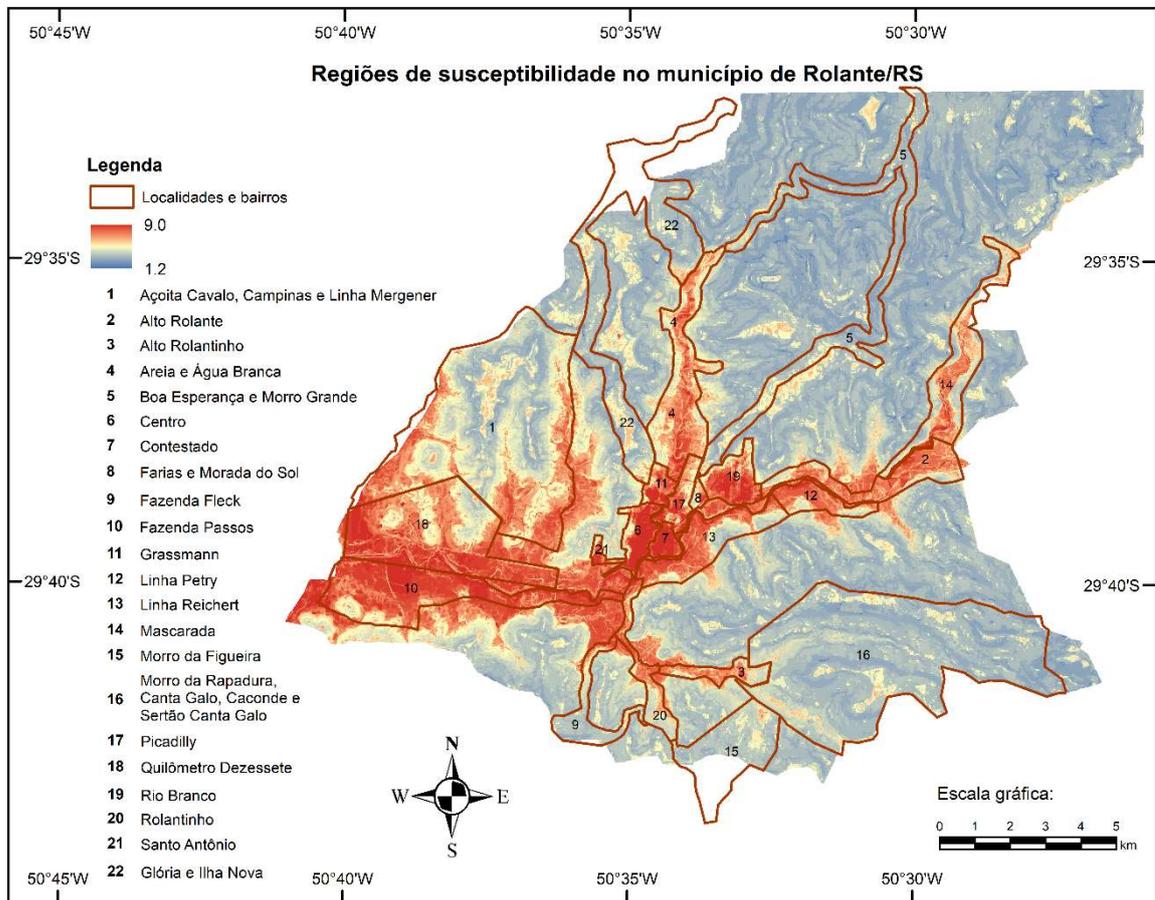
FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

### 5.1.7.5 Mapa reclassificado final

Após a nova readequação das variáveis declividade e altitude em 10 classes, observamos o estreitamento e a redução das áreas de maior risco. A escala passou a ser de 1.2 (menos susceptível à inundação) até 9 (maior susceptibilidade à inundação), em que os tons da cor azul correspondem aos trechos com menor susceptibilidade à inundação, com valores próximos a 1 e às áreas com tons da cor vermelha correspondem aos trechos com maior susceptibilidade à inundação, com valores próximos a 10.

O mapa final, em escala contínua é apresentado na Figura 25. Nele podemos observar que na região noroeste e sul do município algumas áreas ficam sem informação no *pixel*. Isso ocorreu em virtude da base de dados do Projeto MAPBIOMAS não possuir informações nestas áreas, visto que o polígono do perímetro e divisas municipais daquela base de dados diverge dos limites municipais reais. Embora as demais variáveis possuam informações nesses *pixels*, a ausência de dados de uso e ocupação do solo impactou na modelagem final. Contudo, esse resultado não afetou os objetivos do presente estudo, na medida em que aquelas áreas não abrangem os trechos dos cursos hídricos analisados.

Em estudos posteriores, caso disponível base de dados em resolução similar abrangendo a totalidade do território municipal, o estudo poderá ser aprimorado.



**Figura 25. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

### 5.1.8 Mapa de classes de susceptibilidade

De posse do mapa de susceptibilidade readequado (Figura 25), verificamos que em alguns estudos foram adotadas divisões em classes de susceptibilidade, o que possibilita uma melhor visualização e interpretação das áreas mais críticas.

A reclassificação foi realizada com a divisão em cinco classes de susceptibilidade (Tabela 13), definidas com base na bibliografia consultada, relacionada a estudos similares (CAMPIOLI e VIEIRA, 2019; DALFI et al., 2013; GARCIA, DOURADO e AVILA, 2022; MAGALHÃES et al., 2011; NETO et al., 2017; RINCÓN, KHAN e ARMENAKIS, 2018; SANTANA et al., 2014; SANTOS et al., 2022; TIRYAKI e KARACA, 2018).

**Tabela 13. Classificação da susceptibilidade à inundação**

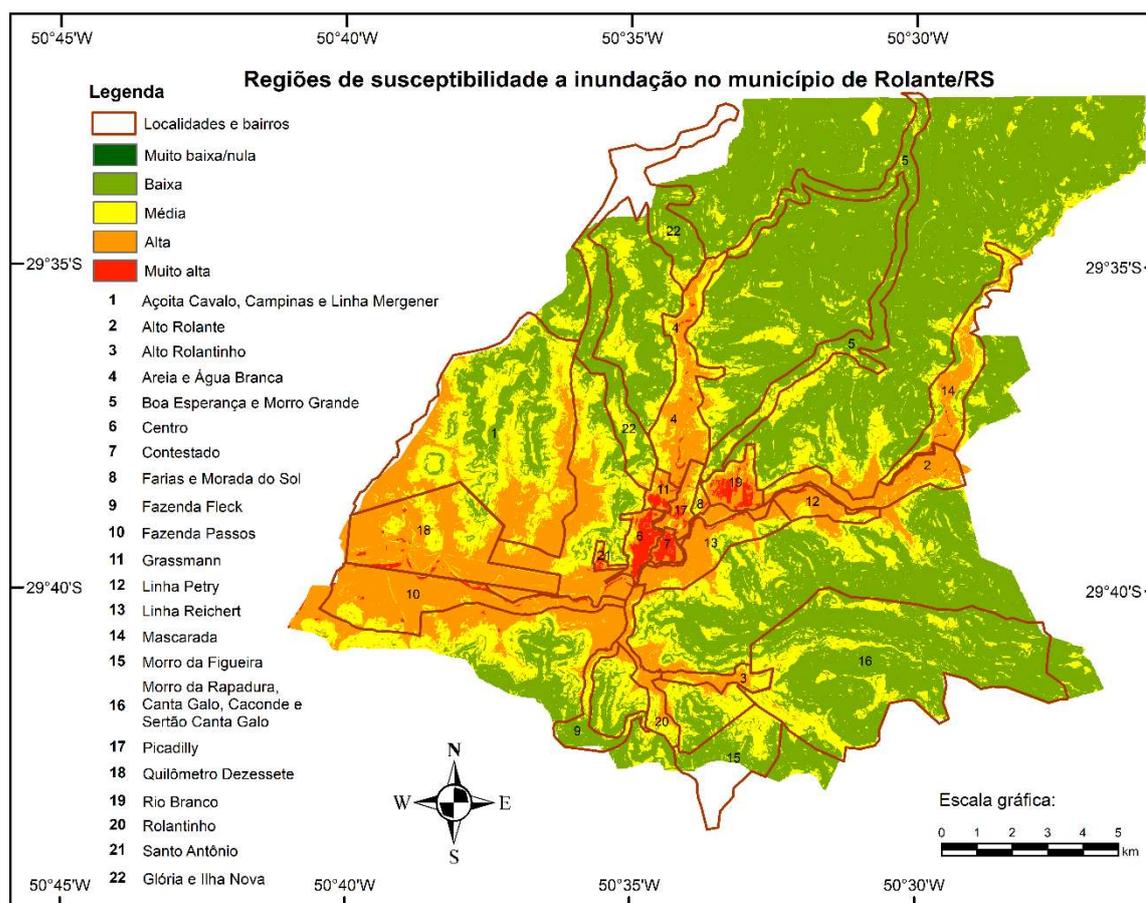
Classificação	Escala
Muito baixa/nula	0 – 2
Baixa	2 – 4
Média	4 – 6
Alta	6 – 8
Muito alta	8 – 10

Elaborado pelo Autor (2023)

A fim de compreender o impacto que houve no mapeamento pela alteração da reclassificação das variáveis declividade e altitude, passamos a analisar os mapas, agora divididos em classes. Isto nos permitiu compreender a importância da análise preliminar dos resultados que foram sendo produzidos durante o desenvolvimento deste estudo, bem como da relevância em realizar a validação dos resultados obtidos.

A Figura 26 ilustra o mapa preliminar, em classes de susceptibilidade, em que as variáveis declividade e altitude ainda estavam divididas em seis classes (mapa baseado nas Figuras 7, 9, 11, 12 e 13). O resultado da reclassificação apontou: (i) Muito baixa/nula – 0,001 km<sup>2</sup> / 0% da área total do município; (ii) Baixa – 166,93 km<sup>2</sup> / 56,38% da área total do município; (iii) Média – 71,08 km<sup>2</sup> / 24,01% da área total do município; (iv) Alta – 54,93 km<sup>2</sup> / 18,55% da área total do município; e, (v) Muito alta – 3,14 km<sup>2</sup> / 1,06% da área total do município.

Os locais mapeados como muito alto risco abrangeram as áreas localizadas nas regiões dos bairros e localidades denominados como: (i) Alto Rolante, (ii) Areia e Água Branca, (iii) Centro, (iii) Contestado, (iv) Farias e Morada do Sol, (v) Fazenda Fleck, (vi) Fazenda Passos, (vii) Grassmann, (viii) Linha Petry, (ix) Linha Reichert, (x) Mascarada, (xi) Picadilly, (xii) Quilômetro Dezessete, (xiii) Rio Branco, (xix) Rolantinho e (xx) Santo Antônio (Figura 26). O mapeamento de muita alta susceptibilidade na porção alta do bairro Rio Branco e Centro chamou bastante a atenção pois não se tem registros de inundações naquelas áreas. Isto ocorreu por conta da divisão das variáveis declividade e altitude em somente seis classes, não permitindo que o sistema interpretasse pequenas diferenças no relevo.

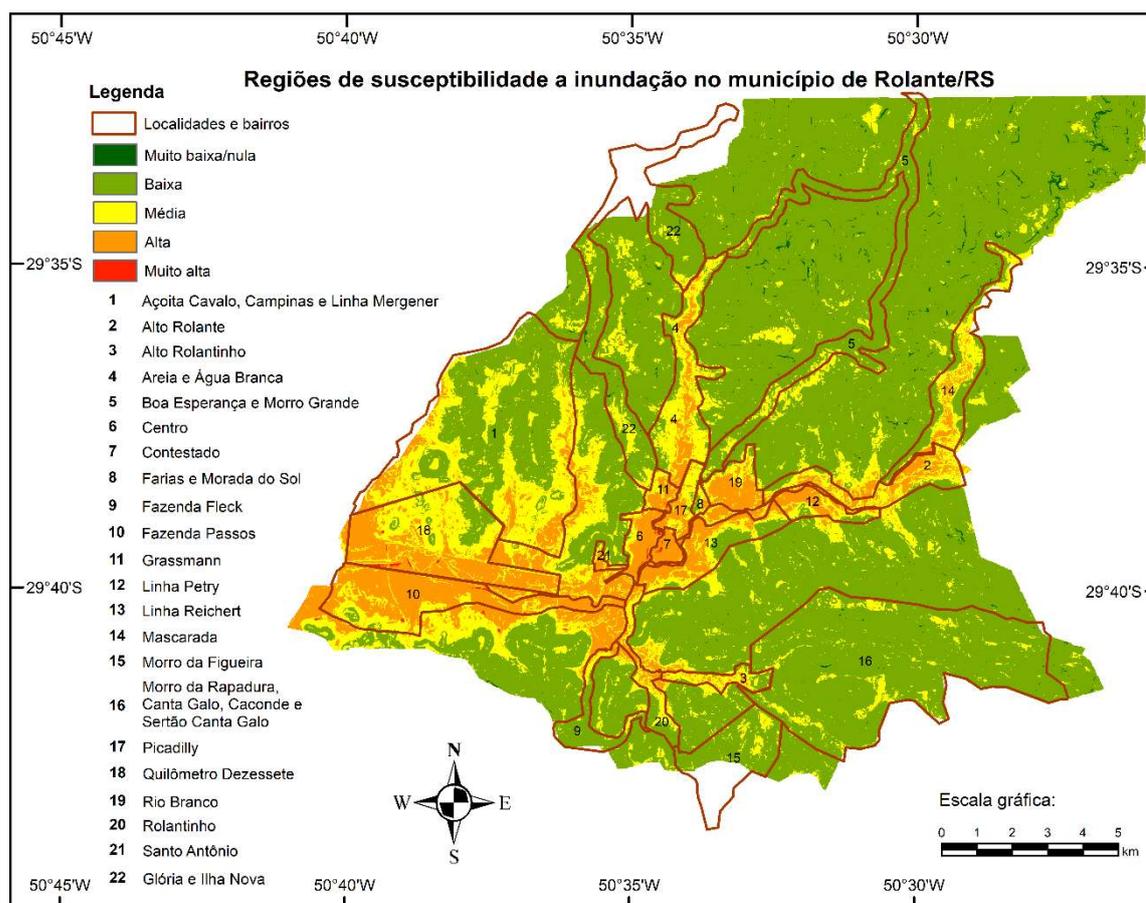


**Figura 26. Mapa de suscetibilidade à inundação preliminar, em escala de classes, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Após a validação dos dados e reclassificação das variáveis altitude e declividade para 10 classes (mapas das Figuras 8, 10, 11, 12 e 13), temos a Figura 27 como o mapa final de classes de suscetibilidade à inundação no município de Rolante, resultando nas seguintes áreas: (i) Muito baixa/nula – 1,46 km<sup>2</sup> / 0,49% da área total do município; (ii) Baixa – 210,88 km<sup>2</sup> / 71,22% da área total do município; (iii) Média – 51,37 km<sup>2</sup> / 17,35% da área total do município; (iv) Alta – 32,15 km<sup>2</sup> / 10,86% da área total do município; e, (v) Muito alta – 0,23 km<sup>2</sup> / 0,08% da área total do município.

Nesta nova rodagem, os locais mapeados como muito alto risco abrangeram as áreas localizadas nas regiões dos bairros e localidades denominados como: (i) Centro, (ii) Contestado, (iii) Fazenda Fleck, (iv) Fazenda Passos, (v) Grassmann, (vi) Quilômetro Dezessete e (vii) Rolantinho (Figura 27).



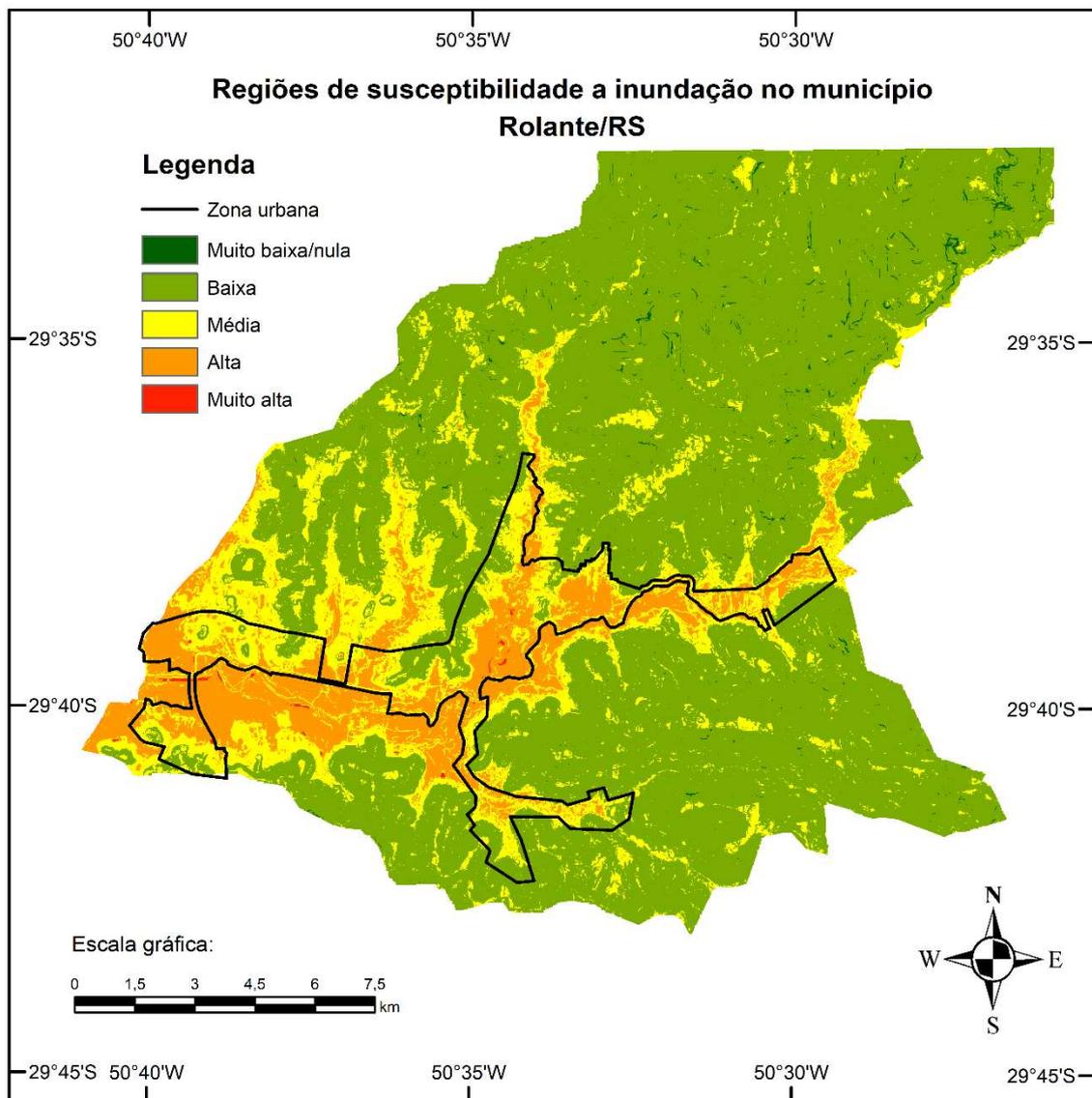
**Figura 27. Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com escala de classes, no município de Rolante/RS.**

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Comparando os mapas das Figuras 26 e 27, observamos uma redução significativa nas áreas classificadas como “média”, “alta” e “muito alta” susceptibilidade, e o incremento das áreas de baixa e muito baixa susceptibilidade, o que está mais compatível com as informações obtidas e utilizadas no processo de validação. Dessa forma, pode-se sugerir a utilização do mapa da Figura 27, após a redefinição em dez classes dos mapas de altitude e declividade, como mapa de apoio a decisão no caso de Rolante.

Para termos uma ideia da área de abrangência que as inundações têm sobre a mancha urbana, realizamos a comparação do mapa final das classes de susceptibilidade com a macrozona urbana definida pelo Plano Diretor Urbano e Ambiental de Rolante (Lei Municipal nº 4.267/2018), resultando na Figura 28. Assim, percebemos que boa parte da área urbana é atingida por diferentes classes de susceptibilidade a inundações, variando entre as classes “baixa”, “média”, “alta”, “muito alta”.

Analisando a Figura 28, é possível perceber que há uma grande área classificada como “alta” e “muito alta” susceptibilidade nas regiões dos bairros e localidades da Fazenda Passos, Quilômetro Dezessete e Rolantinho, que são regiões que ainda dispõem de áreas livres, com grande potencial de expansão urbana, utilizadas atualmente, em sua maior parte, para produção agrícola e pecuária e são prioritariamente planas, o que gera muita especulação imobiliária. Assim, é importante que o poder público adote medidas para restringir as atividades de parcelamento do solo nestas regiões.



**Figura 28.** Mapa de susceptibilidade à inundação após a readequação das variáveis declividade e altitude em dez classes, com escala de cores e ilustração da macrozona urbana, no município de Rolante/RS.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2023)

Os locais mapeados como susceptibilidade “muito alta” abrangeram principalmente as áreas localizadas próximas aos cursos d’água, contudo, é importante considerar que essa classificação é resultado da metodologia utilizada, levando em conta a probabilidade de ocorrer estes eventos nestas áreas, e que as áreas classificadas como “alta” susceptibilidade, que abrangem uma significativa área do mapeamento, também precisam ser consideradas para fins de planejamento e gestão municipal.

As áreas isoladas e que foram classificadas como “média” e “alta” susceptibilidade são resultado do cruzamento das informações das variáveis utilizadas, sendo locais onde ocorrem situações que podem ser definidas como alagamentos, em que há o acúmulo momentâneo das águas, podendo ser devido a problemas de drenagem ou por conta da topografia do terreno, com a presença de locais mais baixos onde as águas são drenadas de forma natural. Ou ainda, pode ser devido a existência de pequenos açudes na zona rural.

Destaca-se que estas áreas de alagamento não fazem parte do escopo do presente trabalho, assim, não temos a expectativa de mapear e analisar estas áreas.

A aplicação do método AHP permitiu a elaboração de mapa de susceptibilidade à inundação no município de Rolante, através da coleta de opiniões de profissionais com diferentes pontos de vista. Com isso, embora a mancha de susceptibilidade pode ter sido superestimada, quando comparada com os dados de validação, o estudo permitiu experimentar a aplicabilidade desta metodologia que pode ser aprimorada no território municipal, incorporando mais atores no processo decisório, além de outras variáveis com diferentes dados de entrada, como levantamentos de campo.

A metodologia contou com a participação de um número limitado de especialistas, mas que estes possuem conhecimento técnico na área de recursos hídricos, possibilitando a realização de uma primeira modelagem, que pode ser aprimorada.

Percebemos que os resultados na hierarquização das variáveis são totalmente dependentes do público participante, considerando o caráter qualitativo do método. Com isso, faz-se necessário que o método seja adequadamente conduzido, de maneira que os envolvidos entendam o impacto que as suas opiniões têm sobre a hierarquização e conseqüentemente, sobre a modelagem do mapeamento, compreendendo como deve ser interpretada a comparação par a par, onde uma variável está diretamente relacionada com a outra.

Os órgãos públicos podem aprimorar a ferramenta e utilizá-la para fins de planejamento de uso e ocupação do solo, uma vez que nas áreas mapeadas como susceptíveis à inundação temos diferentes usos, como cultivos agrícolas, pastagens, pecuária, piscicultura, indústrias, comércios, serviços e residências, necessitando de regras que considerem os múltiplos usos.

Estes modelos podem contribuir para elucidar os caminhos e alternativas que podem ser seguidos na estruturação, preparação, organização e planejamento de ações para minimização de eventos hidrológicos críticos.

O presente trabalho pode ser aprimorado a qualquer tempo, na medida em que podem ser acrescentadas ou suprimidas variáveis, conforme o objetivo da modelagem. Os pesos podem ser revistos, através da consulta a um grupo distinto de especialistas, podendo inclusive alterar a hierarquização das variáveis utilizadas, trazendo diferentes resultados, conforme o objetivo proposto.

Os resultados da presente modelagem, em especial os dois mapas de classes de susceptibilidade à inundação, ficam à disposição para usos e estudos futuros. Entretanto, destacamos que, considerando a proposta metodológica deste estudo, temos fortes indicativos para fazer uso do último mapa dividido em classes, após a readequação das variáveis altitude e declividade, conforme ilustrado nas Figura 26 e 27.

### **5.1.9 Produtos complementares e discussões finais**

Durante a realização deste estudo foi possível contribuir com a Prefeitura de Rolante para o desenvolvimento de dois produtos. Um deles é denominado “Precedentes – Autorizações em Áreas Sujeitas à Inundação ou Mapeadas como Zona de Proteção Ambiental”, ilustrado no APÊNDICE B, em que promovermos um levantamento da legislação municipal, estadual e federal, relacionada às questões ambientais e parcelamento do solo, apontando trechos da lei que estão relacionados a essa questão e descrevendo quais os procedimentos que a municipalidade tem adotado para tratar de aspectos relacionados a intervenções em zonas alagáveis ou mapeadas como Zona de Proteção Ambiental (ZPA), nos termos do Plano Diretor Urbano e Ambiental de Rolante, Lei Municipal nº 4.267/2018.

O objetivo foi ilustrar ao poder público estas questões para que, através do Conselho Municipal do Plano Diretor, pudessem ser planejadas melhorias quanto à procedimentos e regras nesta temática.

O segundo produto é denominado “Análise de Ações para Minimização dos Impactos das Inundações em Rolante”, ilustrado no APÊNDICE C, que se trata de um levantamento realizado para elencar diferentes estratégias, em que o poder público possa realizar o planejamento das ações que objetivem minimizar ou mitigar os problemas decorrentes das ocupações em áreas alagáveis.

Recomenda-se que o poder público municipal de Rolante se aproprie dos dados e informações deste estudo, que, além de trazer uma base de dados consistente, ilustra simulações que permitem a fácil visualização das áreas críticas e susceptíveis às inundações em seu território. Considerando que a metodologia adotada é mutável e flexível, poderão ser alteradas e incorporadas novas variáveis ao processo, bem como consultado um diferente rol de especialistas na área, atribuindo diferentes pesos, gerando uma hierarquização distinta da apresentada neste estudo, resultando em simulações modificadas, incorporando inclusive a mancha urbana estabelecida pelo Plano Diretor de Rolante, como variável ao processo.

Durante a realização deste estudo constatamos que, de maneira direta e indireta, atingimos o objetivo específico relacionado ao desenvolvimento de ações para mitigação dos eventos de escoamento que geram inundações, na medida em que foram levantadas informações sobre a legislação municipal, as diferentes medidas estruturais e não estruturais capazes de minimizar os efeitos das inundações, bem como com as modelagens das áreas susceptíveis a estes eventos. Também participamos de reuniões junto ao Conselho Municipal do Plano Diretor e Conselho Municipal de Meio Ambiente, onde alguns destes resultados já foram apresentados, tendo inclusive registro em ata.

## 6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste estudo possibilitou utilizar uma metodologia multicritério para ponderar e hierarquizar variáveis que interferem de forma direta ou indireta nos processos de inundações, resultando em um mapeamento que pode ser utilizado como referência para que o poder público municipal avalie a implantação de alternativas para minimização dos impactos destes eventos, uma vez que a atual legislação municipal é bastante omissa sobre esta questão, sem restrições claras quanto a ocupação de áreas inundáveis.

Foi possível realizar a construção de um modelo multicritério para obter o mapeamento das áreas com susceptibilidade a inundações no território de Rolante, dividido em classes, que possibilita o entendimento claro das áreas com menor ou maior susceptibilidade.

Obtivemos importantes dados do território municipal que subsidiaram nosso estudo e que podem auxiliar o aprimoramento deste trabalho ou o desenvolvimento de novas pesquisas, através da identificação e seleção das informações físicas do terreno, que foram relevantes para o estudo proposto, sendo possível avaliar a sua influência no mapeamento de susceptibilidade a inundações, de acordo com as pesquisas e as modelagens realizadas.

O uso de sistemas de informação georreferenciada permitiu realizarmos os comparativos entre o mapeamento desenvolvido pela metodologia multicritério e os demais trabalhos disponibilizados pela municipalidade, bem como analisar com maior detalhe os locais atingidos pela mancha de susceptibilidade, onde se procedeu com a construção de modelo multicritério, através da ponderação e hierarquização de pesos para as variáveis selecionadas, apoiado na consulta à especialistas da área.

A validação da modelagem foi procedida do comparativo dos mapas gerados com os trabalhos já desenvolvidos para o município de Rolante, legitimando os mapas de susceptibilidade gerados.

Os produtos derivados deste trabalho devem ser utilizados pela gestão municipal de Rolante para desenvolver ações de planejamento de uso e ocupação do solo, além de mitigar os efeitos de eventos climáticos extremos.

Em locais onde não tenha sido possível realizar análises de campo, o método AHP apresenta-se adequado para determinar áreas susceptíveis à inundação, podendo ser complementado com levantamentos sociais e econômicos, resultando em mapeamentos de perigo e de risco à inundação.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Deixamos como sugestão deste estudo, para que o órgão público municipal se aproprie destes dados, devendo utilizá-los para o aprimoramento e o desenvolvimento de diretrizes municipais para o regramento de uso e ocupação do solo, uma vez que, conforme foi possível constatar, a legislação municipal possui diversas fragilidades neste aspecto.

Assim, o poder público poderá se apropriar deste estudo, através de sua equipe técnica, analisando as ponderações e hierarquizações efetuadas, podendo vir a realizar novas modelagens, alterando e incluindo outras bases de dados, bem como consultar um rol de diferentes especialistas, no sentido de promover nova atribuição de pesos e hierarquização das variáveis, o que permitirá verificar o comportamento da modelagem com base em outros pontos de vista.

O município possui alguns estudos e mapeamentos e por vezes os utiliza como ferramenta de consulta, quando realiza a análise de pedidos de intervenção em locais sujeitos à inundação, contudo, os critérios de uso ou restrição destas áreas ficam à cargo da equipe técnica da Prefeitura Municipal.

Com isso, a ausência de normas explícitas implica em entendimentos distintos, além do mais, permite que as áreas inundáveis continuem sendo ocupadas e sofrendo alterações sem maiores restrições, e cada vez mais, interferindo no escoamento superficial, sendo necessário que o poder público municipal desenvolva regras nessa linha.

É importante destacar que, durante a elaboração de diretrizes ambientais e urbanísticas, deve-se levar em consideração os diferentes usos do solo e os tipos de intervenções que podem ocorrer no local.

Em Rolante são encontrados usos por cultivos agrícolas, pastagens, pecuária, piscicultura, indústrias, comércios, serviços e residências. Assim, a definição de regras deverá considerar os múltiplos usos do solo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Maria Eduarda Pereira et al. Assessing the capacity of large-scale hydrologic-hydrodynamic models for mapping flood hazard in southern Brazil. RBRH, v. 27, e9, 2022, 15 p. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220009>

ALVES, Maria Eduarda Pereira et al. Comparação de métodos de modelagem de áreas inundadas utilizando técnicas de escala local, regional e global para uma cheia no Rio Uruguai. Anais Congr. Int. Eng. Amb. & 10ª Reunião Est. Amb., v. 2, 2020, p. 508-521.

ANA. Hidrologia básica. Brasília: DF – Agência Nacional de Águas, 2022, 55 p. Disponível em: [https://capacitacao2.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2514/1/Unidade\\_1.pdf](https://capacitacao2.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2514/1/Unidade_1.pdf). Acesso em: 30 jan. 2023.

ANCHIETA, Thomaz Felipe de Freitas et al. Simulação da área de inundação por meio da modelagem hidráulica em canal urbano: estudo de caso Córrego Jatobá, em Belo Horizonte, Minas Gerais. RBGF. 2020, v. 13, n. 3, p. 1348-1367.

AQUINO, Mariana Correia; OLIVEIRA, Regina Célia de. Análise dos conceitos e variáveis na aplicação de fragilidades ambientais. Anais dos 20 anos PPG Geografia UNICAMP. 2022, vol. 1, n. 1, p. 166-177.

BHIOS. Mapa Município de Rolante – Área de Inundação. Escala 1:15.000. Rolante, RS: Departamento de Meio Ambiente. Elaborado por: Bhios Ambiental, 2017.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. [...] estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm). Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acesso em: 25 jan. 2023.

BRASIL. Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 2007, 176 p.

BRASIL. Volume 6 – Manual técnico para redução de riscos de desastres aplicado ao planejamento urbano / Marcel Cláudio Sant’Ana, coordenador – Brasília: Ministério das Cidades; Projeto GIDES. 2018, 187 p.

CABRAL, Samuellson Lopes et al. Integração do SIG, HEC/HMS e HEC/HAS no mapeamento de área de inundação urbana: aplicação à bacia do rio Granjeiro-CE. *Geociências*, v. 35, n. 1, 2016, p. 90-101.

CAMPIOLI, Pâmela Fermino; VIEIRA, Celso Voos. Avaliação do risco a inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. *RBGf*, v. 12, n. 01, 2019, p. 124-138.

CHAVES, Hugo Leonardo Oliveira et al. Mapeamento de susceptibilidade à inundação utilizando o método da razão de frequência aplicado à bacia do Riacho Fundo – Distrito Federal. *GESTA*, v. 9, n. 1, 2021, p. 148-166.

COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. *RBRH*, v. 6, n. 1, 2001, p. 95-118.

CONCEIÇÃO, Raimundo Almir Costa; SIMÕES, Patrícia Mara Lage. Nota técnica para elaboração de modelagens de inundação. CPRM, 2021, 9 p. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/22079/1/nota\\_tecnica\\_inundacao\\_modelagem.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/22079/1/nota_tecnica_inundacao_modelagem.pdf). Acesso em: 17 jan. 2023.

CORDERO, Ademar; MEDEIROS, Péricles Alves; TERAN, Albanella Leon. Medidas de controle de cheias e inundações. CEOPS, 1999, 18 p. Disponível em: [http://ceops.furb.br/index.php/publicacoes/artigos/doc\\_details/5-metodos-controle-cheias-1999](http://ceops.furb.br/index.php/publicacoes/artigos/doc_details/5-metodos-controle-cheias-1999). Acesso em: 09 jan. 2023.

COSTA, Ana Flavia Brancalion; FAN, Fernando Mainardi; GRESSLER, Marcelle. Modelagem da carga sedimentar no rio dos Sinos, após desastres hidrossedimentológicos em 2017 – Rolante/RS, Brasil. XIV ENES/ABRHIDRO, 2020, 8 p.

CPRM. Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes - Rolante – RS – Porto Alegre: RS, Serviço Geológico do Brasil / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2012. 10 p.

CPRM. Ciclo hidrológico. Brasília: DF, Serviço Geológico do Brasil / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2023. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Canal-Escola/Ciclo-Hidrologico-1376.html>. Acesso em: 18 jan. 2023.

CPRM. Eventos críticos. Brasília: DF, Serviço Geológico do Brasil / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2023b. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Eventos-Criticos-365>. Acesso em: 17 jan. 2023.

CRISTALDO, Marcia Ferreira et al. Redes neurais artificiais aplicadas à previsão de enchentes para região do pantanal no Mato Grosso do Sul. *Geociências*, v.39, n. 1, 2020, p. 191-201.

CRUZ, Jussara Cabral et al. Avaliação ambiental integrada: Construção metodológica do modelo para bloco do meio físico. *RBRH*, v. 18, n. 1, 2013, p. 223-233.

CRUZ, Jussara Cabral et al. Avaliação ambiental integrada do meio físico nas bacias do alto e médio Rio Uruguai: Análise desagregada. *RBRH*, v. 19, n. 2, 2014, p. 237-249.

DALFI, Raphael Lima et al. Cenários distintos no mapeamento de áreas de inundação nos bairros do Município de Alegre, ES. *Cadernos de Geociências*, v. 10, n. 2, 2013, p. 76-86.

DEFESA CIVIL. Dados e informações sobre a ocorrência de inundações, cheias e enxurradas. Planilha Excel® – Rolante, RS: Prefeitura Municipal. 2022, 1 p.

DIRETORIA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS DO EXÉRCITO BRASILEIRO. Modelo digital de terreno / em conjunto com a Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão do

estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:25.000, resolução espacial de 2,5 m, referenciado em altitude ortométrica no sistema de projeção SIRGAS 2000, Zona 22S, 2021.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos / Humberto Gonçalves dos Santos et al, autores – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018. 356 p.

ESRI. ArcGIS. 2022. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>. Acesso em: 21 jan. 2023.

ESRI. History of GIS. 2022b. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/history-of-gis>. Acesso em: 21 jan. 2023.

FEITOSA, Fernando A. C. et al. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 2008. 812 p.

FILHO, Jugurta Lisboa; IOCHPE, Cirano. Introdução a sistemas de informações geográficas com ênfase em banco de dados – Apostila. DPI-UFV, 1996, 53 p. Disponível em: <http://www.dpi.ufv.br/~jugurta/papers/sig-bd-jai.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2023.

FILHO, Alceu Gomes de Andrade; SZÉLIGA, Marcos Rogério; ENOMOTO, Carolina Ferreira. Estudos de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas. Ciên. Ex. Terr., Ciênc. Agr. Eng./UEPG. 2000, 6(1): p. 69-90.

FORMAN, Ernest; PENIWATI, Kirti. Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process. Eur. J. Oper. Res. 1998, 108, p. 165-169. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

FRUTUOSO, Gilciane Kariny da Costa; GRIGIO, Alfredo Marcelo; BARROS, Terezinha Cabral de Albuquerque Neta. Inundações urbanas: um olhar para o planejamento urbano na revisão do plano diretor de Assú – RN, Brasil. RNGC. 2020, vol. 08, n. 61: p. 118-134.

GARCIA, Bruno de Souza; DOURADO, Camila da Silva; AVILA, Ana Maria Heuminski. Physiographic analysis of the Atibaia River Basin and flood susceptibility mapping in the

municipality of Campinas-SP, Brazil. *Rev. Ambiente & Água*. 2022, vol. 17, n. 3, 14 p. doi:10.4136/ambi-agua.2832

GIL, Antônio Carlos. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 4. ed. São Paulo: ATLAS. 2002. 176 p.

GIMENES, Filipe Biaggioni Quessada; FILHO, Oswaldo Augusto. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). *Anais XVI SBSR*. 2013, p. 6564-6571.

GOLDMEIER, Valtemir Bruno; JABLONSKI, André. *Gestão Pública Municipal: Orientações básicas nas ações municipais no meio ambiente [...]*. 1. ed. Porto Alegre: FAMURS. 2005. 660 p.

GOSSLER, Diego Luiz; CRUZ, Jussara Cabral. Diagnóstico de diretrizes relacionadas à minimização dos efeitos das inundações na Bacia do Rio dos Sinos/RS. *XXX Congr. Latin. Hidr.* 2022, vol. 6 A, p. 437-446.

GPDEN/IPH-UFRGS. Grupo de pesquisa em desastres naturais/Instituto de pesquisas Hidráulicas-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: RS, 2022. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/>. Acesso em: 02 mai. 2023.

GUIRRO, Mel Oliveira et al. Escorregamentos e inundação brusca na bacia hidrográfica do rio Rolante/RS no ano de 2017. *IIIEND/ABRHIDRO*, 2023, 4 p.

HAND MODEL. Height Above Nearest Drainage. São José dos Campos: SP, 2023. Disponível em: <http://handmodel.ccst.inpe.br/>. Acesso em: 02 mai. 2023.

IBGE. Banco de dados de informações ambientais / Pedologia. Escala 1:250.000, resolução espacial de 250 m, Versão 2.18.0 – Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 07 jan. 2023.

IBGE. Dados sobre Rolante – Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/rolante/panorama>. Acesso em: 23 jan. 2023.

IPEA. Inteligência artificial e redes neurais. Rio de Janeiro: RJ, Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade, 2020. Priscila Mello Alves (Autora). Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/106-inteligencia-artificial-e-redes-neurais>. Acesso em: 02 mai. 2023.

LAGUARDIA, Rafael Martins de Oliveira. História georreferenciada e a categorização das informações. *Educação em Foco*, v. 24, n. 2, 2019, 16 p. DOI: <https://doi.org/10.34019/2447-5246.2019.v24.27798>

LEAL, Miguel. Cheias e inundações urbanas: tipos, características e danos materiais. In: Ramos-Pereira, Ana... [et al.]. *Água e Território: um tributo a Catarina Ramos*. Lisboa: CEG, 2019: p. 131-146.

MAGALHÃES, Ivo Augusto Lopes et al. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. *Cadernos de Geociências*, v. 8, n. 2, 2011, p. 63-70.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. *História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea*. [tradução de Falluh, C. F.; Ferreira, B.]. São Paulo, Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010, 568 p.

METROPLAN. Estudo básico: Produto N° 11 – Relatório da simulação hidráulica e mapas de inundação. Escala 1:10.000. Porto Alegre, RS: Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional, 2018.

METROPLAN. Etapa – Plano de Trabalho: Produto N° 1 – Plano de trabalho consolidado. Porto Alegre, RS: Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional, 2015.

METROPLAN. Levantamento de dados: Produto N° 5 – Base de dados. Escala 1:10.000 / Escala 1:50.000. Porto Alegre, RS: Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional, 2017.

MOREIRA, Luana Lavagnoli et al. Sensitivity analysis of indicator weights for the construction of flood vulnerability indexes: A participatory approach. *Frontiers in Water*. 2023, 13 p. DOI: 10.3389/frwa.2023.970469

NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY. Geographic Information System (GIS). Jeannie Evers e Emdash – Editores, 2022. Disponível em: <https://education.nationalgeographic.org/resource/geographic-information-system-gis>. Acesso em: 21 jan. 2023.

NETO, Gervásio Barbosa Soares et al. Análise de susceptibilidade a alagamento na bacia hidrográfica do Riacho Fundo – Distrito Federal por meio de sistemas de informação geográfica – SIG. *Territorium*. 2017, n. 24, p. 77-87. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_24\\_6](https://doi.org/10.14195/1647-7723_24_6)

NOBRE, A. D. et al. Height above the nearest drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, 2011, p. 13-29.

PRINA, Bruno Zucuni; TRENTIN, R. Tempo de retorno de inundações: aplicação metodológica. *Geosp – Espaço e Tempo (Online)*, v. 22, n. 3, p. 670-686, dez. 2018. ISSN 2179-0892.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, 2021. Escala 1:100.000, resolução espacial de 30 m. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 06 jan. 2023.

RAMOS, Helena M. et al. Urban Floods Adaptation and Sustainable Drainage Measures. *Fluids (MDPI)*. 2017, 2, 61, 18 p.

RINCÓN, Daniela; KHAN, Usman T.; ARMENAKIS, Costas. Flood risks mapping using GIS and multi-criteria analysis: A Greater Toronto Area case study. *Geosciences*. 2018, 8, 275, 27 p. doi:10.3390/geosciences8080275

RIO GRANDE DO SUL. Nova base cartográfica do RS atualiza dados da década de 1970. Porto Alegre: RS, 2021. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/nova-base-cartografica-do-rs-atualiza-dados-da-decada-de-1970>. Acesso em: 05 jan. 2023.

ROLANTE. História do município. Rolante, RS: Departamento de Cultura, 2021. Disponível em: <https://rolante.atende.net/cidadao/pagina/historia-do-municipio>. Acesso em: 02 mai. 2023.

ROLANTE. Portal de legislação do município de Rolante. Rolante, RS: 2023. Disponível em: <https://rolante.cespro.com.br/>. Acesso em: 04 mai. 2023.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 6, p. 63-74, 1994.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. J. Math. Psych. 1977, v. 15, I. 3, p. 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Serv. Scienc. 2008, v. 1, n. 1, p. 83-98.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. Eur. J. Oper. Res. 1990, v. 48, i. 1, p. 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)

SAATY, Thomas L; VARGAS, Luis G. Decision making with the analytic network process: Economic, Political [...]. Springer. 2006, 283 p.

SAMANTA, Ratan Kumar et al. Flood susceptibility mapping using geospatial Frequency ratio technique: a case study of Subarnarekha River Basin, India. Modeling Earth Syst. Env., 2018, 4:395-408. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0427-z>

SANTANA, Felipe Carvalho et al. Mapeamento das áreas de risco de inundação no município de João Monlevade – MG, com a utilização de sistemas de informações geográficas. V Congr. Bras. Gest. Amb. 2014, 8 p.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; LOUZADA, Franciane L. Rubini de Oliveira; EUGÊNIO, Fernando Coelho. ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais. 2ª. ed. rev. e ampl. Alegre, ES: CAUFES. 2010. 184 p.

SANTOS, Thiago Gonçalves et al. Análise multicriterial de decisão aplicada às áreas suscetíveis a inundação na Bacia do Córrego do Lenheiro – São João Del-Rei, Minas Gerais. *Geographia*, v. 24, n. 53, 2022, 16 p. DOI: 10.22409/GEOgraphia2022.v24i53.a47218

SEMA/GPDEN. Diagnóstico Preliminar: Descritivo dos eventos ocorridos no dia 5 de janeiro de 2017 entre as regiões dos municípios de São Francisco de Paula e Rolante/RS. Porto Alegre, RS: Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2017.

SOUZA JR., Carlos M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sens.*, 12, 2735, 2020, 27 p. doi:10.3390/rs12172735

STEIN, Lina; PIANOSI, Francesca; WOODS, Ross. Event-based classification for global study of river flood generating processes. Wiley. 2019, vol. 34, p. 1514-1529.

TEHRANY, Mahyat Shafapour et al. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125, 2015, p. 91-101.

TIRYAKI, Mine; KARACA, Oznur. Flood susceptibility mapping using GIS and multicriteria decision analysis: Saricay-Çanakkale (Turkey). *Arab. J. Geosci.* 2018, 11:364, 17 p.

TUCCI, Carlos E. M. Aspectos institucionais do controle das inundações urbanas. I Seminário Rec. Híd. Centro-Oeste. Brasília. 1999. 16 p.

TUCCI, Carlos E. M. Gestão de águas pluviais urbanas. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – Word Bank – UNESCO, 2005. 270 p.

## 9. APÊNDICE A

Registro fotográfico de pontos sujeitos à inundação no Município de Rolante/RS

### REGISTROS FOTOGRÁFICOS DE INUNDAÇÕES EM ROLANTE/RS

BAIRRO CENTRO	
Durante o evento	Após o evento
 <p><b>Figura 29. Inundação 1936 – Avenida Borges de Medeiros/Igreja Luterana.</b> FONTE: Frederico Gustavo Fleck apud Ralph J. Flesch (1936)</p>	 <p><b>Figura 30. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/Igreja Luterana.</b> FONTE: Autor (2023)</p>
 <p><b>Figura 31. Inundação 1956 – Avenida Borges de Medeiros/Hotel Tadiotto.</b> FONTE: Afonso Aluísio Both apud Ralph J. Flesch (1956)</p>	 <p><b>Figura 32. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/Hotel Tadiotto.</b> FONTE: Autor (2023)</p>



**Figura 33. Inundação Julho/1982 – Avenida Borges de Medeiros/Hotel Tadiotto.**

FONTE: Afonso Aluísio Both apud Ralph J. Flesch (1982)



**Figura 34. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/Hotel Tadiotto.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 35. Inundação Julho/1982 – Rua Carlos Huff/Hospital.**

FONTE: Valter Schierholt apud Ralph J. Flesch (1982)



**Figura 36. Foto sem inundação – Rua Carlos Huff/Hospital.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 37. Inundação Setembro/2009 – Avenida Getúlio Vargas/Prefeitura.**

FONTE: Edna Cardoso/Imprensa municipal (2009)



**Figura 38. Foto sem inundação – Avenida Getúlio Vargas/Prefeitura.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 39. Inundação Julho/2015 – Avenida Getúlio Vargas/Rua Coberta.**

FONTE: Autor (2015)



**Figura 40. Foto sem inundação – Avenida Getúlio Vargas/Rua Coberta.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 41. Inundação Julho/1982 – Avenida Borges de Medeiros/Igreja Católica.**

FONTE: Valter Schierholt apud Ralph J. Flesch (1982)



**Figura 42. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/Igreja Católica.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 43. Inundação Julho/2015 – Avenida Borges de Medeiros eq. Avenida Getúlio Vargas.**

FONTE: Ralph J. Flesch (2015)



**Figura 44. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros eq. Avenida Getúlio Vargas.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 45. Inundação Julho/2011 – Avenida Borges de Medeiros eq. Avenida Getúlio Vargas.**

FONTE: Edna Cardoso/Imprensa municipal  
(2011)



**Figura 46. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros eq. Avenida Getúlio Vargas.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 47. Inundação Julho/2011 – Avenida Borges de Medeiros/fundos Madebley.**

FONTE: Edna Cardoso/Imprensa municipal  
(2011)



**Figura 48. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros/fundos Madebley.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 49. Inundação Julho/2011 – Avenida Borges de Medeiros eq. Rua Eng. Noé de Freitas.**

FONTE: Edna Cardoso/Imprensa municipal  
(2011)



**Figura 50. Foto sem inundação – Avenida Borges de Medeiros eq. Rua Eng. Noé de Freitas.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 51. Inundação Setembro/2009 – ERS-239/Rótula acesso à cidade.**

FONTE: Edna Cardoso/Imprensa municipal  
(2009)



**Figura 52. Foto sem inundação – ERS-239/Rótula acesso à cidade.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 53. Inundação Julho/2011 – ERS-239/Rótula acesso à cidade.**

FONTE: Edna Cardoso/Imprensa municipal  
(2011)



**Figura 54. Foto sem inundação – ERS-239/Rótula acesso à cidade.**

FONTE: Autor (2023)



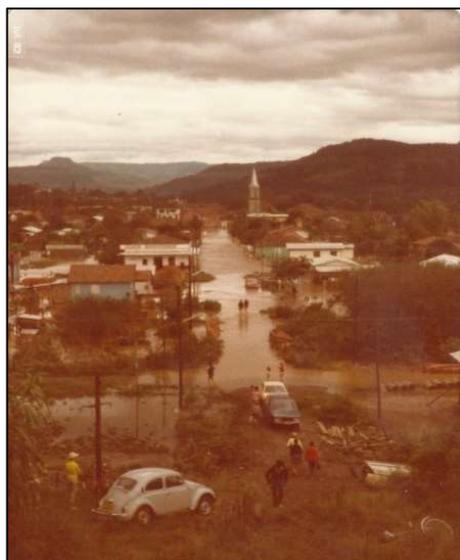
**Figura 55. Inundação Setembro/2009 – Rua Pedro Schneider.**

FONTE: Edna Cardoso/Impr. municipal (2009)



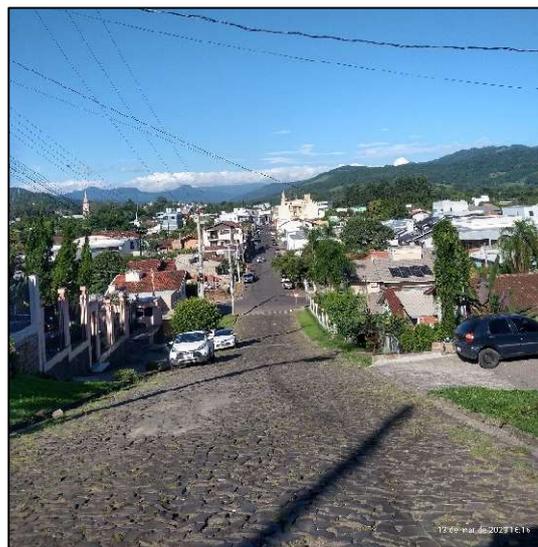
**Figura 56. Foto sem inundação – Rua Pedro Schneider.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 57. Inundação Julho/1982 – Rua Pedro Schneider.**

FONTE: Claudir dos Reis apud Ralph J. Flesch  
(1982)



**Figura 58. Foto sem inundação – Rua Pedro Schneider.**

FONTE: Autor (2023)

BAIRRO CONTESTADO	
Durante o evento	Após o evento
	

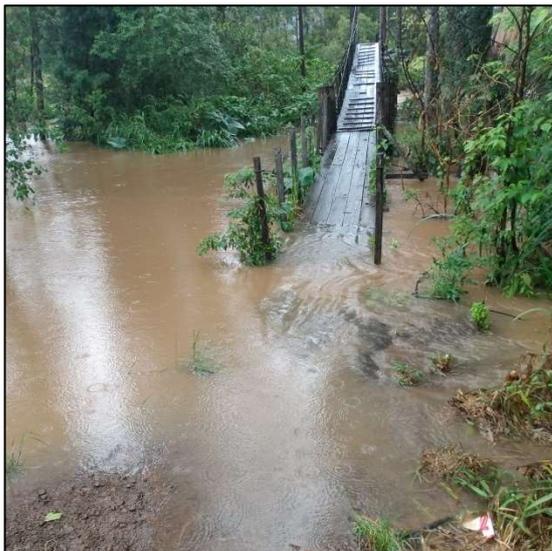


**Figura 59. Inundação Julho/2015 – Avenida Coronel João Link.**

FONTE: Autor (2015)

**Figura 60. Foto sem inundação – Avenida Coronel João Link.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 61. Inundação Março/2023 – Rua Oscar Alcindo Ritter/ponte pênsil.**

FONTE: Clariza H. Galle (2023)



**Figura 62. Foto sem inundação – Rua Oscar Alcindo Ritter/ponte pênsil.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 63. Inundação Março/2023 – Rua Oscar Alcindo Ritter.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 64. Foto sem inundação – Rua Oscar Alcindo Ritter.**

FONTE: Autor (2023)

## BAIRRO GRASSMANN

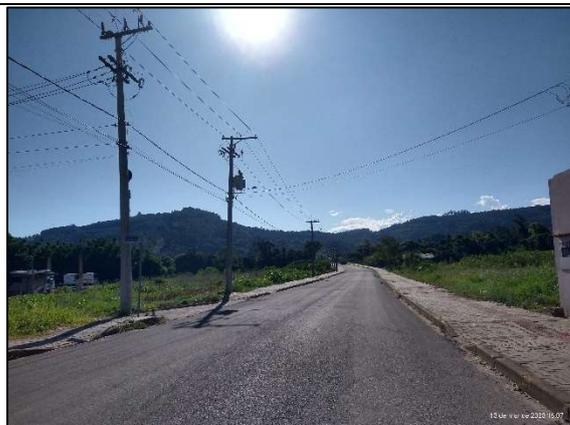
Durante o evento



**Figura 65. Inundação Setembro/2009 – Rua Florisbela Link Stunf.**

FONTE: Edna Cardoso/Imprensa municipal  
(2009)

Após o evento



**Figura 66. Foto sem inundação – Rua Florisbela Link Stunf.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 67. Inundação Setembro/2009 – Rua Luiz Grassmann Sobrinho.**

FONTE: Edna Cardoso/Imprensa municipal  
(2009)



**Figura 68. Foto sem inundação – Rua Luiz Grassmann Sobrinho.**

FONTE: Autor (2023)

LOCALIDADE ALTO ROLANTE	
Durante o evento	Após o evento



**Figura 69. Inundação Março/2023 – ERS-239/Ponte sobre o Rio Rolante.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 70. Foto sem inundação – ERS-239/Ponte sobre o Rio Rolante.**

FONTE: Autor (2023)

LOCALIDADE FAZENDA PASSOS	
Durante o evento	Após o evento



**Figura 71. Inundação Março/2023 – Estrada Municipal Fazenda Passos.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 72. Estrada Municipal Fazenda Passos.**

FONTE: Autor (2023)

## LOCALIDADE KM 17

Durante o evento



**Figura 73. Inundação Agosto/2013 – ERS-239  
acesso a Rua Heitor Arlindo Berg.**

FONTE: Ralph J. Flesch (2013)

Após o evento



**Figura 74. Foto sem inundação – ERS-239  
acesso a Rua Heitor Arlindo Berg.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 75. Inundação Março/2023 – Rua  
Heitor Arlindo Berg/Caprol.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 76. Foto sem inundação – Rua Heitor  
Arlindo Berg/Caprol.**

FONTE: Autor (2023)

## LOCALIDADE LINHA REICHERT

Durante o evento



**Figura 77. Inundação Julho/2015 – Estrada Municipal Linha Reichert.**

FONTE: Eduardo E. Reichert (2015)

Após o evento



**Figura 78. Foto sem inundação – Estrada Municipal Linha Reichert.**

FONTE: Eduardo E. Reichert (2023)



**Figura 79. Inundação Março/2023 – Estrada Municipal Linha Reichert.**

FONTE: Eduardo E. Reichert (2023)



**Figura 80. Foto sem inundação – Estrada Municipal Linha Reichert.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 81. Inundação Março/2023 – Estrada Municipal Linha Reichert.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 82. Foto sem inundação – Estrada Municipal Linha Reichert.**

FONTE: Autor (2023)

LOCALIDADE MASCARADA	
Durante o evento	Após o evento



**Figura 83. Inundação Março/2023 – Estrada da Mascarada.**

FONTE: Cleber Zaro/Defesa Civil municipal (2023)

**Figura 84. Foto sem inundação – Estrada da Mascarada.**

FONTE: Autor (2023)

## LOCALIDADE ROLANTINHO

Durante o evento



**Figura 85. Inundação Julho/2011 – Avenida Anexação.**

FONTE: Edna Cardoso/Imprensa municipal  
(2011)

Após o evento



**Figura 86. Foto sem inundação – Avenida Anexação.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 87. Inundação Março/2023 – Ponte Júlio Schneider.**

FONTE: Autor (2023)



**Figura 88. Foto sem inundação – Ponte Júlio Schneider.**

FONTE: Autor (2023)

## **10. APÊNDICE B**

Precedentes – Autorizações em Áreas Sujeitas à Inundação ou Mapeadas como Zona de Proteção Ambiental



## PRECEDENTES – AUTORIZAÇÕES EM ÁREAS SUJEITAS À INUNDAÇÃO OU MAPEADAS COMO ZONA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

### OBJETIVO

O objetivo do presente texto é elencar as legislações e procedimentos adotados pela municipalidade, em relação as intervenções em áreas sujeitas à inundação ou mapeadas como Zona de Proteção Ambiental (ZPA), a fim de analisar as consequências das tomadas de decisão, bem como avaliar os eventuais precedentes que surgirão oriundos destas decisões, que se caracterizam em autorizar ou não autorizar, licenciar ou negar pedidos de intervenções nestes locais.

### LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

**LEI FEDERAL N° 6.766/1979** – Dispõe sobre Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências

- Quanto à restrição de parcelamento do solo em áreas inundáveis:

**Art 3º.** Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal.

**Parágrafo único** - Não será permitido o parcelamento do solo:

**I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;**

[...]

**IV** - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;

[...]

**LEI MUNICIPAL 3.886/2016** – Dispõe sobre o enquadramento e o licenciamento ambiental das atividades e serviços de movimentação de solo, terraplanagem e escavação e dá outras providências

- Da obrigatoriedade de licenciamento/autorização para movimentação de solo:

**Art. 3º** Todo e qualquer serviço de escavação e terraplanagem que envolva movimentação de solo, **em volume superior a 15m³**, depende de prévia autorização do órgão ambiental municipal.

**Parágrafo único.** O local para recebimento de material proveniente de movimentação de solo para fins de aterro, em qualquer volume, dependerá de prévio licenciamento, licença essa expedida pelo órgão ambiental municipal podendo ser em procedimento específico.

**LEI MUNICIPAL 4.267/2018** – Consolida o Plano Diretor Urbano e Ambiental Municipal e Estabelece as Diretrizes e Proposições de Desenvolvimento no Município de Rolante

- Identificação das zonas conforme artigo 38:

**Art. 38.** Município de Rolante é dividido em duas Macrozonas, assim definidas:

**I** - Macrozona Urbana: formada pelo perímetro urbano consolidado, onde se concentra a maior parte da população do município e núcleos urbanos consolidados de Alto Rolante e Fazenda Passos;

**II** - Macrozona Rural: caracteriza-se por áreas destinadas as atividades agropecuárias e outras relacionadas ao setor primário e turístico. Compreende a grande parte do território municipal, com presença de fragmentos de fauna e flora nativas e áreas de preservação.

§ 1º A delimitação das diversas zonas que constituem área urbana e rural consta da Prancha nº 01, Anexo V, parte integrante desta Lei.

§ 2º Deverá ser observado que em todos os locais zoneados poderá

Página 1 de 4



haver Áreas de Preservação Permanente (APP), Áreas de Interesse Cultural (AIC) e Zonas de Proteção Ambiental (ZPA), que deverão ser avaliadas pelos Conselhos Municipais pertinentes e demais leis vigentes no âmbito ambiental.

- Caracterização das zonas conforme artigo 39:

**Art. 39.** A área urbana fica dividida, para fins de disciplinamento do uso e da ocupação do solo, nas seguintes zonas, as quais as atividades são constantes no Anexo IV - Atividades:

**X - Zona de Proteção Ambiental - ZPA, Áreas de Interesse Cultural (AIC) ou Áreas de Preservação Permanente - APP:** são áreas destinadas à preservação dos recursos naturais hídricos, geológicos, da fauna e da flora e o patrimônio cultural e histórico municipal, obedecidas as legislações federais e estaduais pertinentes. Caracterizam-se como as áreas ao longo dos rios, arroios e cursos hídricos, encostas e vales que emolduram a grande parte da zona urbana com declividades superiores a 30% (trinta por cento), constituídas de um ecossistema peculiar onde não pode ser edificada qualquer construção ou áreas de patrimônio histórico, arquitetônico e cultural que o uso da edificação estará atrelado ao aval do Conselho de Patrimônio Histórico, sendo sua demolição ou alteração e acréscimo não permitida em nenhum caso. As áreas de Interesse Cultural serão obtidas a partir do Inventário.

- Quanto aos casos omissos ou dúbios:

**Art. 77.** Os usos devidamente regulares e consolidados até 19 de março de 2017 terão permitidas, independentemente do zoneamento urbano previsto nesta Lei, sua continuidade ou abertura de nova atividade, desde que esta seja diretamente ligada ao uso consolidado.

**§ 1º** No caso de solicitação de abertura ou uso da edificação para desempenho de atividade distinta daquela consolidada, será precedida de análise e concessão de comissão especial a ser criada para tal fim.

**§ 2º** Os critérios mínimos para a referida análise e concessão do uso serão definidos através de Decreto Municipal.

**§ 3º** A decisão proferida pela comissão especial deverá ser validada pelo Conselho Municipal do Plano Diretor, sob pena do seu indeferimento.

**Art. 78.** Os casos especiais, omissos ou dúbios serão analisados pelo Departamento de Planejamento, juntamente com os demais órgãos competentes do Município e Conselho do Plano Diretor e de Patrimônio Histórico, Artístico e Cultural se for assunto pertinente.

**LEI MUNICIPAL 4.359/2019** – Institui o Código de Edificações do Município de Rolante e dá outras providências

- Quanto à restrição de edificações em terrenos alagadiços:

**Art. 53.** Nenhuma edificação pode ser construída sobre terreno alagadiço, úmido ou pantanoso ou em terreno cujo solo contenha proporção maior que 30% (trinta por cento) de substâncias orgânicas, sem o saneamento do solo.

**Parágrafo único.** O saneamento do solo somente será permitido com apresentação de laudo firmado e por responsabilidade de profissional habilitado e a respectiva aprovação do órgão ambiental competente.

**Art. 57.** Os muros de divisas laterais e os muros das divisas de fundos podem ter, no máximo, 2,00 m (dois metros) de altura em relação do nível natural de terreno, salvo outras características especiais, e largura conforme suas características construtivas.

[...]



**§ 4º O cercamento de terrenos localizados nas Zonas Residenciais Especiais - ZRE, previstas no Plano Diretor Urbano e Ambiental, somente poderá ser realizado por cercas, grades ou elementos vazados, de maneira que não impeça o escoamento das águas oriundas do extravasamento dos rios.**

§ 5º Em relação à determinação constante no parágrafo anterior, havendo a necessidade de realização de vigas para o chumbamento dos materiais utilizados para o cercamento, as mesmas deverão serem executadas no nível ou abaixo do perfil natural do terreno.

**LEI MUNICIPAL 4.383/2019** – Dispõe sobre Parcelamento do Solo e dá outras providências

- Quanto à restrição de parcelamento do solo em áreas inundáveis:

**Art. 45.** Não poderão ser objeto de parcelamento do solo os terrenos alagadiços ou sujeitos a inundações, assegurando o perfeito escoamento das águas.

**Art. 64.** Em nenhum caso, o parcelamento do solo poderá prejudicar o escoamento natural das águas. As obras necessárias ao escoamento serão feitas obrigatoriamente nas vias ou em faixas reservadas para este fim pelo empreendedor.

**LEI ESTADUAL 15.434/2020** – Institui o Código Estadual do Meio ambiente do Estado do Rio Grande do Sul

- Quanto as restrições ambientais estaduais para o parcelamento do solo de terrenos inundáveis:

**Art. 179.** Não será permitido o parcelamento do solo em terrenos sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas, providências essas que não poderão gerar ou ampliar impactos a outros terrenos, e também não poderão implicar investimentos públicos para implantação de infraestrutura ou respectiva manutenção, salvo regularizações de áreas ocupadas cuja desocupação seja ainda mais onerosa para o Poder Público.

### **PROCEDIMENTOS ATUALMENTE ADOTADOS PELA MUNICIPALIDADE**

*1. Locais conhecidamente sujeitos à inundação ou mapeados pela METROPLAN ou BHIOS, e que NÃO estejam na ZPA (Zona de Proteção Ambiental):*

- Atualmente são autorizadas construções, conforme permitido pelo Plano Diretor, Código de Edificações e Lei de Parcelamento do Solo. Em relação aos aterros, é autorizado somente o aterramento da área do alicerce da edificação e rampas de acesso.

- Embora não seja autorizado o aterramento de todo o terreno, eventualmente se a edificação preencher toda a área do terreno, com alicerce fechado, na prática o terreno todo será aterrado.

- Fora isso, o aterramento da área do terreno não edificado somente é autorizado em casos específicos, até o limite da cota do nível da rua, para emparelhamento do terreno e redução do acúmulo de água estagnada no pátio (saúde pública / evitar proliferação de insetos vetores de doenças).

- Conforme Recomendação do Ministério Público Estadual (PA 01336.000.106/2020), o Município deverá incorporar a mancha de inundação elaborada pela METROPLAN em seu Plano Diretor, bem como descrever medidas de regramento para estas áreas. Atualmente essa é uma pauta pendente no CMPD.



- Até tempos atrás, parcelamentos do solo/loteamentos precisavam de aprovação da METROPLAN, e caso estes estivessem na mancha de inundação, não seriam aprovados. Agora, com a extinção da METROPLAN, fica a critério do município fazer esta análise.

## *2. Locais que estejam na ZPA (Zona de Proteção Ambiental):*

- A legislação municipal não é muito clara quanto a definição de regras para edificar em áreas mapeadas como ZPA, entretanto, nos pedidos de construção de edificação nas áreas mapeadas como ZPA pelo Plano Diretor, o Departamento de Planejamento encaminha a situação a Comissão Especial do Plano Diretor e, se assim entender, expede parecer e encaminha ao Conselho Municipal do Plano Diretor para validação final.

- Via de regra, é solicitado que a edificação seja construída sobre pilotis, quando a situação permitir, e somente é autorizado o aterramento das rampas de acesso, evitando assim o represamento ou barramento do fluxo das águas.

- Excepcionalmente, quando as características de uso da edificação não permitirem a construção sobre pilotis, o uso de aterro na área do alicerce deve ser justificado (ex. laudos e estudos ambientais aplicáveis) e validado pela Comissão Especial e pelo CMPD.

- Não há regramento claro na legislação municipal acerca da análise de pedidos de parcelamento do solo/loteamento em áreas mapeadas como ZPA.

## **11. APÊNDICE C**

Análise de Ações para Minimização dos Impactos das Inundações em Rolante



**Estado do Rio Grande do Sul**  
**Prefeitura Municipal de Rolante**  
*“Capital Nacional da Cuca”*

Secretaria Municipal de Saúde e Meio Ambiente – Departamento de Meio Ambiente

## **ANÁLISE DE AÇÕES PARA MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS DAS INUNDAÇÕES EM ROLANTE**

<b>REVISÃO N°</b>	<b>DATA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>RESPONSÁVEL</b>
00	Agosto/2022	Elaboração do plano	Departamento de Meio Ambiente

Rolante, 10 de agosto de 2022.

---

**Diego Luiz Gossler<sup>1</sup>**  
Diretor de Meio Ambiente  
Matrícula 3768



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	3
1.1 Objetivo.....	3
2. DADOS RELEVANTES .....	3
3. TIPOS DE INTERVENÇÕES .....	5
4. AVALIAÇÃO DAS INTERVENÇÕES.....	7
5. RESUMO DAS AÇÕES .....	18
6. RESPONSABILIDADES .....	21
7. CONCLUSÕES.....	21
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	21



## 1. INTRODUÇÃO

O rio possui uma dinâmica natural e mutável. Na maior parte do tempo o rio permanece em seu canal de drenagem, porém, em períodos de maior precipitação, seu nível aumenta, podendo vir a extravasar e atingir áreas adjacentes.

Em locais onde não há ocupação humana, normalmente as inundações não acarretam maiores prejuízos. As águas ocupam as margens e planícies, vindo a baixar posteriormente. Porém, quando existem intervenções antrópicas e ocupações muito próximas aos cursos hídricos, as inundações, além de sofrerem interferência no seu fluxo, também passam a ter potencial para causar prejuízos sociais e econômicos.

Desde o início das civilizações, a proximidade com os recursos hídricos foi fator determinante para o desenvolvimento dos povos. O acesso facilitado aos recursos hídricos propiciou o desenvolvimento das atividades sociais e econômicas (MAZOYER e ROUDART, 2010).

Em Rolante, assim como em muitas cidades do Vale do Rio dos Sinos, não foi diferente. A ocupação se iniciou nas áreas mais baixas e foi se consolidando. Assim, cabe ao Poder Público definir estratégias para minimizar as consequências da ocupação nestes locais. Estas medidas podem ser classificadas como estruturais ou não-estruturais (METROPLAN, 2018; DENARDIM, 2019). Suas aplicações podem necessitar de estudos mais aprofundados, e deve considerar os aspectos naturais, sociais e econômicos do local.

### 1.1 Objetivo

Considerando o desenvolvimento urbano de Rolante, e levando em conta o crescente pedido de autorizações para realização de intervenções ou edificações em áreas inundáveis ou Zonas de Proteção Ambiental, este plano tem o objetivo de elencar estratégias para que o poder público possa realizar o planejamento das ações no sentido de minimizar e mitigar os problemas decorrentes das ocupações em áreas alagáveis.

## 2. DADOS RELEVANTES

Rolante já é conhecida por ser uma cidade atingida sazonalmente por inundações e alagamentos. Inclusive está cadastrada junto ao Ministério das Cidades como um município crítico quanto a ocorrência destes eventos.

Como desde o início, a fixação dos povos em Rolante se deu próximo ao curso d'água, bem como o seu desenvolvimento ocorreu em boa parte destas áreas, é preciso que o poder público estabeleça mecanismos para convivência com estes eventos, de forma a minimizar ao máximo as consequências a população e ao meio ambiente.

O Ministério Público Estadual já possui expediente em trâmite onde requisita que o Município de Rolante estabeleça regras e inclua a mancha de inundação elaborada pela METROPLAN (Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional) no Plano Diretor municipal. Esta demanda atualmente está em análise pelo Conselho Municipal do Plano Diretor (CMPD).

O Plano Diretor Urbano e Ambiental de Rolante, instituído pela Lei Municipal nº 4.267/2018, delimitou algumas áreas como Zona de Proteção Ambiental – ZPA, considerando que estas áreas possuem fragilidades ambientais e merecem especial atenção do poder público.

A Defesa Civil municipal, juntamente com o Corpo de Bombeiros Voluntários, possui mecanismos, procedimentos, sistemas de alerta e equipamentos para atuar no atendimento das inundações e alagamentos.

Alguns mapeamentos, como os da CPRM (Serviço Geológico do Brasil), METROPLAN, e da empresa BHIOS Ambiental, ilustram a abrangência das áreas de risco e sujeitas às inundações.

Segundo Brasil (2007), as ENCHENTES ou CHEIAS podem ser compreendidas como sendo a elevação temporária do nível de água do curso hídrico devido ao seu aumento de vazão ou descarga, normalmente se limitando a calha do canal de drenagem.

Já as INUNDAÇÕES podem ser entendidas como sendo os processos onde o nível da água extrapola a cota máxima da calha principal do rio, extravasando para fora do canal de drenagem, atingindo as áreas marginais e mais baixas (conhecidas como planície de inundação, várzea ou leito maior do rio (Brasil, 2007).



Alguns autores, como Tucci (2005), dividem a planície de inundação em leito maior, geralmente são inundadas numa frequência maior, a cada 1,5, 2 ou 3 anos.

Já o leito maior pode ser entendido como as áreas alagáveis mais altas, até a cota de inundação definida com base em uma frequência específica de inundação. No momento que existem edificações nestes locais, além de interferirem no fluxo das águas, também passam a sofrer com as consequências destes eventos.

A Figura 1 ilustra essa definição.



Figura 1. Ilustração das características do leito do rio.  
FONTE: TUCCI, 2005

O mapeamento elaborado pela METROPLAN, finalizado em 2018, não abrangeu todas as áreas inundáveis de Rolante, se restringindo as áreas com maior adensamento populacional. Trata-se de um trabalho com riqueza de detalhes técnicos que pode subsidiar aos municípios o planejamento e tomada de decisão quanto a aplicação de intervenções para prevenção e minimização das inundações.

Dentre os produtos previstos no trabalho desenvolvimento pela METROPLAN (2018), constou a elaboração de 3 cenários de intervenção, avaliando as medidas pensadas em cada cenário, relacionando com o prejuízo resultante, ou ainda, o custo para implantação da intervenção.

Assim, foram definidos os seguintes cenários (METROPLAN, 2018):

- Cenário 0 (C0): situação em que o município não realiza nenhuma intervenção ou melhoria.
- Cenário 1 (C1): neste cenário são empregadas medidas não estruturais, como o zoneamento das áreas inundáveis e a aplicação de medidas de controle de uso do solo.
- Cenário 2 (C2): neste cenário são aplicadas medidas estruturais, como diques de proteção.

Estes cenários levaram em conta um horizonte de 30 anos, sendo que o C1 pode ser entendido como o cenário mais favorável a ser aplicado em Rolante, considerando meramente os custos envolvidos (Tabela 1).

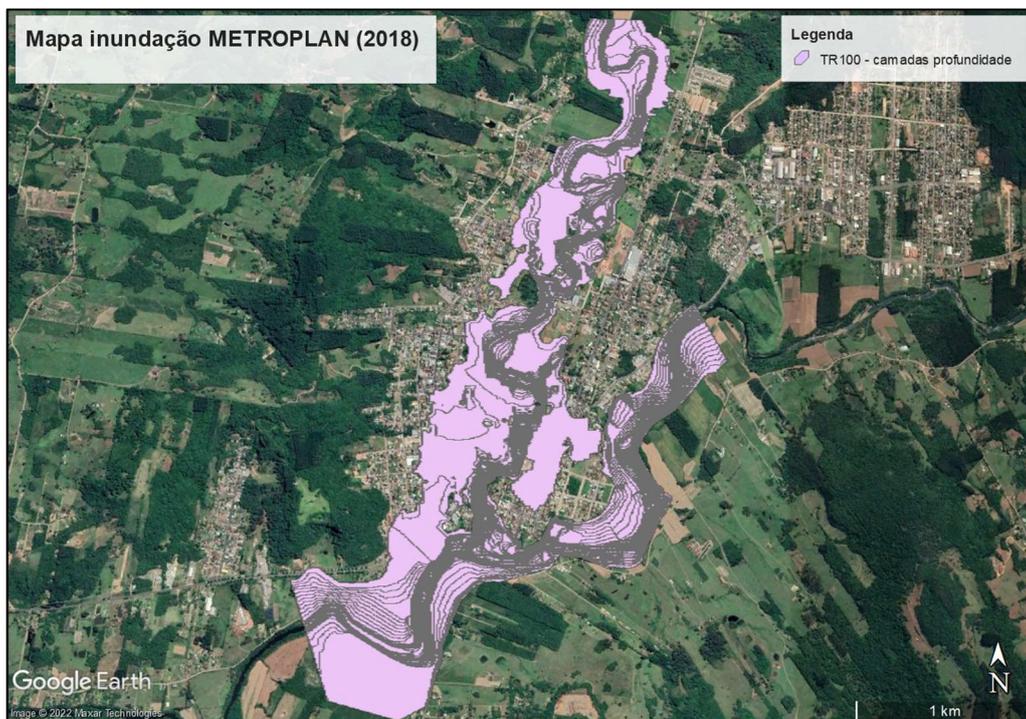
Porém, sabemos que para aplicação de medidas desta natureza, muitas outras questões devem ser levadas em consideração.

**Tabela 1.** Avaliação dos cenários de intervenção propostos para Rolante (METROPLAN, 2018; adaptado pelo autor)

<b>ROLANTE</b>	
C0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prejuízo (VPL): R\$25,8 milhões</li> <li>• Edificações atingidas: 800</li> </ul>
C1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento (VPL): R\$0,00</li> <li>• Edificações desapropriadas: 0</li> <li>• Edificações convivendo: 800</li> <li>• Prejuízo remanescente (VPL): R\$25,8 milhões</li> </ul>
C2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo total (VPL): R\$31,6 milhões               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial (VPL): R\$24 milhões</li> <li>• Operação e manut. anual: R\$1,3 milhões</li> </ul> </li> <li>• Edificações desapropriadas: 77</li> <li>• Edificações convivendo: 0</li> <li>• Prejuízo remanescente (VPL): R\$0,00</li> </ul>



A Figura 2 ilustra a área mapeada pela METROPLAN para o Município de Rolante, considerando um Tempo de Retorno de 100 anos.



**Figura 2.** Ilustração do TR 100 para Rolante com camadas de profundidade da lâmina d'água. Escala: indicada.  
FONTE: METROPLAN, 2018; Google Earth

### 3. TIPOS DE INTERVENÇÕES

A literatura atual elenca uma série de medidas estruturais e não estruturais que tem potencial para minimizar os efeitos das inundações em Rolante.

Utilizamos como base principalmente os estudos já desenvolvidos para Rolante.

O trabalho desenvolvido por Denardin em 2019 para o Rio Areia, num estudo sobre o desassoreamento, elencou uma série de alternativas preventivas aos extravasamentos dos rios, conforme Figura 3.

Notadamente, nas Medidas Estruturais temos intervenções de maior expressão, que normalmente acarretam em custos maiores para sua implantação, visando a proteção das edificações quanto às inundações.

Já nas medidas Não Estruturais, os custos de implantação são menores, e o convívio com as inundações é aceito.



**Figura 3.** Fluxograma das medidas preventivas aos extravasamentos no Rio Areia.  
FONTE: DENARDIN, 2019.

Quanto maior o número de medidas que forem empregadas, melhor será o resultado das ações.

É recomendado que, para a realização de novas construções ou intervenções em locais sujeitos às inundações ou mapeados como áreas de risco, sejam respeitadas as restrições nas zonas de passagem de cheias, bem como sejam observadas medidas construtivas preventivas para diminuir o risco associado a ocupação destas áreas (GEOAMERICA, 2021).

Algumas medidas mitigadoras também foram propostas pelo estudo desenvolvido por Geoamerica (2021b), relacionadas a construção de edificação em área mapeada como “inundável” e localizada na Zona de Proteção Ambiental – ZPA, conforme o Plano Diretor Municipal.

Estas medidas podem ser replicadas as demais áreas do município, desde que avaliado tecnicamente e gerencialmente a sua aplicabilidade.

Assim, essas “[...] medidas colaboram para que se reduza a pressão da urbanização das planícies de inundação minimizando a magnitude dos impactos da ocorrência deste tipo de eventos e caso ocorra algum destes eventos já haja um plano para redução e reparação dos seus danos” (GEOAMERICA, 2021b):

#### 1. Medidas não estruturais

- Elaboração de regramento de zoneamento
- Monitoramento do uso e ocupação do solo nas áreas críticas
- Elaboração de Plano de Contingência (inundação e alagamentos)

#### 2. Medidas estruturais

##### 2.1 Inundação

- Utilização de pilares para elevação das edificações
- Utilização de trincheiras de infiltração e/ou tubulações

##### 2.2 Alagamentos

- Construção de estruturas de microdrenagem
- Construção de zonas permeáveis
- Nivelamento do terreno de forma a direcionar as águas pluviais
- Instalação de sistemas de captação da água da chuva (ex. calhas) e reservatórios



## 4. AVALIAÇÃO DAS INTERVENÇÕES

De maneira prática, procedemos com a análise das intervenções propostas nos estudos consultados, avaliando a viabilidade de sua implantação.

Essa análise é geral e realizada com base em nosso conhecimento adquirido, ressaltando que a aplicação de uma ou mais medidas pode demandar de estudos e análises complementares, além da decisão pelo Poder Público.

### 4.1 Medidas estruturais

#### 4.1.1 Reservatórios

Sugestão de criação de rede de reservatórios de pequeno e médio porte a montante da área urbana, com a função de reter parte do volume hídrico durante a fase de crescimento da onda de cheia, retornando tal volume ao rio na fase de recessão da cheia (DENARDIN, 2019).

Para implantação desta medida, é preciso uma análise criteriosa dos locais propícios a sua implantação, bem como estudar e projetar a sua execução e manutenção.



**Figura 4.** Exemplo de reservatório de detenção de cheias.

FONTE: <http://jornalnorte.com.br/sorocaba/obra-do-reservatorio-de-detencao-de-cheias-recebe-concretagem-na-estrutura-de-controle-de-vazao/>. Acesso em: 09 ago. 2022.

#### 4.1.2 Caixas de expansão

Tem função similar a dos reservatórios, atuando de forma a reduzir a onda de cheia que se propaga ao longo do rio, sendo inundadas em período de enchente, armazenando grande volume de água durante o evento, e retornando ao rio quando as águas começam a baixar (DENARDIN, 2019).

Para implantação desta medida, é preciso uma análise criteriosa dos locais propícios a sua implantação, bem como estudar e projetar a sua execução e manutenção. Podem ser executados concomitante com a instalação de parques lineares, que não sofram impactos significativos durante a ocorrência de inundações.

#### 4.1.3 Diques de proteção

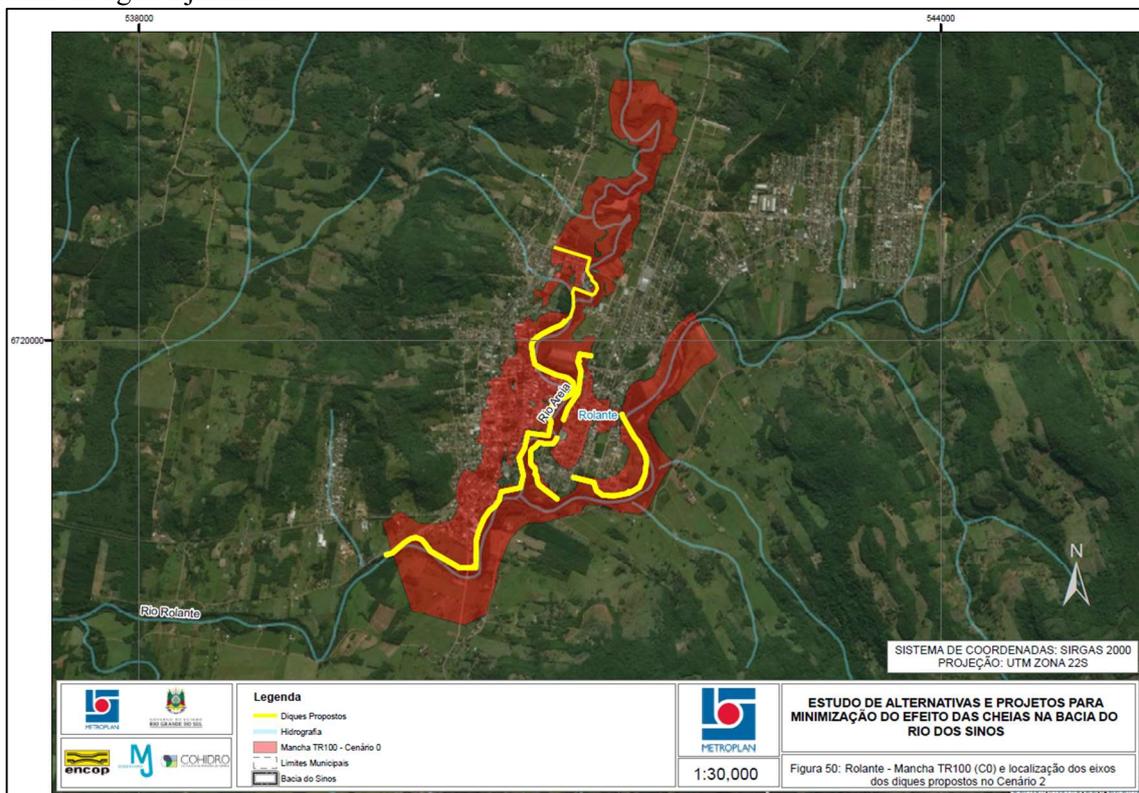
São estruturas, normalmente construídas com materiais disponíveis no local e entorno (ex. solo, argila, etc.), projetados em uma altura capaz de proteger determinada área, com altura suficiente para proteção conforme os requisitos de projeto determinados.



**Figura 5.** Dique de proteção no município de São Leopoldo/RS.

FONTE: [https://www.jornalnh.com.br/\\_conteudo/2019/02/noticias/regiao/2370240-sem-manutencao-desde-2012-diques-do-rio-dos-sinos-correm-o-risco-de-ruir-em-caso-de-cheia.html](https://www.jornalnh.com.br/_conteudo/2019/02/noticias/regiao/2370240-sem-manutencao-desde-2012-diques-do-rio-dos-sinos-correm-o-risco-de-ruir-em-caso-de-cheia.html). Acesso em: 10 ago. 2022.

Em Rolante o C2 elaborado pela METROPLAN projetou o uso de diques para proteção de parte da cidade. Embora essa técnica tenha muita eficiência, ela acarreta em consideráveis custos de implantação e manutenção. Além do mais, pode trazer sérios riscos de rompimento caso não seja executado ou sofra manutenção periódica. Também é preciso avaliá-lo como um todo, uma vez que com o uso destas estruturas, o fluxo das águas fica comprimido neste trecho, podendo aumentar o nível da água a montante e/ou aumentar a velocidade de escoamento da água a jusante.



**Figura 6.** Diques de proteção projetados para o município de Rolante/RS. Escala: 1:30.000.

FONTE: METRPLAN, 2018.



#### 4.1.4 Melhoria do álveo

Esta intervenção consiste na remoção de obstáculos existentes e melhoria na conformação do canal de drenagem (rio), através da retirada de árvores caídas e restos vegetais retidos em passagens, remoção de barras laterais, de pontal e centrais que se desenvolveram ao longo do leito do rio e que representem obstáculo ao livre escoamento do rio. Inclui-se aqui o desassoreamento (DENARDIN, 2019).

Este tipo de intervenção já foi realizado algumas vezes no município de Rolante, trazendo resultados positivos para melhoria do escoamento das águas.

Ressalta-se que a execução precisa ser realizada com cautela, para que as obras prejudiquem o mínimo possível a mata ciliar e o meio ambiente.

Em alguns casos, o material desassoreado deve ir para local licenciado ou utilizado em obras públicas. A vegetação ciliar deve ser recomposta.

Recomenda-se que seja realizado um planejamento de execução permanente deste tipo de intervenção, avaliando tecnicamente os locais prioritários.



**Figuras 7 e 8.** Foto do desassoreamento do Rio Areia, em Rolante, realizado em 2019; Foto de barramentos vegetais.

FONTE: <https://www.radiotaquara.com.br/novo/desassoreamento-do-rio-areia-diminuiu-riscos-de-enchente-em-rolante/>. Acesso em: 10 ago. 2022; DENARDIN, 2019.

#### 4.1.5 Retificações

As retificações consistem em pequenas intervenções do curso d'água de modo a melhorar a capacidade de escoamento do rio, através de pequenas retificações/alinhamentos do canal ou até mesmo a melhoria da foz do curso hídrico.

Este tipo de intervenção é realizado concomitante com as obras de desassoreamento, conforme o caso. Deve-se evitar seu uso desordenado, para não alterar significativamente o curso natural do rio.



**Figura 9.** Locais com necessidade de obras de retificação e desassoreamento, no Rio Areia.  
FONTE: DENARDIN, 2019.

#### 4.1.6 Canais extravasores

consiste em um canal auxiliar que é alimentado pelo rio somente durante as maiores cheias, quando a vazão na seção do álveo ultrapassa sua capacidade, extravasando de seu leito normal e passando a escoar também pelo canal extravasor. Pode ser do tipo aberto ou fechado, atuando de modo a dividir a vazão excedente, transferindo-a para jusante gradualmente à medida que o rio tem seu nível elevado (DENARDIN, 2019).

Este tipo de intervenção necessita de estudos complementares, a fim de verificar as potenciais áreas a serem utilizados, levando em conta diversos aspectos, como a localização, a melhoria esperada, investimento, impacto a jusante, entre outros fatores.



**Figura 10.** Sugestão de local para implantação de canal extravasor em Rolante, no Rio Areia.  
FONTE: DENARDIN, 2019.



#### 4.1.7 *Recomposição da cobertura vegetal*

Trata-se do replantio de áreas com vegetação nativa, principalmente nas áreas de preservação permanente (APP), de forma a melhorar a capacidade de retenção da água e reduzir os processos de erosão.

É importante escolher os tipos de árvores adequados para as APP, de modo que sejam exemplares com maior capacidade de enraizamento e menor porte.

Recomenda-se que a recomposição de mata ciliar e cobertura vegetal em geral seja objeto de programas e/ou projetos específicos, com implantação focada na contenção de processos erosivos e solapamentos (DENARDIN, 2019).

O município de Rolante possui projeto permanente de doação de mudas de árvores nativas no viveiro municipal, priorizando para a doação de mudas para recuperação de nascentes ou matas ciliares.

Existem alguns empecilhos para intensificar essa ação, de maneira que o município execute diretamente os plantios, devido a falta de mão de obra, e visto que muitas das áreas de preservação permanente são áreas particulares.

Atualmente a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA), em parceria com a EMATER, estão selecionando algumas propriedades em Rolante e convidando os proprietários para participarem de um projeto de revitalização das APP.



**Figura 11.** Plantio de recuperação ciliar realizado após as obras de desassoreamento do Rio Areia, em Rolante.

FONTE: Departamento de Meio Ambiente, 22/10/2020.

#### 4.1.8 *Controle de erosão*

Tem relação direta com a recomposição da cobertura vegetal, e deve ser objeto de controle e monitoramento por parte do município (DENARDIN, 2019).

Devido ao uso intensivo do solo, principalmente na zona rural, com áreas de pastagens, os processos erosivos têm sido cada vez mais recorrentes.



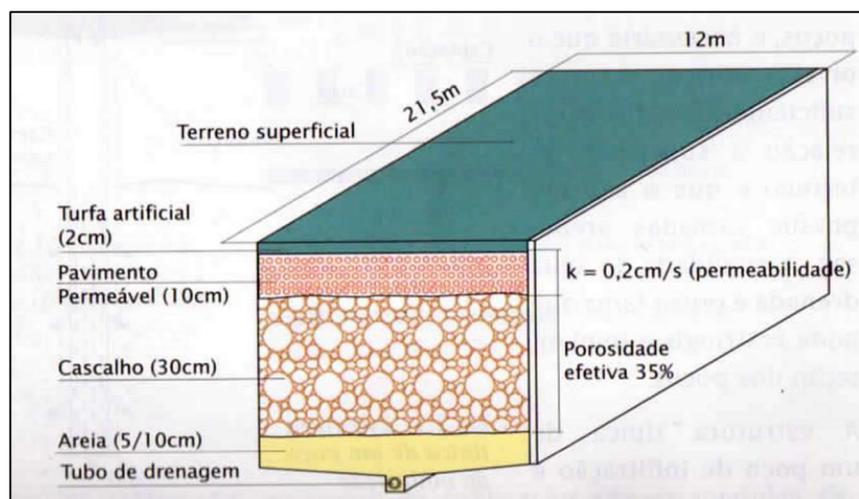
**Figura 12.** Processo de erosão em lavoura de arroz, em Rolante.  
FONTE: Departamento de Meio Ambiente, 07/03/2022.

#### 4.1.9 Pequenos reservatórios disseminados

Este tipo de intervenção visa a retenção do escoamento e controle da vazão a jusante. Na área rural podem ser estimuladas construções de reservatórios para estocagem temporária da água. Esta demanda exige muita negociação com os proprietários rurais, visto se tratar de áreas privadas (DENARDIN, 2019).

Segundo Denardin (2019), na zona urbana, mediante realização de estudos específicos, recomenda-se a revisão das diretrizes urbanísticas, Código de Obras e Plano Diretor, de modo a analisar as seguintes alternativas:

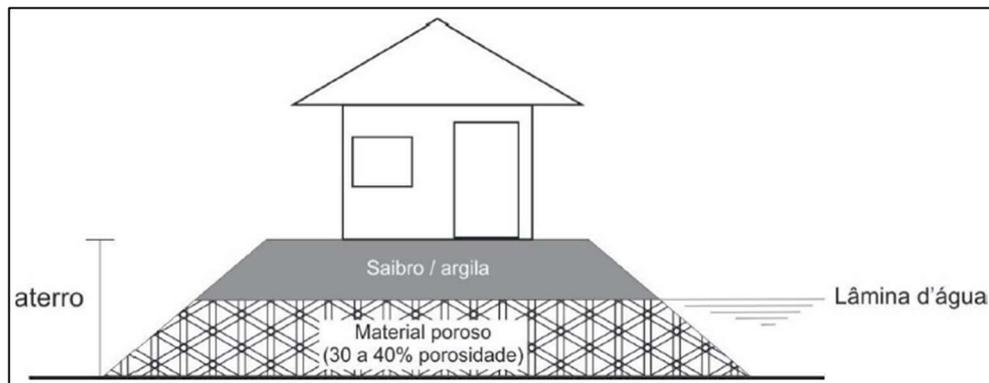
- Implantação de cisternas para armazenamento temporário da água nas novas edificações, considerando a capacidade de armazenamento da cisterna com base no tamanho do lote ou na área impermeabilizada pelo empreendedor.
- Utilização de pisos porosos nos novos parcelamentos do solo, que reduzem significativamente os impactos da drenagem superficial.



**Figura 13.** Perfil construtivo de piso poroso utilizado na experiência de Harada e Ichikawa, da universidade de Tóquio.  
FONTE: DENARDIN, 2019.



- c) Obrigatoriedade de implantação de bacias de amortecimento em novos empreendimentos de parcelamento do solo, com capacidade de armazenamento e retardo proporcional à área a ser impermeabilizada.
- d) Caso haja necessidade de elevação de cota de terreno, tornar obrigatória a utilização de material com um mínimo de porosidade até a altura da lâmina d'água, fazendo assim com que o aterro também sirva como material absorvente (sugere-se porosidade mínima de 30% a 40%).



**Figura 14.** Exemplo de aterro com material drenante até a altura da lâmina d'água.  
FONTE: DENARDIN, 2019.

Todos estes tipos de intervenções carecem de estudos mais aprofundados com a finalidade de verificar a sua aplicabilidade, além de encaminhar posteriormente os projetos para alteração das legislações relacionadas.

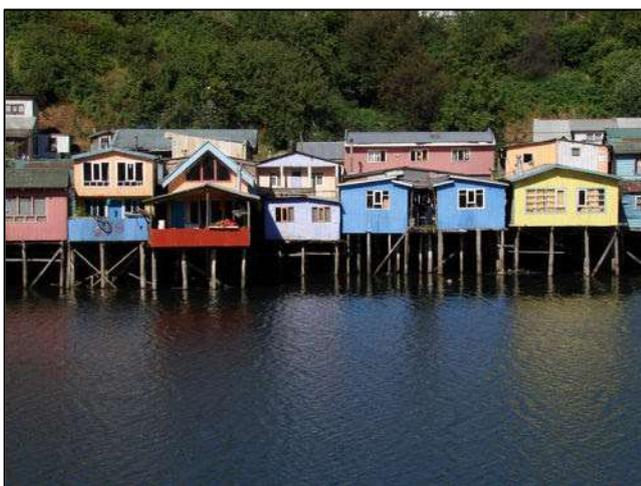
#### *4.1.10 Utilização de pilares para elevação das edificações*

Utilizar pilares para a elevação das edificações propicia o afastamento da edificação da lâmina d'água proveniente das enchentes, protegendo a obra. Ainda, permite o livre fluxo das águas, sem causar maiores transtornos ao livre escoamento.

Em alguns casos, pedidos de construção de edificações residenciais em áreas mapeadas como Zona Residencial Especial pelo Plano Diretor estão sendo autorizadas a serem construídas nestes moldes, sendo autorizada a realização de aterramento ou construção de rampa somente nos locais de acesso à edificação.

Trata-se de uma medida relativamente simples e que traz bons resultados. Essa concepção ainda não está referenciada em nenhuma diretriz ou lei municipal, ficando a cargo dos técnicos municipais a sua avaliação e solicitação.

Neste caso, caberia ao Poder Executivo avaliar esta medida, visando o seu regramento em algum dispositivo legal, levando não somente em conta a questão técnica, mas também a questão urbanística da cidade.



**Figuras 15 e 16.** Residências sobre pilares.

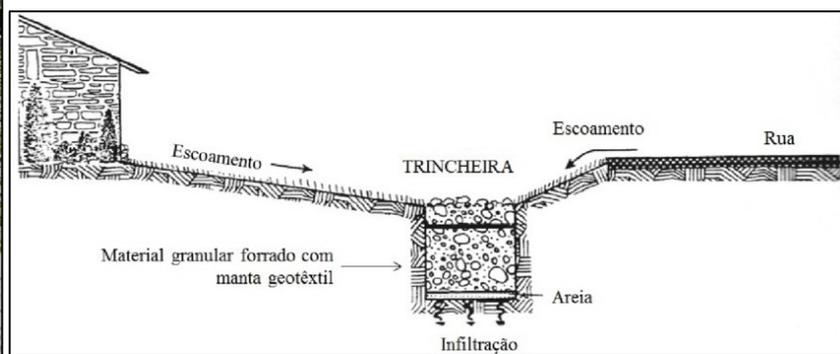
FONTE: <https://www.studieren-weltweit.de/unterkunft-in-auckland/>; [https://chiloeland.blogspot.com/2009\\_10\\_01\\_archive.html](https://chiloeland.blogspot.com/2009_10_01_archive.html). Acesso em 11 ago. 2022.

#### 4.1.11 Utilização de trincheiras de infiltração e/ou tubulações

Trincheiras de infiltração, quando devidamente dimensionadas, podem reduzir significativamente os custos com os sistemas de drenagem.

São alternativas simples que podem ser empregadas junto ao paisagismo da cidade. Eventualmente, podem necessitar de manutenção para remoção de lodo ou folhas menores, assim como acontece com os sistemas de drenagem tradicionais.

Esta alternativa pode tanto ser empregada pelo município, nas obras públicas, como também como uma exigência para empreendimentos de maior porte.



**Figuras 17 e 18.** Exemplos de trincheira de infiltração.

FONTE: <https://www.aquafluxus.com.br/trincheiras-de-infiltracao/>; [https://www.researchgate.net/figure/Figura-10-Trincheira-de-infiltracao-e-tecnicas-de-cobertura-vegetal-Fonte-adaptado-de\\_fig9\\_306108767](https://www.researchgate.net/figure/Figura-10-Trincheira-de-infiltracao-e-tecnicas-de-cobertura-vegetal-Fonte-adaptado-de_fig9_306108767). Acesso em 11 ago. 2022.

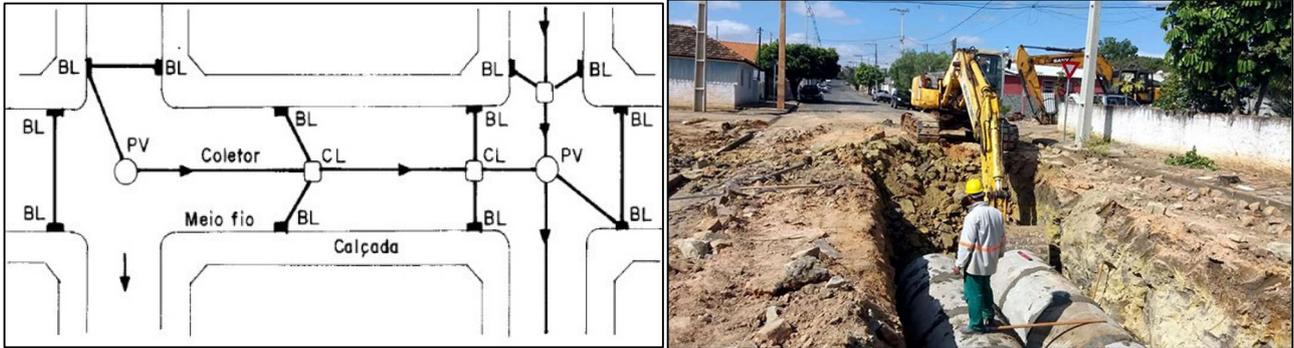
#### 4.1.12 Construção de estruturas de micro drenagem

A macrodrenagem pode ser entendida como os cursos hídricos (rios, arroios, entre outros). Já a micro drenagem é compreendida pelos sistemas urbanos de drenagem pluvial, que em muitos casos podem prevenir, retardar ou minimizar as cheias, alagamentos e inundações.

Redes de micro drenagem subdimensionadas podem acarretar em alagamentos frequentes, mesmo em baixos índices de chuvas.



Rolante possui muitas redes antigas, que certamente não comportam mais o índice de impermeabilização ocasionado pelas edificações e pelas ruas asfaltadas. É preciso pensar em programas de análise, revitalização e readequação destes sistemas.



**Figuras 19 e 20.** Exemplos de sistemas de micro drenagem.

FONTE: <https://profmbacelar.blogspot.com/2013/03/microdrenagem-cosanpa-2013.html>;  
<https://www.hfurbanismo.com.br/lotementos-e-condominios/jardim-das-palmeiras/>. Acesso em 11 ago. 2022.

#### 4.1.13 Construção de zonas permeáveis

Esta medida nada mais é do que a integração de áreas permeáveis junto aos projetos construtivos de áreas impermeáveis, possibilitando assim maior capacidade de absorção do solo e do meio ambiente das águas das chuvas, melhorando a drenagem superficial e até mesmo o conforto térmico, quando associado ao uso de espécies vegetais.

Não é comum essa prática no município, mas é algo que pode ser avaliado e incrementado nos projetos urbanísticos. Como restrição, temos as calçadas que em sua maioria são muito estreitas, não possuindo espaço para circulação adequada dos pedestres e implantação de jardins permeáveis, porém, existem medidas paliativas que podem ser adotadas.

O Plano Diretor Urbano e Ambiental de Rolante, Lei Municipal nº 4.267/2018, prevê em seu art. 34, inciso XVII, que dentre as diretrizes da Política de Mobilidade Urbana, está a promoção da permeabilidade do solo nos canteiros centrais e nos passeios das vias urbanas do município.



**Figuras 21 e 22.** Exemplos de zonas permeáveis urbanas.

FONTE: <https://www.arquidicas.com.br/o-que-e-permeabilidade/>; <https://arkpad.com.br/taxa-de-ocupacao/>. Acesso em 11 ago. 2022.

#### 4.1.14 Nivelamento do terreno de forma a direcionar as águas pluviais

Muitos problemas de alagamentos podem ser causados por deficiências no projeto de nivelamento do terreno. A declividade do terreno pode ser utilizada para melhorar a drenagem da área, de modo a direcionar as águas para os sistemas de drenagem existentes.

Obviamente que, no caso de inundações maiores, esta ação vai surtir pouco efeito. Porém, em situações pontuais, durante chuvas corriqueiras, pode melhorar as condições de uso da propriedade.



**Figuras 23 e 24.** Exemplos de declividade X terreno.

FONTE: <https://www.slideshare.net/RodrigoBarros5/escoamento-superficialparte>; <https://cristianagibson.com/tcc.html>. Acesso em 11 ago. 2022.

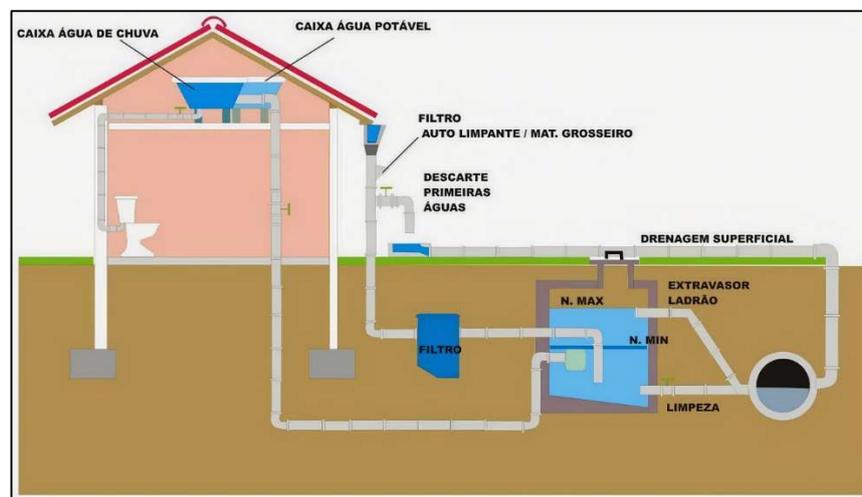
#### 4.1.15 Instalação de sistemas de captação da água da chuva (ex. calhas) e reservatórios

Também é uma medida simples, mas que melhora a captação das chuvas e reduz o escoamento superficial. Atualmente não há legislação municipal que obrigue as edificações a possuírem calhas ou reservatórios de água da chuva, exceto a instalação de calhas quando o telhado terminar na divisa do lote, para que as águas não sejam direcionadas ao terreno vizinho.

O município pode analisar esta questão no sentido de criar uma regra que, se implantada, comprovadamente traga benefícios para redução da problemática dos alagamentos e inundações.

Quanto aos reservatórios, há de se pensar na aplicabilidade de reservatórios menores por edificação, com base na área impermeabilizada do lote.

A água da chuva pode ser utilizada para irrigação do jardim, reduzindo o uso de água tratada.



**Figura 25.** Exemplo de projeto de captação e reaproveitamento da água da chuva.

FONTE: <http://www.garciabarreto.com.br/brasil/franca/projeto-captacao-agua-chuva.html>. Acesso em 11 ago. 2022.

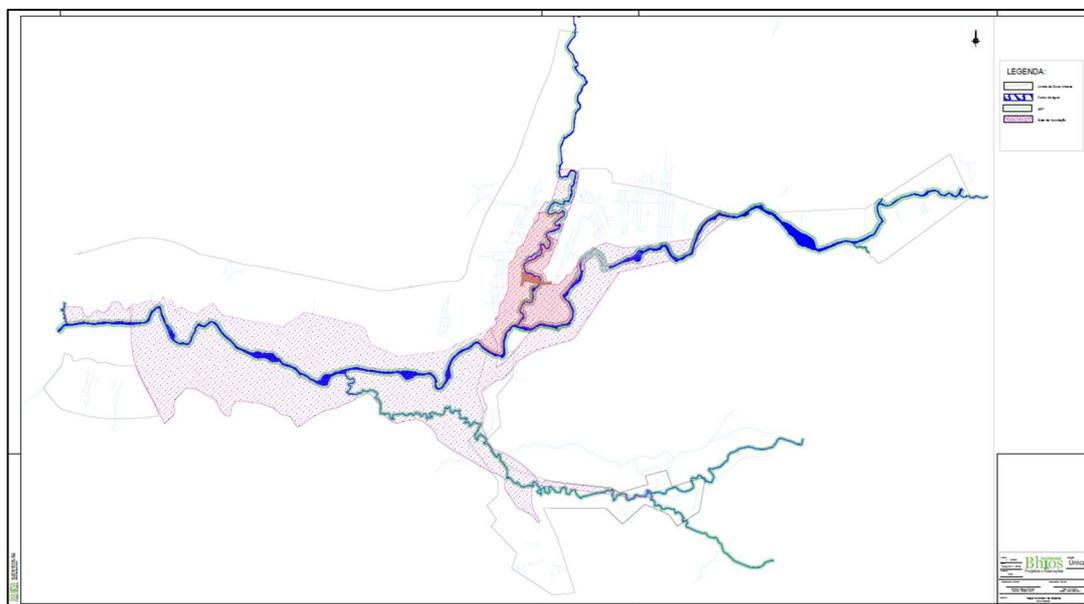
## 4.2 Medidas não estruturais

### 4.2.1 Mapeamento de áreas alagáveis

Segundo Denardin (2019), essa etapa consiste no desenvolvimento de mapas das áreas passíveis de serem atingidas pelas cheias e suas respectivas cotas, tornando a informação facilmente acessível à população e integrando-a ao Plano Diretor da cidade. Deve ser um elemento de consulta permanente para o desenvolvimento urbano e fundamental na emissão de licenças ambientais e de construção, servindo de base para o desenvolvimento das demais medidas não estruturais.



Já existem alguns mapeamentos em Rolante, e o seu uso e aplicação, bem como a integração ao Plano Diretor, está atualmente sob análise do Conselho Municipal do Plano Diretor.



**Figura 26.** Mancha de inundação elaborada pela empresa Bhios Ambiental. Escala: 1:10.000.  
FONTE: Departamento de Meio Ambiente, dez/2016.

#### 4.2.2 *Elaboração de regramento de zoneamento / Regramento de uso do solo*

De acordo com Denardin (2019), o poder público deverá estimular a expansão urbana para as áreas consideradas seguras quanto a alagamentos ou outras formas de risco, adotando a consulta aos mapas de cota de cheia do município, além de incrementar suas rotinas administrativas e técnicas neste aspecto.

Com isso, deverá estabelecer o zoneamento da cidade para fins de ocupação e crescimento, utilizando como um dos critérios básicos a mancha de cheia e passagem de inundação. Para áreas consolidadas, deverá estabelecer medidas preventivas mínimas necessárias para sua ocupação, definindo também sua viabilidade de acordo com o tempo de recorrência e intensidade do atingimento (DENARDIN, 2019).

Este tipo de medida, embora praticamente não tenha custo de implantação, demanda um esforço considerável do poder público, pois envolve questões políticas, de interesse privado, especulações imobiliárias, entre outros.

É preciso levar em consideração o desenvolvimento urbano de forma ordenada e sustentável, discutindo o assunto com o público de interesse. A realização de audiência pública pode ser uma ferramenta eficaz de garantia da participação popular, para discussões deste nível.

#### 4.2.3 *Educação ambiental*

Denardin (2019) sugere que sejam implementadas políticas e programas educacionais, com ênfase ambiental, de preservação e recuperação dos recursos naturais, procurando integrar a população para o desenvolvimento sustentável.

Algumas ações são realizadas pelas escolas, de maneira pontual ou difusa. Seria interessante realizar um planejamento com atividades fixas sobre este tema, visando garantir a permanência e continuidade das ações ambientais educacionais.

#### 4.2.4 *Sistemas de alerta e monitoramento*

As ações de alerta e monitoramento consistem em uma rede de comunicação e dispositivos de monitoramento local, de resposta rápida o suficiente para antecipar ações e medidas mitigatórias, possibilitando a redução de risco e prejuízos econômicos e sociais (DENARDIN, 2019).

A montante da área urbana, devem ser instalados controles de precipitações pluviométricas, controle de nível do rio, desenvolvimento de curvas vazão-precipitação, entre outros.



Atualmente o município possui algumas estações de monitoramento instaladas em parceria com o CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais), que monitoram alguns parâmetros importantes para uma rápida resposta no caso de indícios de ocorrer um evento crítico.

A Defesa Civil municipal recebe diariamente informações da Sala de Situação da SEMA (Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura), que se tornou referência no Estado para o monitoramento de eventos hidrológicos críticos (vide <http://www.saladesituacao.rs.gov.br/>).



**Figura 27.** Manutenção da Estação de Monitoramento instalada na Ponte Júlio Schneider, sobre o Rio Rolante.  
FONTE: Corpo de Bombeiros Voluntários, ago/2022.

#### *4.2.5 Monitoramento do uso e ocupação do solo nas áreas críticas*

O monitoramento destas áreas deve se dar através da fiscalização municipal, que entre outras atribuições, tem o dever de fiscalizar obras irregulares, sem projeto, ou instaladas em áreas críticas ou não edificáveis.

Cabe ao Poder Público a intensificação da Fiscalização de maneira a coibir a ocupação de áreas irregulares ou com fragilidades ambientais, que põem em risco a segurança dos moradores.

#### *4.2.6 Elaboração de Plano de Contingência (inundação e alagamentos)*

O plano de contingência é um documento que deve ser elaborado com o objetivo de avaliar, uniformizar e orientar e treinar sobre as ações e estratégias necessárias para respostas de controle quanto a ocorrência de anormalidades ou situações críticas.

O conhecimento prévio do plano, bem como o treinamento contínuo dos envolvidos, permite uma ação rápida e com menos chances de erros para mitigação dos eventos extremos, como as inundações.

Segundo o Corpo de Bombeiros Municipal, atualmente Rolante não tem um Plano de Contingência contra inundações legalmente e formalmente constituído, embora a corporação adote uma série de medidas, treinamentos e táticas para respostas aos eventos críticos.

## **5. RESUMO DAS AÇÕES**

Como sugestão, elencamos uma tabela para que o Poder Executivo possa utilizar para acompanhar o desenvolvimento destas ações (Tabela 2).



**Tabela 2.** Sugestão de ações.

	Nº	AÇÃO	RESPONSÁVEL	COMO?	PREVISÃO
Medidas Estruturais	4.1.1	Reservatórios	Departamento de Engenharia / Defesa Civil	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando as áreas propícias e executando / contratando os estudos necessários.	A DEFINIR
	4.1.2	Caixas de expansão	Departamento de Engenharia / Defesa Civil	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando as áreas propícias e executando / contratando os estudos necessários.	A DEFINIR
	4.1.3	Diques de proteção	Departamento de Engenharia / Defesa Civil	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando as áreas propícias e executando / contratando os estudos complementares necessários.	A DEFINIR
	4.1.4	Melhoramento do álveo	Defesa Civil / Departamento de Meio Ambiente	Analisar os pontos onde seja necessária a intervenção e realizando um planejamento da sua implantação; executar ou contratar os estudos complementares necessários.	A DEFINIR
	4.1.5	Retificações	Defesa Civil / Departamento de Meio Ambiente	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando as áreas propícias e executando / contratando os estudos necessários.	A DEFINIR
	4.1.6	Canais extravasores	Departamento de Engenharia / Defesa Civil	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando as áreas propícias e executando / contratando os estudos necessários.	A DEFINIR
	4.1.7	Recomposição da cobertura vegetal	Departamento de Meio Ambiente	Analisar os pontos onde seja necessária a intervenção e realizando um planejamento da sua implantação; executar os projetos necessários.	A DEFINIR
	4.1.8	Controle de erosão	Departamento de Meio Ambiente	Analisar os pontos onde seja necessária a intervenção e realizando um planejamento da sua implantação; executar os projetos necessários.	A DEFINIR
	4.1.9	Pequenos reservatórios disseminados	Departamento de Engenharia / Defesa Civil	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando as áreas propícias e executando / contratando os estudos necessários.	A DEFINIR
	4.1.10	Utilização de pilares para elevação das edificações	Departamento de Engenharia / Departamento de Planejamento / Defesa Civil	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando sua viabilidade técnica e urbanística, e encaminhando para discussão aos setores ou Conselhos Municipais pertinentes.	A DEFINIR



Medidas Estruturais	4.1.11	Utilização de trincheiras de infiltração e/ou tubulações	Departamento de Engenharia / Secretaria Municipal de Obras e Transportes	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando as áreas propícias e executando / contratando os estudos complementares necessários.	A DEFINIR
	4.1.12	Construção de estruturas de micro drenagem	Departamento de Engenharia / Secretaria Municipal de Obras e Transportes	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando as áreas onde haja necessidade de melhoria das obras ou implantação de obras complementares, executando / contratando os estudos e projetos necessários.	A DEFINIR
	4.1.13	Construção de zonas permeáveis	Departamento de Engenharia / Departamento de Planejamento / Departamento de Turismo	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando sua viabilidade técnica, urbanística e financeira, e encaminhando para discussão aos setores ou Conselhos Municipais pertinentes.	A DEFINIR
	4.1.14	Nivelamento do terreno de forma a direcionar as águas pluviais	Departamento de Engenharia / Departamento de Planejamento	Elaborar e adotar critérios de nivelamento de terrenos nos projetos de obras públicas, bem como implementar estas diretrizes para a análise e aprovação de projetos de edificações ou terraplanagens.	A DEFINIR
	4.1.15	Instalação de sistemas de captação da água da chuva (ex. calhas) e reservatórios	Departamento de Engenharia / Departamento de Planejamento	Analisar a viabilidade de uso desta alternativa, verificando sua viabilidade técnica, urbanística e financeira, e encaminhando para discussão aos setores ou Conselhos Municipais pertinentes.	A DEFINIR
Medidas Não Estruturais	4.2.1	Mapeamento de áreas alagáveis	Departamento de Meio Ambiente / Defesa Civil / Conselhos Municipais	Com base nos mapeamentos já disponíveis, verificar a aplicabilidade dos mesmos e incorporação à legislação municipal (ex. Plano Diretor), encaminhando para discussão nos Conselhos Municipais pertinentes.	A DEFINIR
	4.2.2	Elaboração de regramento de zoneamento / Regramento de uso do solo	Departamento de Planejamento / Departamento de Meio Ambiente / Defesa Civil / Conselhos Municipais	Com base nos mapeamentos já disponíveis, verificar os tipos de regramento que possam ser adotados, levando em consideração os critérios técnicos, econômicos, urbanísticos e ambientais, para incorporação à legislação municipal (ex. Plano Diretor, Código de Edificações, Código de Parcelamento do Solo), encaminhando para discussão nos Conselhos Municipais pertinentes.	A DEFINIR
	4.2.3	Educação ambiental	Secretaria Municipal de Educação e Esportes / Departamento de Meio Ambiente	Avaliar, dentro do currículo e do planejamento pedagógico, a possibilidade de inclusão ou melhoria das atividades de educação ambiental nas escolas e para o público em geral.	A DEFINIR



Medidas Não Estruturais	4.2.4	Sistemas de alerta e monitoramento	Departamento de Engenharia / Defesa Civil	Analisar a eficácia dos sistemas de alerta e monitoramento, verificando a necessidade de melhoria do sistema.	A DEFINIR
	4.2.5	Monitoramento do uso e ocupação do solo nas áreas críticas	Departamento de Fiscalização / Defesa Civil	Estruturar ações de fiscalização contínuas e permanentes.	A DEFINIR
	4.2.6	Elaboração de Plano de Contingência (inundação e alagamentos)	Defesa Civil	Elaborar e estruturar, com base nos procedimentos já adotados pelos órgãos de proteção e defesa civil, um plano que contenha todas as informações necessárias para eficiência do plano, disponível a todos os envolvidos e interessados.	A DEFINIR

## 6. RESPONSABILIDADES

As responsabilidades pela execução das ações descritas neste documento são do Poder Executivo, através das Secretarias e Departamentos envolvidos, além da responsabilidade dos proprietários das edificações quando houve a definição de diretrizes a serem cumpridas.

## 7. CONCLUSÕES

O foco do presente trabalho foi o de descrever as principais medidas capazes de minimizar o efeito das inundações no Município, de forma didática a orientar os leitores e envolvidos sobre como proceder com a análise da viabilidade de sua implantação.

Destacamos que este texto é bastante generalista, e que a implantação das medidas muitas vezes depende de estudos complementares, elaborados por profissionais habilitados, além de necessitar da atenção dos tomadores de decisão.

As medidas estruturais intensivas devem vir acompanhadas das medidas estruturais extensivas, bem como das medidas não estruturais, de modo que os eventuais ganhos propiciados pelas primeiras sejam mantidos e ampliados com a adoção das demais, sendo implantadas através da elaboração de projetos e programas específicos, com estímulo à participação popular (DENARDIN, 2019).

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOZ, João André S. Laudo técnico hidrológico para fins de aterro para construção de pavilhão para a Secretaria de Obras do Município de Rolante. Rolante: Prefeitura Rolante, p. 13, 2021.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. [...] estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República [2001]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm). Acesso em: 01 ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a política nacional de proteção e defesa civil – PNPDEC [...]. Brasília, DF: Presidência da República [2012]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm). Acesso em: 04 ago. 2022.

BRASIL. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 2007, 176 p.



- DENARDIN, José Mauro. Laudo técnico rio Areia: Diagnóstico e medidas mitigatórias. Rolante: Prefeitura Rolante, p. 39, 2019.
- ESCHER, Oscar Gilberto. Estratégia de Ações para ocupação urbana sustentável em áreas ribeirinhas do Rio dos Sinos – RS. ADESCan/Canoas, RS: [2017?], 20 p.
- GEOAMERICA Geologia e Consultoria Ambiental Ltda. Relatório Técnico – Estudo Hidrológico – Modelagem hidrológica [...]. Caxias do Sul, 44 p., jul. 2021.
- GEOAMERICA Geologia e Consultoria Ambiental Ltda. Avaliação de impacto na hidrodinâmica [...] – Implantação do prédio da Secretaria de Obras [...]. Caxias do Sul, 36 p., set. 2021b.
- GOLDMEIER, Valtemir Bruno; JABLONSKI, André. Gestão Pública Municipal: Orientações básicas nas ações municipais no meio ambiente [...]. 1. ed. Porto Alegre: FAMURS. 2005. 660 p.
- MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. [tradução de Falluh, C. F.; Ferreira, B.]. São Paulo, Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010, 568 p.
- METROPLAN. P17 – Resumo Executivo (Revista Técnica). Estudo de alternativas e projetos para minimização do efeito das cheias e estiagens na Bacia do Rio dos Sinos. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2018, 27 p.
- RAMOS, Helena M. et al. Urban Floods Adaptation and Sustainable Drainage Measures. Fluids (MDPI). 2017, 2, 61, 18 p.
- ROLANTE. Lei nº 4.267, de 18 de dezembro de 2018. Consolida o Plano Diretor Urbano e Ambiental municipal e estabelece as diretrizes e proposições de desenvolvimento no município de Rolante [...]. Rolante, RS [2018]. Disponível em: <https://rolante.cespro.com.br/visualizarDiploma.php?cdMunicipio=7830&cdDiploma=201842671&NroLei=4.267&Word=4267&Word2=>. Acesso em: 11 ago. 2022.
- TUCCI, Carlos E. M. Aspectos institucionais do controle das inundações urbanas. I Seminário Rec. Hídr. Centro-Oeste. Brasília. 1999. 16 p.
- TUCCI, Carlos E. M. Gestão de águas pluviais urbanas. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – Word Bank – UNESCO, 2005. 270 p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Stream corritor restoration: principles, processes and practices. United States, [202-?]. Disponível em: [http://cfpub.epa.gov/watertrain/moduleFrame.cfm?parent\\_object\\_id=610](http://cfpub.epa.gov/watertrain/moduleFrame.cfm?parent_object_id=610). Acesso em: 06 jan. 2022.